



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

Gestão Técnica de Carregamento de Veículos Elétricos em Edifícios Inteligentes

RICARDO MIGUEL PAULINO DE OLIVEIRA
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Professor Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte
Professor Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro

Júri:

Presidente: Professor Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão
Vogais: Professora Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca
Professor Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte
Professor Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro

04 de abril de 2022

Página deixada propositadamente em branco



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

Gestão Técnica de Carregamento de Veículos Elétricos em Edifícios Inteligentes

RICARDO MIGUEL PAULINO DE OLIVEIRA
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Professor Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte
Professor Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro

Júri:

Presidente: Professor Doutor Ivan Rodolfo Pereira Garcia de Galvão
Vogais: Professora Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca
Professor Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte
Professor Doutor Joaquim José Rodrigues Monteiro

04 de abril de 2022

Página deixada propositadamente em branco

Em homenagem aos meus avós.

Página deixada propositalmente em branco

Agradecimentos

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, a toda a minha família, principalmente aos meus pais, que tornaram tudo isto possível, e a quem devo todas as minhas vitórias no meu mundo académico; ao meu irmão, de quem eu tenho enorme orgulho, aos meus tios e primos e, especialmente, aos meus avós, a quem eu tenho o maior respeito e consideração, por serem as pessoas que mais admiro neste mundo.

Quero agradecer a todos os docentes com quem tive oportunidade de me cruzar durante todo o meu percurso académico e que me deram todos os conhecimentos que proporcionaram a realização deste documento e que alimentaram o desejo de saber sempre mais e mais sobre tudo.

Aos meus amigos, que me apoiaram quando mais precisei, que estiveram do meu lado e que foram uma peça crucial para ter alcançado o que alcancei. Apesar de serem muitos, quero agradecer em especial, ao Miguel e Daniel Ferreira, à Ana Francisca Moreira, à Silvia Palma e à Maria Margarida de Azevedo por terem tido a paciência e terem sido amigos excecionais, que ajudaram nas horas mais negras, e agradecer também à Joana Goncalves, que teve a amabilidade de dar o apoio final à realização deste documento, ao Francisco Matos, ao João Rocha, ao Pedro Gaspar, ao Rui Fernandes, ao Pedro Marques e ao Pedro Matos por me terem acompanhado durante o meu percurso no ensino superior, com quem partilho as melhores memórias criadas nesta mui nobre Instituição.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Gonçalo Duarte e Professor Doutor Joaquim Monteiro, com quem tive o prazer de trabalhar e que me acompanharam e guiaram durante esta jornada, e que tiveram toda a consideração e paciência para a realização deste documento.

A todos os colegas de trabalho da ACet, que me providenciaram com conhecimentos fulcrais para a realização deste documento, com especial atenção ao Engenheiro João Cardoso, ao Carlos Serafim, ao Rui Dias, ao Marco Felício, ao José Lourenço e ao Mário Fontes.

Finalmente, gostaria de agradecer à minha madrinha de curso, Magalie Cunha, pelos conselhos e pelas dicas ao longo deste trabalho e a quem tenho muita consideração e respeito.

A todos, o meu mais sincero obrigado.

Página deixada propositadamente em branco

Lista de Caracteres Latinos e Gregos

e – Espessura [m];

λ - Condutibilidade Térmica do Material [W/m.K];

ρ - Massa Volúmica do Material [kg/m³];

c – Calor Específico do Material [J/kg.K];

R – Resistência Térmica do Material [m².K/W];

\dot{Q} – Caudal de Ar [L/s];

q – Quantidade de Calor transferido [W];

U – Coeficiente Global de Transmissão de Calor [W/m².K];

A – Área [m²];

ΔT – Diferencial de Temperatura entre o Interior e o Exterior [K];

U_{total} – Coeficiente Global de Transmissão de Calor Total de uma Parede [W/m².K];

U_{parede} – Coeficiente Global de Transmissão de Calor Efetivo de uma Parede [W/m².K];

U_{janela} – Coeficiente Global de Transmissão de Calor de uma Superfície Envidraçada [W/m².K];

P_{heat} – Potência Elétrica De Aquecimento [kW];

P_{cool} – Potência Elétrica De Arrefecimento [kW];

E_{PV} – Eletricidade Gerada Pelos Painéis Fotovoltaicos [W];

H – Radiação Incidente com Orientação a 5 graus em relação ao horizonte [W/m²];

N_{PV} – Número de Painéis Fotovoltaicos Considerados [adimensional];

A_{PV} – Área de Cada Painel Fotovoltaico [m²];

η_{PV} – Eficiência de Cada Painel Fotovoltaico [adimensional]

I_i – Corrente de Serviço [A];

P – Potência Elétrica do Equipamento [W];

U_s – Tensão de Alimentação Simples, associada a Circuitos Monofásicos [V];

U_c – Tensão de Alimentação Composta, associada a Circuitos Trifásicos [V];

cos (φ) – Fator de Potência do Equipamento / Circuito [adimensional];

k – Coeficiente associado com a potência consumida por equipamentos auxiliares a sistemas de iluminação [adimensional];

N_a – Número de aparelhos de iluminação alimentados pelo circuito [adimensional];

N_{la} – Número de lâmpadas por aparelho de iluminação [adimensional];

P_l – Potência Elétrica de cada Lâmpada [W];

I_u – Corrente de Utilização do Circuito [A];

k_u – Fator de Utilização associado ao circuito elétrico [adimensional];

k_s – Fator de Simultaneidade associado ao circuito elétrico [adimensional];

P_u – Potência Ativa de Utilização do Circuito [W];

Q_u – Potência Reativa de Utilização do Circuito [var];

S_u – Potência Aparente de Utilização do Circuito [VA];

sen (φ) – Seno do Ângulo de Desfasagem do Circuito [adimensional];

P_{uQE} – Potência Ativa de Utilização do Quadro Elétrico [W];

Q_{uQE} – Potência Reativa de Utilização do Quadro Elétrico [var];

S_{uQE} – Potência Aparente de Utilização do Quadro Elétrico [VA];

P_{uj} – Somatório das Potências Ativas de Cada Circuito a ser alimentado pelo Quadro Elétrico [W];

Q_{uj} – Somatório das Potências Reativas de Cada Circuito a ser alimentado pelo Quadro Elétrico [var];

tg(φ)_{uQE} – Tangente do Ângulo de Desfasagem do Circuito do Quadro Elétrico [adimensional];

$\cos(\varphi)_{uQE}$ – Fator de Potência do Circuito do Quadro Elétrico [adimensional];

I_{uQE} – Corrente de Alimentação do Circuito de Alimentação do Quadro Elétrico [A]

k_a – Coeficiente de Ampliação ou Evolução de Cargas [adimensional];

$I_{ujpiorfase}$ – Corrente de Utilização do Circuito pertencente ao Quadro Elétrico com a fase mais carregada [A];

n – Número de Veículos Elétricos [adimensional];

$Total_{Energético}$ – Consumo Final de Energia [kWh_{EP}];

$Data_{PV}$ – Energia Gerada nos Painéis Fotovoltaicos [kWh_{EP}];

$C.I.$ – Cargas Internas referentes ao Consumo Energético da Habitação [kWh_{EP}];

SoC – Estado de Carga da Bateria do Veículo Elétrico (*State of Charge*) [adimensional];

SoC_{atual} – Estado de Carga Atual da Bateria do Veículo Elétrico, aquando do momento de análise [adimensional];

SoC_{dia} – Estado de Carga da Bateria do Veículo Elétrico, depois da sua utilização diária [adimensional];

SoC_{min} – Estado de Carga Mínimo da Bateria do Veículo Elétrico, definido pelo utilizador [adimensional];

$I.O$ – Índice de Ocupação [adimensional];

GD – Graus-dias na base dos 18 °C [°C];

GD_{ref} – Graus-dias de referência na base dos 18 °C [°C];

a – Coeficiente associado à localização para a estação de aquecimento / arrefecimento [°C];

z_{ref} – Altitude de Referência [m];

$\theta_{ext,i}$ – Temperatura Média Exterior do Mês mais frio da estação de arrefecimento [°C];

$\theta_{ext,ref}$ – Temperatura Média Exterior de Referência do Mês mais frio da estação de arrefecimento [°C];

U_{ref} – Coeficiente Global de Transmissão de Calor de Referência [W/m².K];

g_{tot} – Fator Solar do Vão Envidraçado [adimensional];

$g_{tot,ref}$ – Fator Solar de Referência do Vão Envidraçado [adimensional];

$N_{tc,S}$ – Consumos Energéticos Mensais, por unidade de área, referentes aos consumos elétricos de Aquecimento, Arrefecimento e Iluminação [$kWh_{EP}/m^2.mês$];

$N_{tc,T}$ – Consumos Energéticos Mensais, por unidade de área, referentes a outros consumos registados na habitação [$kWh_{EP}/m^2.mês$];

$N_{tc,REN}$ – Montante de Energia produzida por um sistema de renováveis, num mês, por unidade de área [$kWh_{EP}/m^2.mês$];

F_{pu} – Fator de Conversão em Energia Primária [kWh_{EP}/kWh];

N_{tc} – Necessidades Nominais de Energia Primária [kWh_{EP}];

N_t – Necessidades Nominais de Referência de Energia Primária [kWh_{EP}];

R_{nt} – Rácio de Classe Energética Associada a Habitações [adimensional]

Acrónimos

ADENE – Agência para a Energia

AT – Alta Tensão

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BT – Baixa Tensão

BTE – Baixa Tensão Especial

BTN – Baixa Tensão Normal

COP – Coeficiente de Desempenho

EEAP – *Energy Efficient Action Plan*

EER – Relação de Eficiência Energética

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

IoT – *Internet of Things*

ISO – *International Standardization Organization*

LED – *Light Emitting Diode*

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MAT – Muito Alta Tensão

MT – Média Tensão

NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

nZEB – *Near Zero Energy Buildings*

OSB – *Oriented Stranded Board*

PVC – *Polyvinyl Chloride* (Policloreto de Vinilo)

PVT – *PhotoVoltaicThermal*

SCE – Sistema de Certificação Energética

VE – Veículo Elétrico

VRF – *Variable Refrigerant Flow*

V2B – *Vehicle to Building*

V2G – *Vehicle to Grid*

V2H – *Vehicle to Home*

Página deixada propositadamente em branco

Resumo

Neste trabalho será efectuada a análise energética de uma habitação com necessidades energéticas quase nulas (*nZEB*), com a integração de um veículo elétrico e a utilização de *Micro-grids* e *Smart-grids* para obtenção de melhorias de consumo e eficiência energética, recorrendo ao desenvolvimento de uma ferramenta de simulação numérica de gestão de energia. A metodologia de análise irá basear-se nos impactos da introdução de um veículo de mobilidade elétrica na eficiência da habitação, considerando vários cenários alternativos a um modelo de base calculado, onde serão considerados os consumos elétricos associados ao uso de equipamentos domésticos, assim como os consumos elétricos dos sistemas de climatização e iluminação e o contributo do sistema de produção de energia elétrica renovável implementado. Serão analisados, com a aplicação desta ferramenta, quais os seus impactos no consumo energético da habitação, para os demais cenários supra mencionados, assim como a autossuficiência atingida pelo sistema, o comportamento do veículo elétrico na obtenção destes resultados, o custo energético associado às necessidades energéticas e o impacto na classificação energética da habitação, de acordo com a legislação aplicada, e para todas as tarifas energéticas praticadas em Portugal de acordo com o mercado regulado. A implementação desta ferramenta e de vários cenários permitirá a redução drástica dos consumos energéticos da habitação, registando uma diferença de 240% entre o cenário mais eficiente e o cenário inicial, resultando numa diminuição do custo do uso de energia em 126% e um incremento na classificação energética da habitação.

Palavras chave: nZEB, Mobilidade Elétrica, Sustentabilidade, Smart-Grids, Vehicle-to-Building

Página deixada propositadamente em branco

Abstract

In this essay, the energy analysis of a house with near zero energy requirements (nZEB) will be conducted, with the integration of an electric vehicle and the use of Micro-grids and Smart-grids to obtain improvements in consumption and energy efficiency, using the development of a numerical simulation tool for energy management. The analysis methodology will be based on the impacts of the introduction of an electric mobility vehicle on the efficiency of the dwelling, considering several alternative scenarios to a calculated base model, where the electric consumption associated with the use of domestic equipment will be considered, as well as the electric consumption of the air conditioning and lighting systems and the contribution of the implemented renewable electrical energy production system. With the application of this tool, we will analyse the impacts on the house energy consumption for the other scenarios mentioned above, as well as the self-sufficiency achieved by the system, the behavior of the electric vehicle in obtaining these results, the energy cost associated with the energy needs and the impact on the house energy rating, according to the applied legislation, and for all the energy tariffs practiced in Portugal according to the regulated market will be analysed. The implementation of this tool and of several scenarios will allow to drastically reduce the energy consumption of the house, registering a difference of 240% between the most efficient scenario and the initial scenario, resulting in a 126% decrease in the cost of energy use and an increase in the energy rating of the house.

Keywords: nZEB, Electric Mobility, Sustainability, Smart-grids, Vehicle-to-Building

Página deixada propositadamente em branco

Índice

Agradecimentos	ii
Lista de Caracteres Latinos e Gregos	iv
Acrónimos.....	viii
Resumo	xi
Abstract.....	xiii
Índice	xv
1. Introdução	21
1.1. O Panorama Energético e Ambiental Mundial	21
1.2. A Abordagem Europeia às Alterações Climáticas	23
1.3. Objetivo.....	25
1.4. Estrutura da Dissertação	25
2. Estado da Arte.....	28
2.1. O Setor Imobiliário.....	28
2.1.1. Sistema de Climatização.....	30
2.1.2. Sistema de Renováveis	32
2.2. O Veículo Elétrico e a Sua Integração em Habitações Eficientes	35
2.3. Smart-grids e Micro-grids	37
3. Caso de Estudo.....	40
3.1. A Habitação.....	40
3.2. Planta de Habitação	41
3.3. Características Arquitetónicas	42
3.4. Sistema de Iluminação.....	45
3.5. Equipamentos Domésticos	45
3.6. Sistema de Climatização.....	46
3.7. Sistema de Renováveis	57
3.8. Veículo Elétrico.....	58
3.9. Instalação Elétrica	59
4. Metodologia de Cálculo	68
4.1. Tarifa Energética	68
4.2. Ferramenta de Gestão de Energia	71
4.2.1. Considerações Iniciais	71
4.2.2. Modo 1 - Uso Exclusivo PV.....	73
4.2.3. Modo 2 - Uso Exclusivo VE.....	75
4.2.4. Modo 3 - VE como Carga.....	79
4.2.5. Modo 4 - Uso Combinado	81
4.3. Certificação Energética	83
5. Resultados.....	93

6. Conclusões e Perspetivas Futuras de Trabalho.....	105
Referências Bibliográficas	107
Anexos	115
Anexo 1 – Características Técnicas dos Equipamentos Elétricos	116
Anexo 1.1 – Características Técnicas do Forno	117
Anexo 1.2 – Características Técnicas do Frigorífico.....	118
Apêndices.....	119
Apêndice 1 – <i>Systems Design Report do Hourly Analysis Program</i>	120
Apêndice 2 – Algoritmo da Ferramenta de Gestão de Energia	121

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Registo da Temperatura Média Anual Desde 1880 até 2020 (fonte: [3])	21
Figura 1.2 - Concentração de partículas de CO ₂ na Atmosfera [ppm] e Emissão de Partículas de CO ₂ [bilhão de toneladas] (adaptado de: [4]).....	22
Figura 1.3- Dependência de importação de Energia na Europa de 2007 até 2017 (fonte: [6]).....	24
Figura 2.1 - Sistemas de Eficiência Energética num NZEB (fonte: [21]).....	29
Figura 2.2 - Algoritmo de Otimização de Ajuste do Set-point, em função do Conforto Térmico e da Poupança de Energia (fonte: [35]).....	32
Figura 2.3 - Sistema de Energia Solar Fotovoltaico (fonte :[37])	33
Figura 2.4 - Esquema de Princípio de Funcionamento de um Sistema Solar Térmico Com Permutador Externo (fonte: [38])	34
Figura 2.5 - Representação de um Painel PVT (fonte: [38]).....	34
Figura 2.6 - Funcionamento de uma Bomba de Calor Geotérmica em estação de Aquecimento e Arrefecimento (fonte: [40])	35
Figura 2.7 - Redução de Emissão de CO ₂ para Conversão de 25% da Frota para Motorização Elétrica (fonte: [42]).....	36
Figura 2.8 - Exemplo de Aplicação de Micro-grids e Smart-grids num Complexo Residencial (fonte: [52])	38
Figura 3.1 - Edifício nZEB alvo de estudo (fonte: [13]).....	41
Figura 3.2 - Planta Arquitetónica do Caso de Estudo (fonte:[54]).....	42
Figura 3.3 - Representação Esquemática do Sistema de Climatização (retirado de [13])	47
Figura 3.4 - Características Gerais da Habitação (fonte: [57]).....	48
Figura 3.6 – Necessidades Térmicas de Climatização da Habitação	56
Figura 3.7 – Consumo Elétrico associado ao Sistema de Climatização	56
Figura 3.8 - Coeficientes de Utilização dos Circuitos Elétricos (fonte: [64])	61
Figura 3.9 - Coeficientes de Simultaneidade para Circuitos Elétricos, segundo a norma NF C 15 100 (fonte: [64]).....	61
Figura 3.10 - Coeficiente de Simultaneidade para Quadros Elétricos (fonte: [64])	63
Figura 4.1 - Tarifas Aplicáveis ao Escalão de Baixa Tensão Normal (fonte: [2]).....	71
Figura 4.2 - Fluxograma Principal da Ferramenta de Gestão de energia	73
Figura 4.3 - Fluxograma do Algoritmo Associado ao Uso Exclusivo dos Fotovoltaicos.....	75
Figura 4.4 - Circuito Lógico Aplicado à Equação (32).....	77
Figura 4.5 - Fluxograma do Algoritmo Associado ao Uso Exclusivo do Veículo Elétrico	79
Figura 4.6 - Fluxograma do Algoritmo Associado ao Uso do Veículo Elétrico como Consumidor	80
Figura 4.7 - Fluxograma Associado ao Uso Combinado dos Sistemas	83
Figura 4.8 - Zonas Climáticas de Inverno no Continente (à esquerda) e de Verão no Continente (à direita) (fonte: [70]).....	84
Figura 4.9 - Zona Climática Correspondente à Localização da Habitação (fonte: [71])	85
Figura 4.10 - Valores de Referência e Declives para Ajustes em Altitude para a Estação de Aquecimento para a Grande Lisboa (adaptado de [70])	86

Figura 4.11 - Valores de Referência e Declives para Ajuste em Altitude para a Estação Convencional de Arrefecimento para a Grande Lisboa (adaptado de [70])	86
Figura 4.12 - Zona Climática de Inverno (fonte: [60])	87
Figura 4.13 -Zona Climática de Verão (fonte: [60])	87
Figura 4.14 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Referência por Zona Climática (fonte: [60])	87
Figura 4.15 - Fatores Solares de Referência para cada Zona Climática (fonte: [60])	88
Figura 4.16 - Fatores de Conversão de Energia Final para Energia Primária (fonte: [60])	89
Figura 4.17 - Intervalos de valor de Rnt para Edifícios de Habitação (fonte: [60])	90
Figura 5.1 - Necessidades Brutas de Energia	93
Figura 5.2 - Percentagem de Autossuficiência em Tarifa Simples	95
Figura 5.3 - Percentagem de Autossuficiência em Tarifa Bi-Horária	96
Figura 5.4 - Percentagem de Autossuficiência em Tarifa Tri-Horária	96
Figura 5.5 - Estado de Carga da Bateria do Veículo Elétrico, para o caso de Tarifa Simples	98
Figura 5.6 - Estado de Carga da Bateria do Veículo Elétrico, para o caso de Tarifa Bi-Horária	99
Figura 5.7 - Estado de Carga da Bateria do Veículo Elétrico, para o caso de Tarifa Tri-Horária	99
Figura 5.8 - Custos Energéticos de Cada Cenário	100

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Características Geométricas da Habitação (adaptado de [13]).....	42
Tabela 3.2 - Características Térmicas dos Elementos de Construção (adaptado de [13])	44
Tabela 3.3 - Lista de Equipamentos Domésticos a Considerar	45
Tabela 3.4 - Coordenadas Geográficas da Habitação(fonte: [57])	48
Tabela 3.5 - Condições de Temperatura de Projeto para Lisboa (fonte: [57])	48
Tabela 3.6 - Cargas Térmicas a Considerar (adaptado de [56])	49
Tabela 3.7 - Carga Térmica Total, sensível e latente da atividade metabólica do ser humano (adaptado de [56])	50
Tabela 3.8 - Coeficientes de Transmissão de Calor dos Elementos Construtivos.....	52
Tabela 3.9 - Dados de Climatização do Sistema.....	54
Tabela 3.10 - Eficiência de Referência dos sistemas em Edifícios de Habitação (adaptado de: [60])	55
Tabela 3.11 - Características do Quadro de Alimentação Elétrica da Habitação	65
Tabela 3.12 - Consumos Elétricos da Habitação no dia 1 de Janeiro.....	66
Tabela 4.1 - Períodos Horários Aplicáveis em Portugal (adaptado de [68])	70
Tabela 4.2 - Tabela de Verdades Associada ao Modo 2	77
Tabela 4.3 - Comparação dos Coeficientes Calculados com os Coeficientes de Referência	88
Tabela 4.4 - Comparação entre o Fator Solar de Estudo e o de Referência	88
Tabela 5.1 - Diferenças Energéticas face ao Modo 0	95
Tabela 5.2 - Diferencial de Custos dos Vários Cenários Considerados	101
Tabela 5.3 - Classificação Energética da Habitação, de acordo com os vários cenários de estudo	102

Página deixada propositadamente em branco

1. Introdução

1.1. O Panorama Energético e Ambiental Mundial

Um dos maiores problemas que a sociedade mundial enfrenta no século XXI são as mudanças climáticas associadas à prática da atividade humana, que ameaça a vida no planeta. Desde a Revolução Industrial, em finais do século XVIII até meados do século XIX que o Homem se tem superado intelectualmente na criação de inovações tecnológicas de elevado valor social, como o surgimento de novos meios de locomoção, capazes de cobrir distâncias cada vez maiores em intervalos de tempo relativamente reduzidos, tal como o automóvel e o avião, assim como equipamentos de conforto, que permitem por exemplo, modificar as condições de temperatura e humidade num espaço envolvente.

Tais inovações, representam uma mudança muito significativa no modo de vida de uma população, trazendo consigo o principal motivo responsável pelo problema que hoje enfrentamos: o elevado consumo de energia, à qual surgem associadas a emissão de gases poluentes, responsáveis pelo efeito de estufa acentuado, manifestado na atmosfera terrestre. Com efeito, desde 1880 tem-se verificado que a temperatura média anual registada tem vindo a aumentar, registando níveis preocupantes em finais do século XX, início do século XXI (Figura 1.1).

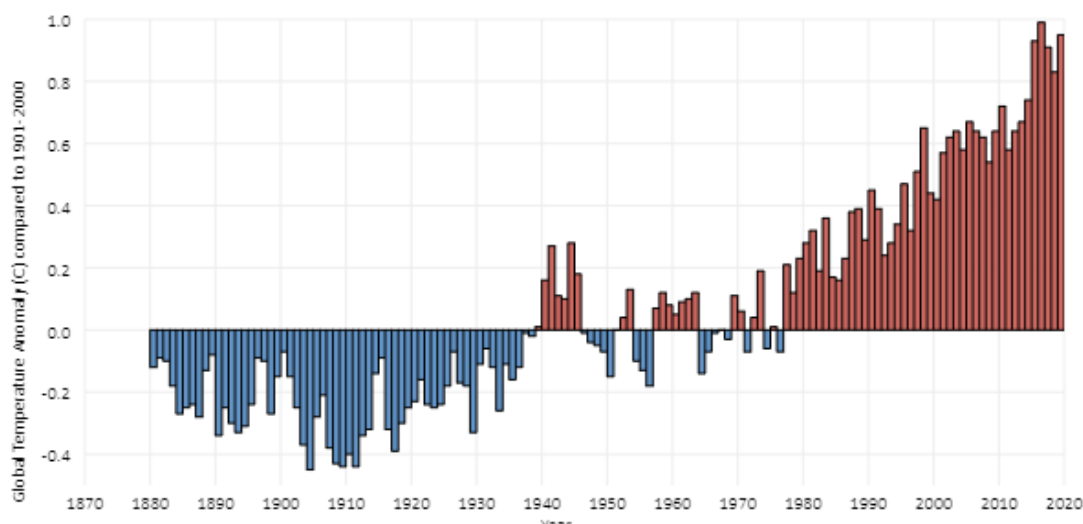


Figura 1.1 - Registo da Temperatura Média Anual Desde 1880 até 2020 (fonte: [1])

De facto, desde 1880 que os dez anos mais quentes de que há registo ocorreram desde 1998, nove deles desde 2005, sendo o ano de 1998 o único pertencente ao século XX. O ano mais quente da década, 2016, regista uma temperatura média superior a 1°C. [1]. Esta ligeira variação de temperatura é suficiente para contribuir para destabilizar ecossistemas delicados e para o desaparecimento de outros tantos. As principais ocorrências deste fenómeno podem ser verificadas no descongelamento das calotas polares, de elevados índices de pluviosidade em

locais de pouca ocorrência de chuvas e vice-versa, entre outros acontecimentos. Embora estudos recentes estimem que 2020 [1] seja um ano em que o balanço térmico do planeta não seja tão acentuado – apenas de 0,5°C face à média registada entre 1980 e 2005 (muito devido à situação epidemiológica registada globalmente) – este acontecimento particular não é motivo para deixar de considerar estratégias para reduzir a energia consumida, assim como a alterar as suas fontes de produção.

Carbon dioxide emissions and atmospheric concentration (1750-2020)

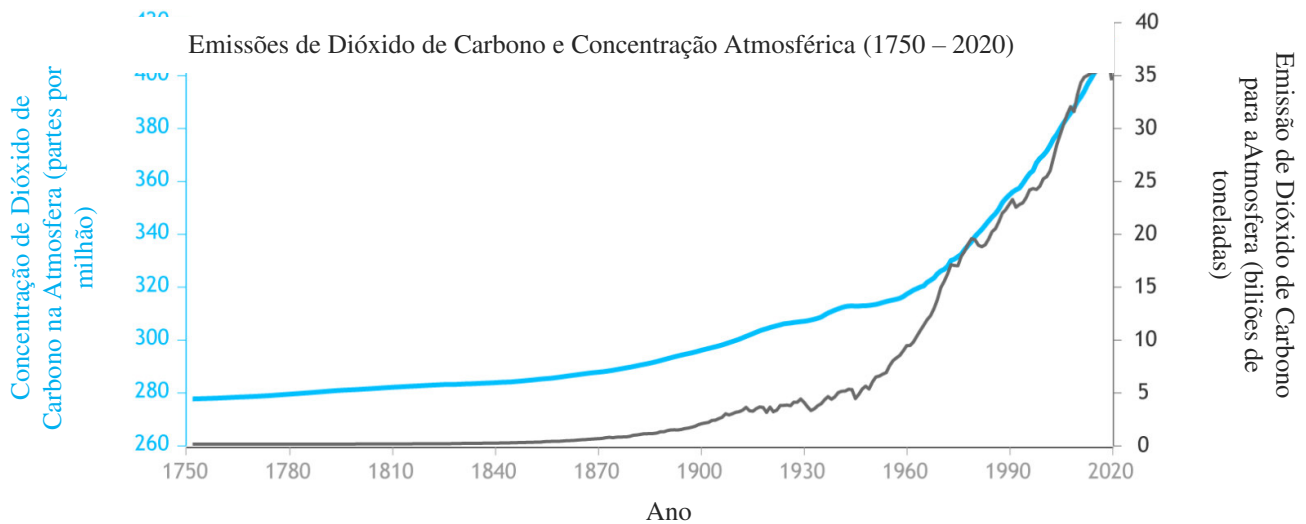


Figura 1.2 - Concentração de partículas de CO₂ na Atmosfera [ppm] e Emissão de Partículas de CO₂ [bilhão de toneladas] (adaptado de: [2])

Apesar da estabilidade registada, como se mostra na

Figura 1.2 a emissão de CO₂ tem vindo a aumentar a cada ano que passa. A razão pela qual 2020 surge como um ano menos preocupante face aos registos adquiridos deve-se à tremenda inércia térmica presente nos oceanos, fazendo com que a variação térmica não seja tão alarmante [2]. Tal fenómeno ocorre devido à elevada massa de água existente no nosso planeta, que se encontra a uma temperatura mais baixa que as variações térmicas, fazendo com que a temperatura do planeta não seja tão acentuada. Este fenómeno ainda é particularmente mais evidente devido à situação epidemiológica sentida em todo o globo terrestre, que contribui para, não só uma redução das emissões de poluentes para a atmosfera, como numa ligeira diminuição da temperatura sentida na Terra. No entanto, se a concentração de partículas na atmosfera continuar a subir, os especialistas temem que em 2030 a inércia térmica dos oceanos seja insuficiente para combater as pequenas variações de temperaturas registadas consequentes do efeito de estufa, levando a um aumento de temperaturas incontrollável no final do século, tornando alguns ecossistemas do planeta extintos por completo.

1.2. A Abordagem Europeia às Alterações Climáticas

A nível europeu, têm sido inúmeros os incentivos e esforços para combater os avanços das mudanças climáticas. O ponto de partida para a abordagem da União Europeia para o problema em questão começa em 1997, com a edição do Livro Branco Para uma Estratégia e Um Plano de Ação Comunitários [3], que contém informações para o incentivo do uso de fontes de energia renováveis, estipulando que 12% da energia criada a nível europeu seria produzida através de fontes de energias que não as convencionais (queima de combustíveis fósseis), e que até 2020, 22,1 % do consumo de energia elétrica seria fornecida por fontes renováveis.

Em 2006, e com a criação do Livro Verde – Estratégia Europeia para uma Energia Sustentável, Competitiva e Segura [4], a União Europeia define uma estratégia energética para toda a comunidade europeia, de modo a permitir o desenvolvimento sustentável e a competitividade e segurança de aprovisionamento de recursos energéticos a nível europeu, sendo esta sustentada por aspetos de elevada importância:

- Necessidade de investir para responder à procura energética nos Estados Membros (cerca de 1000 milhões de euros em 20 anos);
- A existência de uma enorme dependência de importações de energia, como se pode ver na Figura 1.3 (cerca de 50% em 2006, com uma previsão de subida até 70% nos próximos 20 a 30 anos);
- A existência de poucas reservas de energia, sendo estas concentradas em poucos países (sendo que 50% das importações de gás natural são provenientes da Rússia, Noruega e Argélia em 2006, apresentando expectativas de 80% de dependência dessas fontes em 25 anos);
- Um aumento considerável da procura de energia, mais de 60% até 2030 (1,6%/ano no petróleo) (Figura 1.3);
- As alterações climáticas já mencionadas, inerentes à queima de combustíveis fósseis para produção de energia;
- Pouco desenvolvimento do mercado energético na Europa, visando o incentivo no investimento de novas tecnologias para a produção de energia.

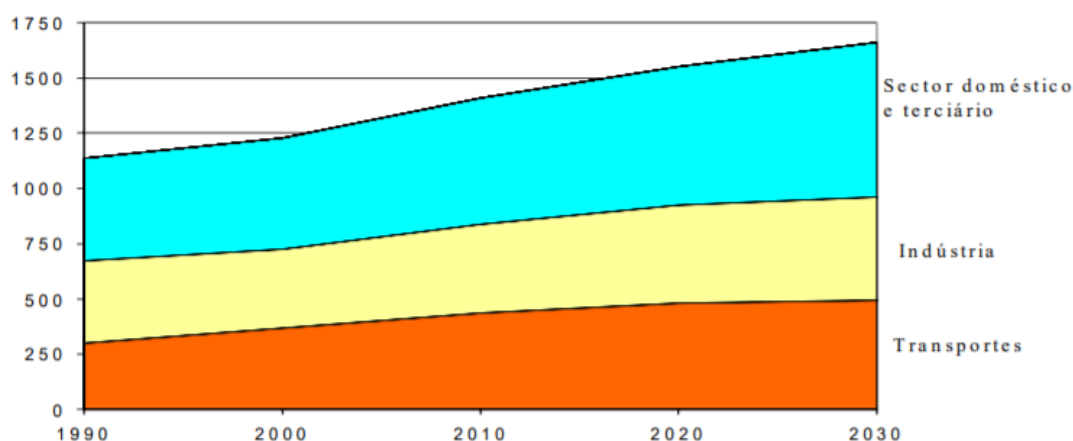


Figura 1.3- Dependência de importação de Energia na Europa de 2007 até 2017 (fonte: [4])

O Livro Verde foi então criado com o propósito de tratar seis domínios de ação para a Política Energética Europeia:

1. A Competitividade e o Mercado Interno de Energia;
2. A Diversificação do Cabaz Energético;
3. Solidariedade;
4. Desenvolvimento Sustentável;
5. Inovação e Tecnologia;
6. Política Externa de Energia;

Em função do Livro Verde, a União Europeia lança no mesmo ano um plano de ação para implementar a eficiência energética em todos os Países membros – o EEAP [5] (*Energy Efficient Action Plan*), com base não só em consultas no âmbito do Livro Verde [4]. Este plano de ação surge também da constatação que 20% da energia produzida é desperdiçada devido à baixa eficiência energética e que, conseqüentemente, conduziu a prejuízos de 100 mil milhões de euros até 2020, resultando numa dependência da importação de energia cada vez maior. Assim sendo, o plano foi criado com o objetivo de concretizar o potencial de poupança de energia em 20% até 2020 (correspondendo a 390 Mtep), a redução de emissões de CO₂ em 780 Mton em relação ao caso de referência e a poupança de importações de combustíveis em 100 mil milhões de euros. Em Portugal, esta poupança de 20% do consumo final de energia representa uma poupança significativa. No entanto, esse valor torna-se um pouco irrelevante quando consideradas as percentagens do consumo final de energia referentes ao setor doméstico e da mobilidade, que representam, na sua totalidade, cerca de 52% do consumo final de energia em Portugal [6]. Porém

esta percentagem contabiliza o uso de veículos de motorização convencional, e é provável que, com a introdução de veículos de mobilidade elétrica e a sua conjugação com edifícios de necessidades quase nulas de energia, que os valores percentuais acima mencionados possam diminuir substancialmente.

1.3. Objetivo

O objetivo desta dissertação será então, à luz dos temas tratados e mencionados anteriormente, e de acordo com as legislações em vigor, estudar o impacto energético causado por um veículo elétrico numa habitação de necessidades energéticas quase nulas. Assim, será modelado o seu comportamento num caso de estudo, de forma a avaliar se o veículo elétrico contribui de alguma forma para a melhoria do desempenho energético da habitação, ou se ocorre o inverso, prejudicando tanto as necessidades brutas de energia elétrica como a classificação energética da habitação, de acordo com a regulamentação em vigor em Portugal.

Para tal, foi desenvolvida uma ferramenta de gestão energética que permite a otimização dos consumos energéticos registados no interior de uma habitação alvo de estudo, e qual o melhor compromisso para o carregamento e/ou cedência de energia por parte da mobilidade elétrica. Esta abordagem permitirá avaliar se os consumos finais de energia, quando o veículo elétrico é considerado, são mais otimizados face ao cenário inicial. Para tal, foram considerados vários cenários, todos eles diferentes, face a um modelo inicial que será determinado posteriormente neste documento, para todas as tarifas energéticas aplicadas em Portugal pelas entidades regulamentadoras, de forma a analisar resultados em relação a consumos energéticos, índices de autossuficiência, custos relacionados com as necessidades energéticas, e ainda o impacto ecológico causado pelas mesmas, de modo a que seja possível a redução das necessidades de energia elétrica na habitação, tornando-a autossuficiente e de limitar o uso de energia elétrica por parte da rede de distribuição de energia nacional e a pegada ambiental a ela associada, por esta ser ainda muito dependente da queima de combustíveis fósseis para a produção de energia.

1.4. Estrutura da Dissertação

Na Secção 1, o presente documento abordou o principal problema que a atual sociedade enfrenta e quais alguns dos esforços implementados para a sua resolução. A Secção 2 complementa esta última, introduzindo quais os principais setores de atividade humana que são os mais prejudiciais para a vida na Terra, e quais as soluções apresentadas para a redução deste problema.

A Secção 3 irá introduzir a metodologia e o caso de estudo implementado nesta dissertação, onde serão considerados os principais pontos de consumo de energia elétrica e as principais fontes de produção de energia.

Posteriormente, na secção 4, para além da análise ao caso de estudo mencionado, será introduzida a metodologia para a certificação energética de edifícios, de acordo com o Sistema de Certificação Energética em vigor de acordo com a legislação portuguesa [7]. Também será explicado a introdução da ferramenta de gestão de energia, desenvolvida no âmbito desta dissertação, que tem como finalidade a gestão eficiente de todos os sistemas consumidores e produtores de energia elétrica, de forma a proceder à otimização destes consumos e ainda reduzir a necessidade de apoio por parte da rede nacional de distribuição de energia elétrica, para colmatar as necessidades energéticas da habitação, através do estudo de vários casos de estudo, em nada semelhantes, face a um modelo inicial considerado.

Por fim, a Secção 5 irá tratar os resultados obtidos pela ferramenta de gestão de energia, mencionada anteriormente, comparando, entre as várias tarifas energéticas estipuladas pelo mercado regulado em Portugal [8] e os vários casos de estudo que serão posteriormente tratados, comparando as necessidades de energia de cada um dos cenários, assim como a autossuficiência atingida pela aplicação da ferramenta de gestão de energia, o custo associado ao apoio energético prestado pela rede nacional de energia, e os impactos associados à aplicação da mesma, na classificação energética do imóvel.

Página deixada propositadamente em branco

2. Estado da Arte

2.1. O Setor Imobiliário

Uma parte muito significativa da emissão de poluentes para a atmosfera resulta do setor imobiliário. De facto, este setor é responsável por 35% do consumo energético global, muito devido ao consumo registado em climatização de espaços, iluminação e equipamentos elétricos. Este consumo energético é de tal modo acentuado que cerca de 36% dos poluentes emitidos na Zona Euro são consequentes do consumo registado em edifícios residenciais. Efetivamente, cerca de 26% do consumo final de energia registado na Comunidade Europeia é destinado ao consumo neste setor, representando 246340 quilotoneladas equivalentes de petróleo, segundo dados de 2019 [6].

Neste sentido, a Diretiva de Desempenho de Edifícios de 2010/31/EU [9], (posteriormente revogada pela Diretiva 2018/844[10]) apresenta-se como o compromisso da União Europeia em desenvolver um sistema energético sustentável, competitivo, seguro e descarbonizado. Como tal, esta Diretiva introduz o conceito de nZEB (*Near Zero Energy Building*), estipulando que esta filosofia terá de ser aplicada a todos os edifícios adquiridos por entidades públicas até 31 de dezembro de 2018 e que todos os novos edifícios construídos a partir de 31 de dezembro de 2020 terão de seguir esta metodologia.

Essencialmente, um nZEB é um edifício caracterizado pelo seu baixo consumo energético em termos de aquecimento/arrefecimento de espaços, iluminação, equipamentos e aquecimento de águas sanitárias. Este baixo consumo energético registado pode ser alcançado através da redução de necessidades energéticas e, simultaneamente, pelo uso acentuado de produção de energia recorrendo a fontes de energia renováveis. Num edifício deste tipo, alimentado exclusivamente de renováveis (tendo em conta as necessidades energéticas convencionais para uma habitação) o consumo energético geral pode ser nulo, tendo em conta que toda a energia produzida no local é consumida [11]. Em casos raros, um edifício deste tipo pode funcionar como uma central elétrica, devido ao excedente de energia produzida, que ultrapassa as necessidades energéticas de um imóvel. Assim, esta energia pode ser fornecida à rede de abastecimento elétrica, ou pode ainda ser usada em casos mais específicos, como o armazenamento em baterias para uso *a posteriori* ou para eletrificar uma zona urbana.

O objetivo de um nZEB pode ser alcançado de diversas formas, por exemplo através de um projeto arquitetónico otimizado e eficiente, (atendendo ao clima local de projeto), de modo a reduzir a carga térmica do edifício, minimizando assim o recurso a soluções de climatização e também

através da integração de sistemas de produção de energia através de renováveis [12]. Inclusivamente, já são vários os países onde estão a ser implementadas medidas para a introdução desta filosofia nos métodos de construção civil, quer seja na edificação de novos imóveis, quer seja no acondicionamento de outros mais antigos ou com condições mais degradadas [13].

Em inúmeros casos, estas medidas tratam exclusivamente de propriedades termodinâmicas da envolvente do edifício, da eficiência de sistemas AVAC, da quantidade mínima de renováveis a utilizar no edifício, entre outras medidas ativas e passivas sujeitas a aplicação, como representado na Figura 2.1. Pode-se dizer que um edifício é englobado na ideologia nZEB se cumprir os requisitos mencionados anteriormente, mesmo que o consumo energético do mesmo não seja nulo. Nesta ótica, várias legislaturas pela Europa esperam converter muitos dos edifícios existentes em nZEB's. Esta transição é feita com a integração de sistemas renováveis [14]. Exemplos disso são o uso de fotovoltaicos integrados [15] e fachadas termicamente passivas, com Coeficientes Globais de Transmissão de Calor baixos [16], assim como a integração de painéis fotovoltaicos semi-transparentes [17], bombas de calor [18], baterias de armazenamento elétrico [19], depósitos térmicos [20], novos materiais de construção, entre outras medidas que possam ser implementadas para melhorar a eficiência energética da habitação (Figura 2.1).

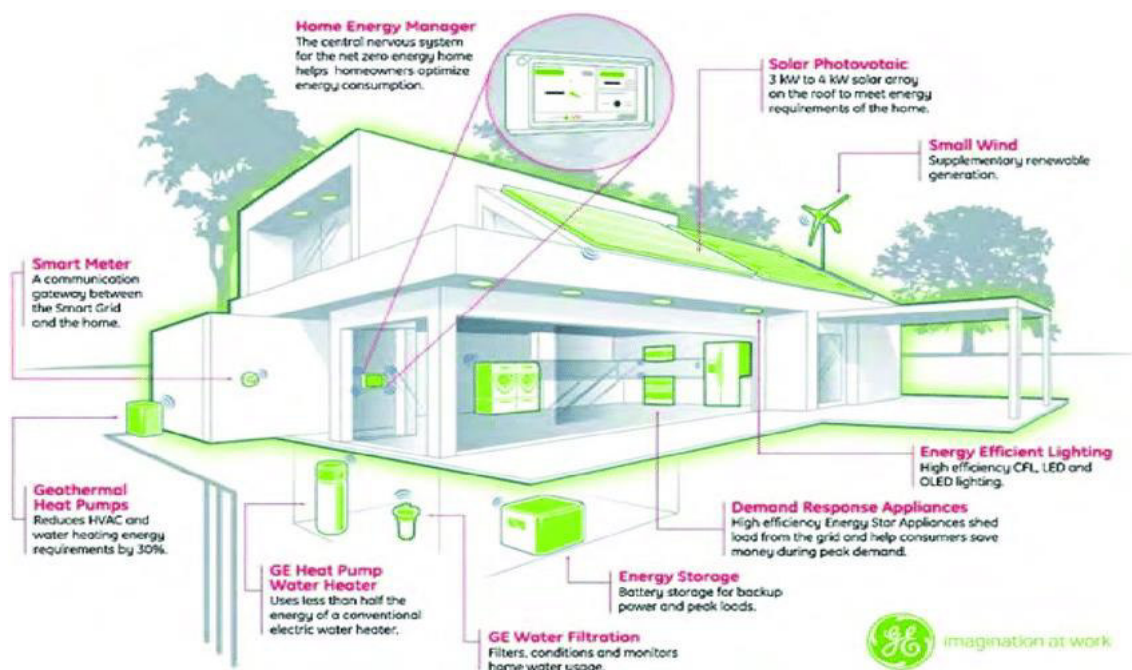


Figura 2.1 - Sistemas de Eficiência Energética num NZEB (fonte: [21])

2.1.1. Sistema de Climatização

Como enumerado, um dos principais consumidores de energia numa habitação são os equipamentos referentes à climatização de espaços. Estes equipamentos têm com função adaptar as propriedades térmicas e higrométricas de um espaço, mediante as necessidades dos ocupantes. Normalmente estes parâmetros não são predefinidos pelo fabricante. Aliás estes equipamentos funcionam segundo as necessidades de conforto térmico sentido pelos ocupantes, podendo variar conforme as pessoas que se encontram no espaço, tornando a otimização deste tipo de sistemas uma tarefa complicada, no que toca a climatização de edifícios residenciais. Em boa verdade, os parâmetros de conforto térmico em edifícios residenciais apresentam um forte impacto nas necessidades energéticas dos respetivos (cerca de 50 por cento do consumo total de energia) [22], sendo a sua seleção alvo de extrema importância [23]. Para otimizar estes parâmetros, os seus valores devem ser personalizados de acordo com a área a climatizar, uma vez que os parâmetros de conforto térmico são dependentes das condições térmicas registadas no exterior [24] [25]. Mais especificamente, o conforto térmico em edifícios residenciais mostram uma dependência elevada das temperaturas externas para manter as condições de controlo no interior [26].

Na Europa, esses parâmetros são definidos pela norma EN 15251:2007 [27], que define as diretrizes para as condições térmicas interiores, garantido o conforto dos ocupantes, aquando da fase de projeto. No entanto, a última versão desta norma data de 2008, não sendo ainda adaptável para a integração de nZEB's, segundo a Diretiva 2010/31 [9]. Apesar disso, a norma EN 15251:2007 [27] foi projetada para definir limites de conforto térmico interior, em função da Diretiva de Desempenho Energético [10], não comprometendo o conforto térmico dos ocupantes em discernimento da poupança de energia. Assim sendo, os parâmetros de conforto térmico permitem a escolha de equipamentos que garantem o conforto térmico esperado, mas que não são necessariamente eficientes. Também a norma ISO 7730:2005 [28] está em falta no que toca à eficiência energética dos equipamentos de AVAC. Embora forneça métodos fiáveis para prever a sensação térmica e o grau de desconforto sentido pelos ocupantes, a aplicação desta regulamentação pode levar ao arrefecimento extremo em climas mais quentes e o aquecimento desnecessário em regiões mais frias [29], comprometendo o conforto térmico e o consumo energético.

Uma das soluções a aplicar será a revisão de determinados critérios, nomeadamente a temperatura de *setpoint* de um determinado espaço a climatizar. Vários estudos indicam que é possível registar poupanças de energia substanciais em situações de verão. Por exemplo, um estudo realizado para uma habitação no deserto do Riade [30] conclui que, ao aumentar a temperatura de *setpoint* em 1°C face às condições definidas por lei para a localização em questão, foi possível registar uma

redução anual de 4% do consumo energético face às condições originais, resultando numa poupança de 0,358 dolar/m².ano. Na mesma ótica, um estudo realizado com o intuito de investigar o efeito do uso de termostatos inteligentes em conforto térmico e poupança de energia em edifícios residenciais unifamiliares localizados em 3 zonas climáticas distintas, com cargas térmicas alvos de arrefecimento [31]. É afirmado que o aumento da temperatura de *setpoint* em 1°C é um fator de elevada importância em todas as zonas climáticas apresentadas. Mais ainda, um outro estudo [32] relata o desempenho de nove casas passivas situadas na Suécia, um clima predominantemente frio. O uso de energia nestes edifícios é altamente dependente da temperatura de *setpoint*. Assim sendo, para uma temperatura considerada de 20°C o uso de energia específica para aquecimento é de 21 kWh/m².ano. Este valor representa uma poupança significativa de 62% face à temperatura considerada inicialmente de 24°C, cujo consumo registado é de 34 kWh/m².ano.

Ainda neste tópico, um estudo realizado com recurso ao software TRNSYS [33] para uma casa unifamiliar situada em Copenhaga e em Madrid, com dados meteorológicos completamente distintos mostra que, alterando a temperatura de *setpoint* de 23°C para 25°C em Madrid permite a redução das necessidades de climatização em 23% e 21,3% para Copenhaga. O estudo demonstra também as vantagens de quantificar o potencial de poupança de energia em relação a diferentes temperaturas de *setpoint*. Os mesmos autores publicaram mais recentemente [34] um artigo que apresenta resultados acerca das medições efetuadas ao ambiente térmico e ao uso de energia numa casa unifamiliar durante um ano. Pelo ajuste das temperaturas de *setpoint* de acordo com a estação do ano, concluiu-se que estas ações representam um papel crucial no conforto térmico e no desempenho energético do edifício.

Apesar de esta ser uma solução viável, o ajuste de temperaturas de *setpoint* nem sempre são as soluções mais usadas, pelo conflito causado muitas vezes com o conforto térmico dos ocupantes. Se a temperatura de um determinado espaço é considerada incomodativa para a maioria dos utilizadores presentes no espaço, a solução é imediatamente descartada. No entanto, um estudo realizado na Universidade da Califórnia [35] permite a conciliação destes dois pontos de vista. A partir da recolha de dados de diferentes utilizadores no que diz respeito a conforto térmico, foi possível ajustar a temperatura dos espaços servidos por uma Unidade de Tratamento de Ar de caudal variável, recorrendo a algoritmos de otimização que têm como base os dados de conforto dos utilizadores, a temperatura do espaço a climatizar e a energia consumida pelo sistema, apresentando resultados promissores no que toca à redução do consumo energético e no aprimoramento das condições de conforto térmico registado (Figura 2.2).

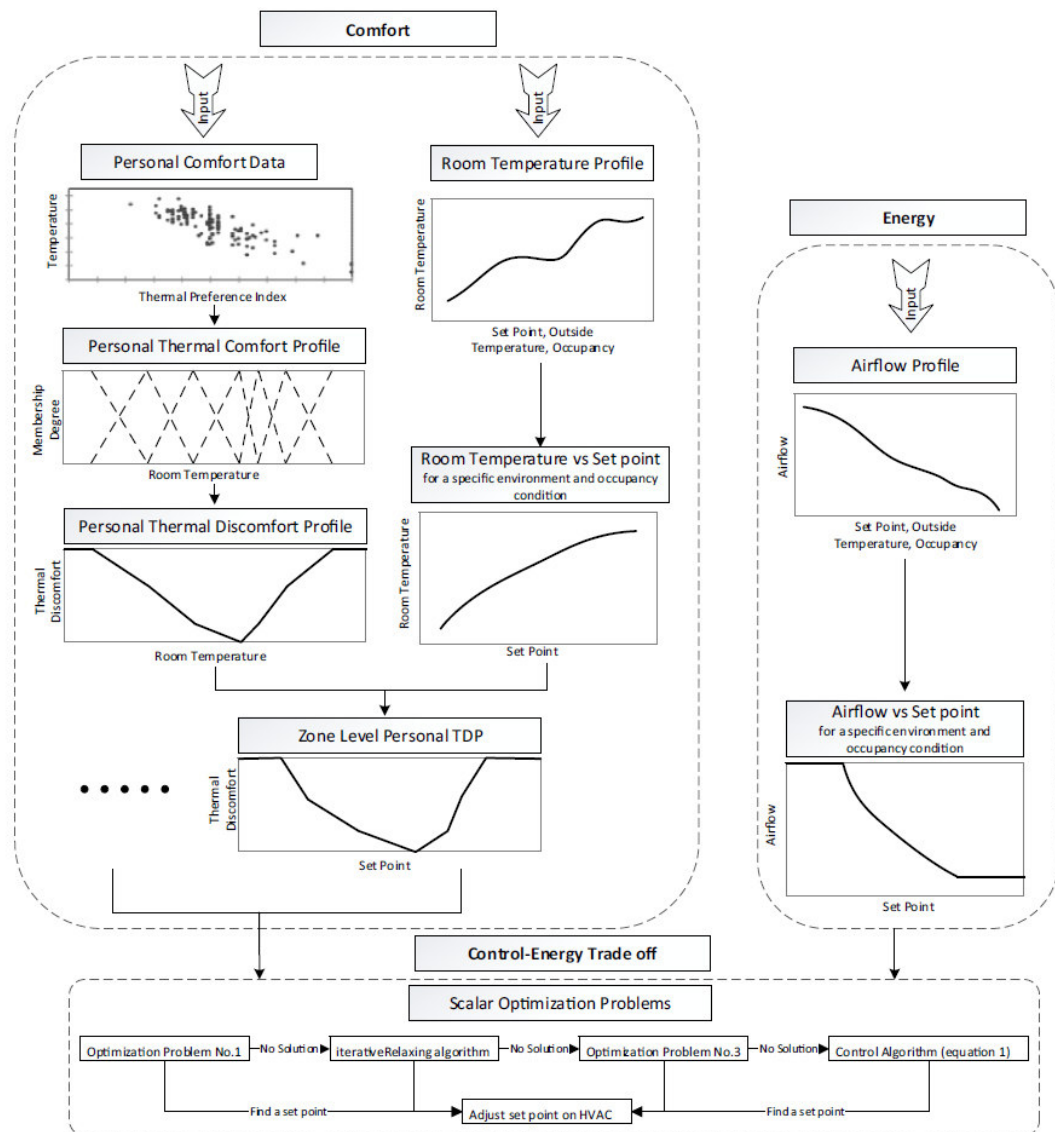


Figura 2.2 - Algoritmo de Otimização de Ajuste do Set-point, em função do Conforto Térmico e da Poupança de Energia (fonte: [35])

2.1.2. Sistema de Renováveis

Tal como mencionado anteriormente, uma das formas de redução do consumo energético da habitação passa pela adoção de sistemas de produção de energia (elétrica e ou térmica) a partir de fontes renováveis. Estas, quando conjugadas da melhor forma, permitem que um determinado sistema energético atinja altos índices de eficiência, devido ao facto de gerar energia limpa, contrariamente ao que se verifica na energia elétrica que é fornecida pela rede de distribuição, que é frequentemente produzida pela queima de combustíveis fósseis [6]. Um dos sistemas de produção de energia mais amplamente utilizados para o efeito é o uso de sistemas solares, que aproveitam a radiação incidente proveniente do Sol para produzir energia elétrica no caso de fotovoltaicos (Figura 2.3), ou energia térmica, como no caso dos coletores solares. O sistema

fotovoltaico funciona de acordo com o efeito fotovoltaico, a partir da conversão direta da luz em eletricidade, utilizando células fabricadas em material semicondutor[36], embora o surgimento de painéis fotovoltaicos transparentes, que utilizam materiais piezoelétricos como o quartzo na sua composição, para a produção de energia elétrica, tenha sido alvo de estudo nos últimos anos de modo a substituir grandes superfícies envidraçadas em grandes edifícios administrativos, embora verificando-se baixos níveis de eficiência para estes materiais [17].

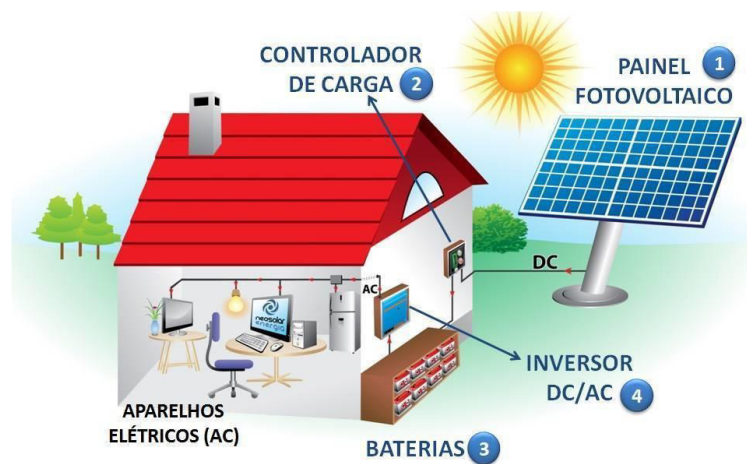


Figura 2.3 - Sistema de Energia Solar Fotovoltaico (fonte :[37])

Da mesma forma que o painel fotovoltaico produz energia elétrica, o coletor térmico solar é um sistema que aproveita a radiação incidente num painel e a converte em energia térmica, a partir do aquecimento de um fluído solar (água glicolada) que irá posteriormente aquecer um depósito de acumulação de águas sanitárias, reduzindo o consumo de energia elétrica necessária para aquecer água que é frequentemente usada para banhos e outras comodidades [38] (Figura 2.4). A estes sistemas geralmente estão associados componentes hidráulicos, nomeadamente bombas circuladoras, permutadores de calor, depósitos de inércia e de acumulação e tubagem própria para o efeito. Existe ainda associado, em semelhança ao que ocorre em sistemas fotovoltaicos, sistemas auxiliares para quando os coletores solares não cumprem com as necessidades residenciais de água sanitária, aquecendo a água em períodos de maior demanda e de menor oferta. Estes sistemas de apoio podem recorrer a energia elétrica como também à queima de combustíveis para aquecer a água em acumulação. No entanto, tem se verificado cada vez mais o uso de bombas de calor para esta utilização, devido ao facto de serem sistemas mais ecológicos e mais eficientes que os tradicionais [39].

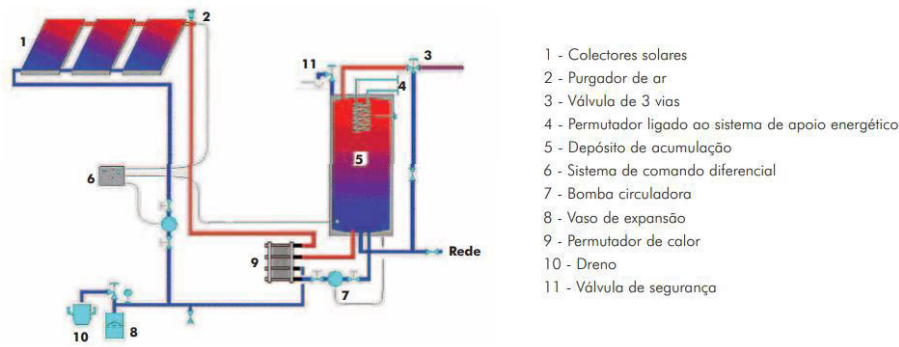


Figura 2.4 - Esquema de Princípio de Funcionamento de um Sistema Solar Térmico Com Permutador Externo (fonte: [38])

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, foi possível juntar ambas as soluções solares num único painel, abrangendo os benefícios dos solares fotovoltaicos e solares térmicos num único só: o painel solar híbrido, denominado PVT (*PhotoVoltaicThermal*). Neste tipo de painel, as células fotovoltaicas cobrem uma fina camada na parte superior do painel, enquanto no interior do mesmo se encontra a tubagem onde circula o fluído solar responsável pela acumulação térmica (Figura 2.5). Estes sistemas caracterizam-se por serem compactos e apresentarem uma eficiência elevada (na ordem dos 40%). No entanto, o fraco desenvolvimento e o seu preço elevado tornam a sua aplicação inviável à data [38].

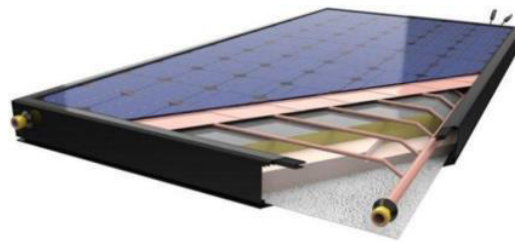


Figura 2.5 - Representação de um Painel PVT (fonte: [38])

Para além dos sistemas solares, também outros sistemas de produção são utilizados para melhorar a eficiência energética de uma habitação, nomeadamente, a integração de mini-hídricas em habitações, aproveitando o escoamento de um leito de água, caso seja aplicável; a integração de soluções eólicas, que aproveitam a energia do vento para gerar energia elétrica, ou ainda o uso de sistemas de geotermia para aquecimento de águas sanitárias e/ou climatização de espaços. Estes sistemas caracterizam-se pelo aproveitamento da energia térmica armazenada na Terra para aquecer um fluído que irá posteriormente aquecer um depósito de acumulação de águas sanitárias ou então será aproveitado o seu calor para a ventilação de espaços em estações de aquecimento,

ou então para expelir o calor no interior do espaço para o solo, em estações de arrefecimento, através de uma bomba de calor geotérmica (Figura 2.6).

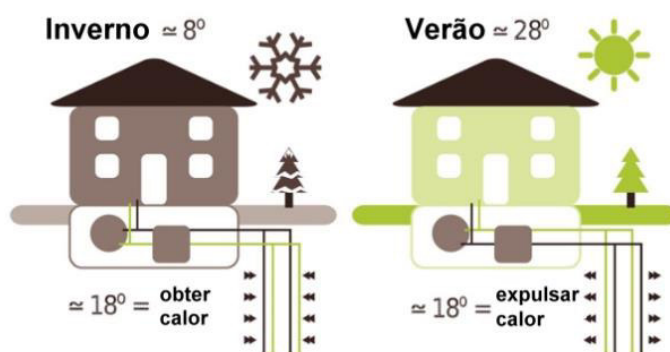


Figura 2.6 - Funcionamento de uma Bomba de Calor Geotérmica em estação de Aquecimento e Arrefecimento (fonte: [40])

2.2. O Veículo Elétrico e a Sua Integração em Habitações Eficientes

Para além do setor imobiliário, também o setor da mobilidade e dos transportes é responsável pela emissão de poluentes para a atmosfera, principalmente pelo uso exaustivo de motores de combustão interna. De todo o setor, é justamente, a secção referente a transportes privados [6] (automóveis de uso individual), a maior responsável pela emissão excessiva de gases como, NO_x , CO_2 , CO e partículas [41]. Como este tipo de motorização representa uma ameaça energética e ambiental, o constante aparecimento e uso de veículos elétricos (doravante VE) é, de acordo com os especialistas [42], uma das soluções para o problema que se apresenta.

Estas unidades motrizes são caracterizadas por recorrerem a motores de indução magnética, alimentados por baterias de armazenamento elétrico para movimentar o veículo. Apesar do consumo nulo de combustíveis fósseis quando em deslocamento, os VE são maioritariamente, carregados em postos de carregamento que são alimentados pela rede de distribuição de energia nacional, sendo esta alimentada com energia elétrica produzida pela queima desses mesmos combustíveis. Em resultado o VE apresenta emissões de poluentes de forma considerável, ainda que de forma indireta [6].

Não obstante, o impacto ambiental a nível de emissão de gases poluentes na fase de utilização do veículo, durante o seu tempo útil de vida, é significativamente menor face aos motores de combustão interna que equipam a maioria dos veículos que circulam a nível nacional. Um exemplo desse efeito pode ser encontrado num estudo realizado [42], onde foi comparado o consumo energético de um táxi de cinco portas, com uma unidade motriz elétrica, face a um

homónimo equipado com um motor de ciclo Diesel, de uma frota de táxis da cidade de Sete Lagoas, Brasil. O consumo energético registado para o VE e para o veículo convencional é de 0,1084 [kWh/km] e 0,8873 [kWh/km], respetivamente. O estudo indica que, se 25% da frota existente fosse substituída por equivalentes com motorização elétrica, seria estimada uma redução de 85% de emissão de poluentes (Figura 2.7).

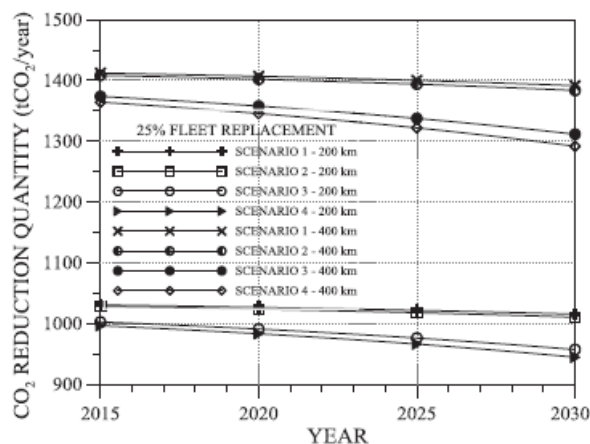


Figura 2.7 - Redução de Emissão de CO₂ para Conversão de 25% da Frota para Motorização Elétrica (fonte: [42])

Apesar dos consumos energéticos reduzidos e emissões quase inexistentes aquando do ato de deslocação, como explicado os VE contribuem, embora que indiretamente, para o aumento da concentração de emissões nocivas na atmosfera. Porém, o seu impacto ambiental pode ser minimizado pela integração de fontes de energia renováveis (solar, eólica, etc) ao carregamento de baterias que os equipam. Das mencionadas, as mais vastamente utilizadas são as soluções solares, eólicas e hídricas, com o propósito de reduzir o consumo energético por parte da rede de distribuição nacional. A sua implementação numa habitação possibilita não só a produção de energia para o consumo doméstico, como também para o carregamento de baterias.

No entanto, a sua adaptação para o abastecimento de VE apresenta vários fatores desfavoráveis. O alto investimento inicial na sua aquisição [43], o controlo do carregamento [44] e os problemas de distribuição de energia [45] e as incertezas face ao desempenho [46] são apenas alguns dos aspetos a enumerar, sendo necessário o direcionamento de esforços para a criação de políticas e regulamentos relacionados com o desenvolvimento destas infraestruturas, de modo a que os sistemas a desenvolver sejam o mais eficientes possível, de modo a que as necessidades energéticas do VE e da habitação sejam colmatadas por fontes de energia renovável instaladas no local, para que exista uma necessidade cada vez menor de recorrer ao fornecimento de energia por parte da rede de distribuição de energia nacional.

Em particular, existem vários estudos e artigos publicados na ótica das tecnologias V2G (*Vehicle to Grid*) e V2H (*Vehicle to Home*) que articulam os problemas mencionados [47]. No entanto, são poucos os que mencionam o uso de fotovoltaicos e de VE para fins de eficiência energética ao nível doméstico. Porém, e em função da ideologia nZEB, a utilidade prática dos VE para esses mesmos fins já é abordada em alguns artigos. Exemplo disso é um estudo numérico sobre o uso do veículo no consumo de eletricidade - sendo esta gerada em painéis fotovoltaicos – para alimentar um edifício de escritórios, de modo a satisfazer as necessidades do edifício e a fornecer energia para carregar a bateria do veículo, durante as horas de trabalho. Considerando um pico de potência de 9 kW e que o VE percorre uma distância média diária compreendida entre 40 a 120 km, foram registadas poupanças de energia de 87% a 99% no edifício [48].

Outro estudo realizado nesta ótica [49], através de algoritmos de otimização de Programação Linear, analisa o comportamento de um VE com uma habitação, situada na Finlândia, equipada com painéis fotovoltaicos e um sistema de aquecimento, utilizando sistemas de geotermia e bombas de calor. Considerando, neste estudo, que a capacidade da bateria do VE seria de 3,3 kWh, foram registadas poupanças energéticas anuais na ordem dos 29%. Esta forma de otimização através de algoritmos de Programação Linear pode ser usada em sistemas V2G e V2H, considerando a interação de renováveis, devido à capacidade de decisão do algoritmo e redirecionar o fluxo de energia entre a rede e os componentes existentes na habitação, explorando ao máximo as capacidades deste sistema.

2.3. Smart-grids e Micro-grids

O conceito de *Smart grids* aplica-se a infraestruturas de análise em tempo real, dinamicamente interativas, capazes de englobar vários cenários de decisão para os sistemas energéticos e seus demais intervenientes existentes numa habitação [50], [51]. O uso destas redes inteligentes permite uma gestão mais eficiente e mais inteligente de todos os pontos consumidores de uma rede elétrica doméstica, face a uma instalação convencional, resultando em consumos energéticos menos acentuados, tornando a utilização de energia mais ecológica e menos dispendiosa para o cliente, devido à facilidade de adaptação da mesma [50], [51]. Tal é possível através do uso de tecnologias informáticas que permitem a comunicação entre a rede de distribuição de energia e os seus utilizadores, através da deteção de picos de consumo ao longo da linha e na habitação [51].

Tal como a rede de Internet, as *Smart-grids* são compostas por equipamentos de controlo, computadores, autómatos, edifícios inteligentes e equipamentos a trabalharem em assíncrono, mas neste caso, ainda com a rede elétrica para responder digitalmente à rápida flutuação das

necessidades dos utilizadores e das suas exigências energéticas. Por conseguinte, estas criam uma oportunidade única para o desenvolvimento de comunidades e de complexos industriais inteligentes e de necessidades nulas, através de implementação de conceitos de IoT (*Internet of Things*) não só na gestão energética dos edifícios, como também no seu projeto e edificação [51]. Já existem aplicações teóricas deste tipo de aglomerados residenciais [52], onde a aplicação de redes inteligentes para controlo do consumo energético do complexo residencial situado em Ludvika, na Suécia, em conjugação com o impacto energético associado ao uso de veículos elétricos e com o contributo e um sistema de produção de energia por fontes renováveis, permite uma diminuição de cerca de 36% do uso da rede de distribuição de energia, enquanto que é registado um aumento no consumo geral de energia por fontes renováveis em cerca de 19%.

O uso destas redes inteligentes à escala descrita permite ainda a implementação de sistemas de micro-redes (*Micro-grids*) para atingir a autossuficiência de um edifício ou até mesmo de um complexo residencial. Estas *micro-grids* caracterizam-se por serem redes de produção e distribuição de energia locais, ou seja, através de sistemas de produção de energia renovável, como o caso de painéis fotovoltaicos, instalados *in situ*, e que tenham capacidade de cumprir com todas as necessidades energéticas do sistema consumidor. A conjugação destas ideologias permite, no melhor caso possível, que o complexo residencial (ou apenas o edifício em estudo) seja completamente autossuficiente e que a dependência de fontes externas de energia seja nula (Figura 2.8).

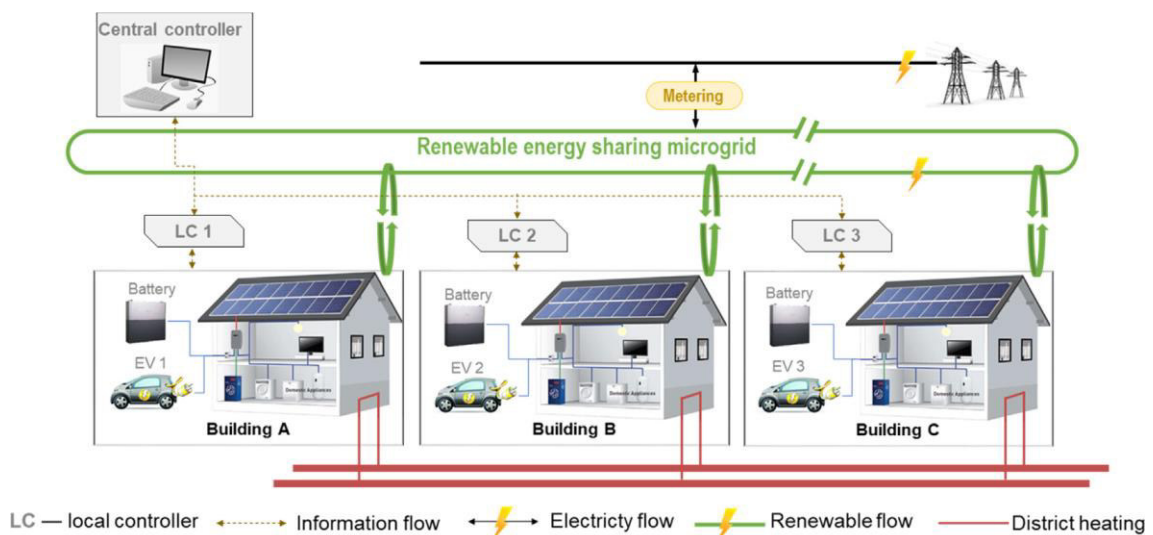


Figura 2.8 - Exemplo de Aplicação de Micro-grids e Smart-grids num Complexo Residencial (fonte: [52])

Página deixada propositadamente em branco

3. Caso de Estudo

Como não é exequível uma análise anual completa de todos os dias que o compõem, para esta dissertação optou-se por analisar os meses mais críticos no que diz respeito a condições meteorológicas exteriores, e que conseqüentemente exigem potências de climatização mais elevadas, quer a nível de arrefecimento, quer a nível de aquecimento do espaço interior a tratar. Assim sendo, os meses de janeiro e de agosto serão os meses alvo de estudo, para situações de temperaturas e radiação mais reduzidas e para condições térmicas e de radiação mais elevadas, respetivamente, a partir da análise dos dados descritos em [53], para a cidade de Lisboa.

3.1. A Habitação

Para a realização desta dissertação, foi necessário definir um caso de estudo de um edifício para poder proceder aos cálculos de implementação de algoritmo de gestão energética. Após alguma consulta de artigos científicos, foi encontrada uma publicação com uma importância relevante e com aspetos interessantes em questão de caso de estudo a aplicar.

O artigo em questão [13] trata a caracterização de um edifício unifamiliar (Figura 3.1), situado na cidade de Benevento, Itália, construído sob a alçada da ideologia nZEB, aplicada à legislação italiana, caracterizando o edifício na sua generalidade, desde as soluções construtivas utilizadas, ao sistema de climatização e os sistemas de renováveis usados, e também caracterizado o seu impacto na legislação de edifícios autónomos e qual o impacto da sua utilização em outros países da União Europeia, entre os quais Portugal.

Nos subcapítulos que se seguem, irá ser feita uma caracterização da residência, e será explicada a aplicabilidade do edifício como um caso de estudo viável para esta dissertação.



Figura 3.1 - Edifício nZEB alvo de estudo (fonte: [13])

3.2. Planta de Habitação

O edifício em estudo foi projetado para abranger todas as variáveis climáticas do local onde foi edificado, de modo a manter um equilíbrio térmico e higrométrico entre o interior e o exterior da habitação [13] e também reduzir o consumo energético necessário para manter as condições térmicas interiores. Assim, foi concebido o uso de janelas termicamente eficientes, com exposição a sul, e o uso de uma pala para criar sombra nessa fachada, de modo a que no inverno as necessidades de aquecimento sejam mais baixas e que no verão as necessidades de arrefecimento também sejam reduzidas, graças ao aproveitamento da radiação solar no inverno, quando a radiação incidente é menos acentuada em relação ao horizonte da Terra (e assim, permite o aproveitamento da mesma na fachada envidraçada) e à redução desse aproveitamento no verão devido ao uso da sombra (devido ao facto da radiação incidente ser mais acentuada em relação ao horizonte da Terra).

A habitação tem ao seu dispor uma sala de estar com uma janela de grandes dimensões, uma cozinha e dois quartos, como pode ser verificado pela Figura 3.2. As características mais relevantes da habitação são descritas na Tabela 3.1:

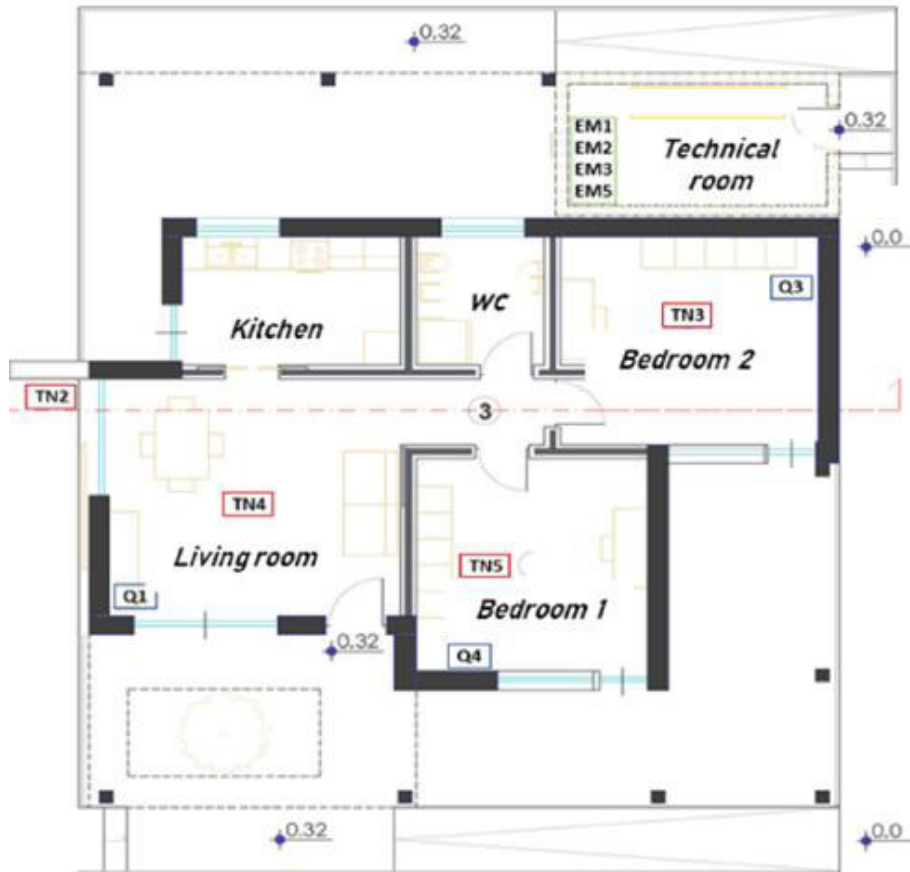


Figura 3.2 - Planta Arquitetónica do Caso de Estudo (fonte:[54])

Tabela 3.1 - Características Geométricas da Habitação (adaptado de [13])

Características Geométricas da Habitação	
Área Útil do Edifício (m ²):	70,0
Altura Útil do Edifício (m):	3,2
Volume Útil do Edifício (m ³):	323,0
Rácio Janela/Parede (%)	22,5

3.3. Características Arquitetónicas

As características das fachadas do edifício e do pavimento são diferentes das normalmente usadas em construção civil em Portugal, onde até há alguns anos as paredes exteriores eram geralmente feitas de alvenaria dupla com caixa de ar [55]. Desta forma, para o caso de estudo, as paredes exteriores são compostas por uma estrutura base de alvenaria, mas com mais elementos considerados, como uma placa de composto de madeira laminada (OSB daqui em diante), duas camadas de lã de rocha e duas camadas de reboco [13]. As paredes interiores são compostas por

duas bases de alvenaria, juntamente com duas camadas de reboco, duas caixas de ar e uma placa de OSB [13].

A cobertura é composta por uma camada de membrana betuminosa, uma camada de auto-nivelante, uma camada de isolamento, uma barreira de vapor, uma placa de OSB, uma camada de reboco, uma caixa de ar e uma camada de pladur [13]. Finalmente, o pavimento é composto por uma camada de parquet, uma camada de auto-nivelante, uma camada de polietileno expandido extrudido (XPS), uma tela de cimento, uma caixa de ar, uma plataforma de cimento e uma camada de betão que está em contacto com o solo [13].

A Tabela 3.2 apresenta todas as características relevantes dos componentes arquitetónicos usados, como a espessura (s), a condutibilidade térmica do material (λ), a massa volúmica do material (ρ) o calor específico do mesmo (c) e, por vezes, a resistência térmica do material (R):

Tabela 3.2 - Características Térmicas dos Elementos de Construção (adaptado de [13])

Material	e [m]	λ [W/(m*K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg*K]
Parede Exterior				
Reboco Interior	0,01	0,91	1200	1960
Parede de Alvenaria	0,022	0,353	1600	1100
Lã de Rocha	0,05	0,038	55	2100
OSB	0,095	0,13	500	1600
Lã de Rocha	0,14	0,038	55	2100
Reboco Exterior	0,02	0,90	1000	1800
Parede Interior				
Reboco Interior	0,00,0108	0,91	1200	1960
Parede de Alvenaria	0,022	0,353	1600	1100
Caixa de Ar	0,05	R = 0,11 [(m ² *K)/W]		
OSB	0,095	0,13	500	1600
Caixa de Ar	0,05	R = 0,11 [(m ² *K)/W]		
Parede de Alvenaria	0,022	0,353	1600	1100
Reboco Interior	0,01	0,91	1200	1960
Cobertura				
Membrana Betuminosa	0,008	0,13	800	2100
Auto-nivelante	0,06	0,129	380	1000
Camada Isolante	0,10	0,041	2100	1475
Barreira de Vapor	0,0091	0,400	427	1800
OSB	0,12	0,130	500	1800
Reboco Interior	0,01	0,91	1200	1960
Caixa de Ar	0,19	R = 0,17 [(m ² *K)/W]		
Pladur	0,01	0,072	480	1380
Pavimento				
Parquet	0,02	0,10	450	1700
Auto-nivelante	0,05	0,12	400	1000
XPS	0,08	0,035	30	920
Tela de Cimento	0,05	1,6	2400	1000
Caixa de Ar	0,55	R = 0,46 [(m ² *K)/W]		
Plataforma de Cimento	0,30	1,91	2400	1000
Betão	0,30	1,4	2000	1000

No que toca aos vãos envidraçados, foram considerados dois tipos de janelas, ambas bastante distintas. A janela virada a sul compõe a maior porção de secção envidraçada da habitação, sendo esta composta por vidro de elevado desempenho térmico na parte interior da janela, com 8,2 mm de espessura, uma caixa de ar de 16 mm de espessura e vidro de baixa emissividade no exterior, com 5 mm de espessura, revestido com uma película adesiva de 0,4 mm ativada manualmente de forma a aumentar ou diminuir o fator solar do vão (tornando a janela mais escura ou mais clara, dependendo da preferência do utilizador) e ainda uma caixilharia em madeira, totalizando um coeficiente global de transmissão de calor de 0,85 W/m²K para toda a janela virada a sul, 0,53 W/m²K para a componente envidraçada da janela, sendo que o fator solar é igual a 0,79 se a película estiver desativada, ou igual a 0,06 se a película estiver ativada [13].

Para as restantes janelas existentes na habitação (uma para cada fachada remanescente), foi utilizado um vão composto por janelas de vidro duplo, revestidas com película de baixa

emissividade e com caixa de ar preenchida com argon e caixilharia feita em PVC. O coeficiente global de transmissão de calor destas janelas é igual a 1,1 W/m²K, o fator solar associado é igual a 0,58 e a transmissividade da mesma é igual a 0,79 [13].

3.4. Sistema de Iluminação

A residência está equipada com iluminação LED totalmente regulável, com uma potência elétrica de variável, de 1 a 39 W por lâmpada [13]. Tendo em conta que não é descrito a quantidade de lâmpadas existentes na habitação, é possível realizar este cálculo, se for considerada uma densidade luminosa de 7 W/m². De acordo com a eq (3.1), obtém-se a necessidade de usar 15 lâmpadas.

$$N^{\circ} \text{ Lâmpadas} = \frac{\text{Densidade de Iluminação} * \text{Área}}{\text{Potência Elétrica}} = \frac{7 * 70}{39} = 15 \text{ lâmpadas} \quad (3.1)$$

3.5. Equipamentos Domésticos

Consultado o artigo referente ao caso de estudo, não existe qualquer informação sobre quais os equipamentos domésticos utilizados na habitação. Assim sendo, terão de ser considerados alguns equipamentos para poder realizar os cálculos no capítulo 3.9 [56]. É possível então considerar as seguintes cargas internas divididas pelas seguintes divisões [56], com exceção do forno e do frigorífico, cujas características técnicas se encontram no Anexo 1.1 e 1.2, respetivamente (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Lista de Equipamentos Domésticos a Considerar

Divisão	Equipamento	Potência (W)
Cozinha	Frigorífico	12,55
Cozinha	Microondas	600
Cozinha	TV LED	80
Cozinha	Forno	2900
Sala	TV LED	80
Quarto 1	TV LED	80
Quarto 1	Portátil	55
Quarto 2	TV LED	80
Quarto 2	Portátil	55

3.6. Sistema de Climatização

O sistema de climatização instalado na habitação foi dimensionado de forma a ser totalmente elétrico, não dependendo da queima de combustíveis fósseis com gás ou biomassa. De facto, o sistema de climatização desta habitação é composto por uma bomba de calor de permuta ar-ar [13], tendo como sistema de apoio um sistema de expansão direta *multi-split* como suplemento em condições extremas em que a bomba de calor não consegue cumprir as necessidades da habitação [13].

Em detalhe, a bomba de calor é capaz de ventilar mecanicamente a habitação com ar ameno durante o inverno e com ar fresco durante o verão. Este mesmo equipamento tem a capacidade de desumidificar o ar exterior, de modo que as condições higrométricas do interior sejam cumpridas e está equipado com um filtro de carvão ativado para filtrar as partículas do ar exterior antes de ser insuflado para o espaço a tratar [13]. Associado a esta bomba de calor, está um recuperador de calor ativo, que aproveita a carga latente existente no caudal de ar extraído para aquecer o caudal de ar insuflado, poupando energia no sistema de climatização.

Este sistema pode fornecer energia para o sistema de águas quentes sanitárias, como forma de apoio para quando a radiação solar é insuficiente para produzir as necessidades residenciais. Este sistema de águas quentes sanitárias é composto por dois tanques de acumulação de 180 L cada [13]. Além deste sistema, é utilizado um permutador de calor adicional antes da intervenção da bomba de calor. Este permutador de calor está ligado a poços geotérmicos e a um coletor solar, que servirão para pré-aquecer o ar antes deste ser filtrado [13].

Mais ainda, para além dos sistemas falados, existe ainda um sistema de expansão direta do tipo *multi-split*, de tipo comercial, composto por duas unidades interiores de 4 vias do tipo cassette e uma unidade exterior, que irá servir como apoio caso o sistema de climatização mencionado anteriormente não seja capaz de cumprir com as necessidades térmicas e higrométricas especificadas [13]. A Figura 3.3 mostra uma representação esquemática do sistema de climatização por completo:

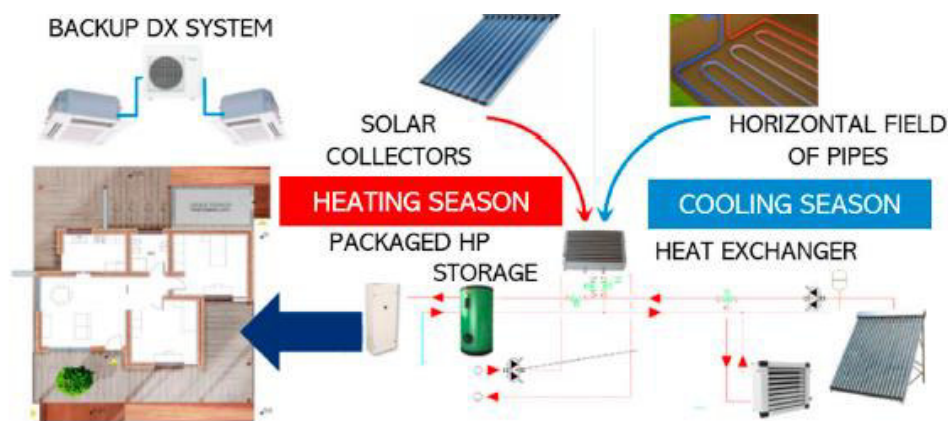


Figura 3.3 - Representação Esquemática do Sistema de Climatização (retirado de [13])

Para questões de simplificação de sistema, para a realização dos cálculos referentes a esta dissertação, apenas será considerado o sistema de expansão direta para abranger todas as necessidades da habitação. Além disso, em vez do uso de um sistema *multi-split*, optou-se pelo uso de um sistema VRF (*Variable Refrigerant Flow*), devido ao facto de ser um sistema mais fiável, apesar do princípio de funcionamento de ambos os sistemas de expansão direta serem idênticos.

Assim, para modelar o sistema de climatização considerado, recorreu-se ao software cuja licença foi amavelmente cedida pelo Eng.º João Cardoso e pela ACet, o *Hourly Analysis Program* da Carrier [57], que, apesar de realizar uma modelação relativamente simples, permite a visualização das capacidades de arrefecimento e aquecimento do sistema modelado e comparar com os resultados obtidos no caso de estudo, no que toca ao sistema de expansão direta. Este software está subdividido em cinco grupos, cada um deles com a capacidade de serem introduzidos dados para modelação das cargas térmicas e das necessidades de climatização.

O primeiro separador (*Weather Design*) do *Hourly Analysis Program* permite a modelação dos dados meteorológicos do local escolhido para a habitação. Este separador foi preenchido com o auxílio da uma folha de cálculo “CLIMAS-SCE”, cedida pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia, no enquadramento do Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, que fornece as informações meteorológicas necessárias em função do município escolhido [7]. Além disso, é possível ainda definir os parâmetros referentes aos valores de radiação solar incidente, de modo a contabilizar os ganhos térmico pela radiação. Apesar de existir acesso aos dados meteorológicos para os meses de análise, para dimensionamento do sistema de climatização, optou-se por se definir como condições exteriores de projeto as condições impostas pelo software, para a localização escolhida [57]. Assim sendo, pode-se considerar, para as coordenadas geográficas apresentadas na Tabela 3.4, as seguintes condições de projeto (Tabela 3.5):

Tabela 3.4 - Coordenadas Geográficas da Habitação (fonte: [57])

Coordenadas Geográficas de Projeto	
Cidade	Lisboa
Latitude	38,9° N
Longitude	9,2° W
Altitude	122,8 m

Tabela 3.5 - Condições de Temperatura de Projeto para Lisboa (fonte: [57])

Condições de Projeto para Lisboa	
Temperatura de Bolbo Seco no Verão (°C)	33,3
Temperatura de Bolbo Húmido no Verão (°C)	22,2
Amplitude Térmica (K)	11,2
Temperatura de Bolbo Seco no Inverno (°C)	3,2
Temperatura de Bolbo Húmido no Inverno (°C)	2,5

O segundo separador (*Space Properties*) permite a definição do espaço a tratar, caracterizando todos os elementos necessários para o cálculo preciso das cargas térmicas do edifício. Como tal, é possível definir a área e o volume do edifício [13], e as necessidades de ar novo para a climatização do espaço. Estes parâmetros podem ser consultados na Figura 3.4:

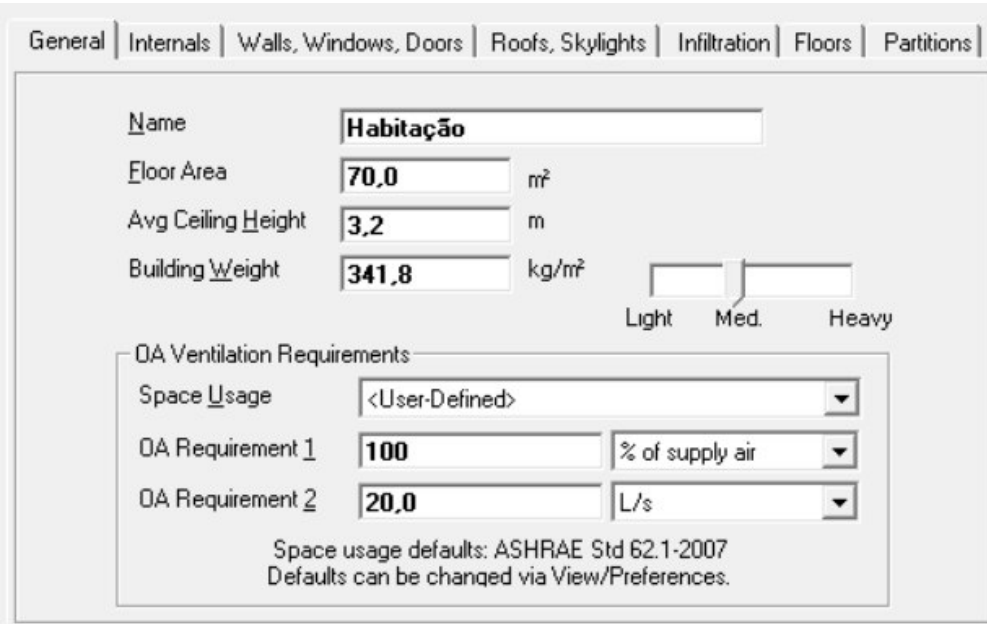


Figura 3.4 - Características Gerais da Habitação (fonte: [57])

Como não é possível determinar pela análise do caso de estudo quais as áreas de cada divisão que estão incluídas na habitação, foi considerado para questões de cálculo que não existem divisões e que toda a habitação é um espaço amplo.

Para as necessidades de ar novo, considerou-se que o principal parâmetro a cumprir seria que todo o ar insuflado pelo sistema de climatização teria de ser 100 % de ar novo. A segunda condição a cumprir pelo sistema é que tem de garantir 20 l/s em toda a habitação. Este valor é arbitrado a partir da condição imposta pelo Decreto-Lei nº 79/2006 RSECE [58], que estipula para edifícios residenciais um caudal de ar novo mínimo de 30 m³/h*ocupante. Tendo em conta que serão considerados, no máximo para esta habitação, apenas dois ocupantes, o caudal de ar novo mínimo, em litros por segundo, pode ser calculado a partir da seguinte equação (3.2):

$$\dot{Q}(L/s) = \frac{30 * 1000}{3600} * 2 = 16.667 \rightarrow 20 (l/s) \quad (3.2)$$

Para além das características gerais da habitação, é possível determinar as cargas térmicas correspondentes à utilização dos equipamentos utilizados, da iluminação e da ocupação habitacional, e definir os horários de utilização dos mesmos. Para o sistema de iluminação, tal como mencionado anteriormente, considerou-se uma densidade de iluminação de 7 W/m² para toda a habitação, e definiu-se os seguintes perfis de utilização:

- Durante todos os dias da semana e durante o fim de semana, das 00:00h até às 17:00h, o perfil de utilização dos sistemas de iluminação será igual a 0%. Das 17:00h até às 23:00h, será considerado um perfil de utilização de 90%.

Para os equipamentos domésticos, em conformidade com os valores de potência nominal dos mesmos, têm de ser definidos os fatores de utilização, de simultaneidade e de exaustão para cada um deles. Como não existe informação dos valores corretos, após alguma consulta [56], torna-se possível determinar os seguintes ganhos térmicos (Tabela 3.6):

Tabela 3.6 - Cargas Térmicas a Considerar (adaptado de [56])

Cargas Térmicas a Considerar		
Divisão	Equipamentos	Carga Térmica (W)
Cozinha	Frigorífico, micro-ondas, TV LED e Forno	197,0
Quarto 1	TV LED e Portátil	61,0
Quarto 2	TV LED e Portátil	61,0
Sala	TV LED	14,0
TOTAL		330,0

Tal como o sistema de iluminação, também os equipamentos domésticos dispõem de um perfil de utilização. Embora sejam considerados alguns equipamentos, este perfil foi estimado para o uso total de todos os equipamentos. Assim:

- Durante os dias uteis, das 07:00 até às 09:00, o fator de utilização dos equipamentos irá ser igual a 70%, pois é um período do dia em que as pessoas se preparam para sair de casa e, como tal, vários equipamentos estão em funcionamento nesta altura. A partir das 09:00 até às 17:00h, como se irá verificar de seguida que não existem pessoas em casa e que os equipamentos estão em standby, o perfil de utilização dos equipamentos irá rondar os 40%. A partir das 17:00h até às 23:00h, quando existe atividade no interior da habitação, este perfil volta a subir para os 70%, e finalmente, das 23:00h até às 07:00 o perfil de utilização volta a ser igual a 40%;
- Durante o fim de semana, os perfis alteram significativamente. Os perfis noturnos continuam a ser iguais aos registados durante a semana (40%), mas os perfis diurnos serão diferentes, registando cerca de 60% desde as 09:00h até às 17:00h;

Por fim, é necessário definir a carga térmica relacionada com a ocupação registada no espaço a tratar. Esta depende da taxa metabólica que cada ocupante e do seu tempo de permanência. Esta pode ser consultada na Tabela 3.7:

Tabela 3.7 - Carga Térmica Total, sensível e latente da atividade metabólica do ser humano (adaptado de [56])

Atividade	Carga Térmica Total [W]	Carga Térmica Sensível [W]	Carga Térmica Latente [W]
Sentado em Repouso	95,0	65,0	30,0
Sentado, trabalho de escritório leve	115,0	70,0	45,0
Parado ou a caminhar lentamente	130,0	75,0	55,0
Trabalho físico leve	220,0	80,0	140,0
Trabalho físico pesado	425,0	170,0	255,0

Para o caso de estudo a tratar, estimou-se que os ocupantes da moradia experienciam na maioria do tempo uma atividade sedentária, ou seja, de acordo com a Tabela 3.7, um trabalho físico leve.

Para finalizar a caracterização das cargas internas devido à ocupação, à semelhança do que foi realizado para o sistema de iluminação e para os equipamentos domésticos, é necessário definir os perfis de ocupação. Tendo em conta que, como existem dois quartos, se estabeleceu que a habitação alberga duas pessoas, os índices de ocupação foram definidos da seguinte forma:

- Durante os dias uteis, das 17:00h até às 09:00h, o perfil de ocupação será igual a 100%, o que indica que até a esta hora, ambas as pessoas se encontram no interior da habitação. A partir desta hora e até às 17:00h o índice de ocupação será igual a 0%, o que indica que a moradia se encontra vazia;
- Durante o fim de semana, durante todo o dia, o índice de ocupação será de 100%;

Com as cargas internas definidas, é necessário introduzir as características arquitetónicas referidas anteriormente neste capítulo para serem contabilizadas as trocas térmicas com o exterior. Para definir a quantidade de calor perdida por cada parede, tem de se recorrer à equação de transferência de calor em regime estacionário, conforme descrita em (3.3) [59]:

$$q = U * A * \Delta T \quad (3.3)$$

Onde:

- q – Quantidade de Calor transferido [W];
- U – Coeficiente Global de Transmissão de Calor [W/m²*K];
- A – Área de Secção [m²];
- ΔT – Diferencial de Temperatura entre o Interior e o Exterior [K];

Esta equação apenas tem em conta com os efeitos das perdas de calor por condução e/ou convecção, não sendo considerados ganhos térmicos derivados da radiação incidente. Para calcular o coeficiente global de transmissão de calor da envolvente U , é necessário ter em conta a condutibilidade térmica dos constituintes da parede (λ_i) e a sua espessura (e_i), para ser possível calcular a resistência térmica do material (R_i), a partir da equação (3.4):

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} [(m^2 * K)/W] \quad (3.4)$$

Onde

- R_i – Resistência Térmica do Material [m²*K/W];
- e_i – Espessura do material [m];
- λ_i – Condutibilidade Térmica do material [W/m*K];

Assim, é possível calcular o coeficiente global de transmissão de calor da envolvente opaca como o inverso do somatório das resistências térmicas dos materiais que a compõem, de acordo com a eq (3.5):

$$U = \frac{1}{\sum R_i} [W/(m^2 * K)] \quad (3.5)$$

Tendo em conta as propriedades arquitetónicas definidas na Tabela 3.2, obtém-se o coeficiente de transmissão de calor em cada parede, tendo em conta que os vãos envidraçados ocupam 22% da parede correspondente (ver Tabela 3.2) a partir da equação (3.6):

$$U_{total} = 0,78 * U_{parede} + 0,22 * U_{janela} \quad (3.6)$$

Tendo em conta que a parede virada a Sul é a que contém a janela com o coeficiente de transmissão de calor mais baixo e que todas as outras paredes dispõem de janelas iguais, os coeficientes de transmissão de calor das paredes, cobertura e pavimento são os descritos na Tabela 3.8:

Tabela 3.8 - Coeficientes de Transmissão de Calor dos Elementos Construtivos

Material	e [m]	λ [W/(m*K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg*K]	R [m ² *K/W]
Parede Exterior					
Reboco Interior	0,01	0,91	1200	1960	0,01
Parede de Alvenaria	0,022	0,353	1600	1100	0,06
Lã de Rocha	0,05	0,038	55	2100	1,31
OSB	0,095	0,13	500	1600	0,73
Lã de Rocha	0,14	0,038	55	2100	3,5
Reboco Exterior	0,02	0,90	1000	1800	0,02
U parede [W/m²*K]	0,17				
U janela a Sul [W/m²*K]	0,85				
U janela normal [W/m²*K]	1,1				
U parede a Sul [W/m²*K]	0,33				
U restantes paredes [W/m²*K]	0,38				
Parede Interior					
Reboco Interior	0,01	0,91	1200	1960	0,01
Parede de Alvenaria	0,022	0,353	1600	1100	0,06
Caixa de Ar	0,05	R = 0,11 [(m ² *K)/W]			0,11
OSB	0,095	0,13	500	1600	0,73
Caixa de Ar	0,05	R = 0,11 [(m ² *K)/W]			0,11
Parede de Alvenaria	0,022	0,353	1600	1100	0,06

Reboco Interior	0,01	0,91	1200	1960	0,01
U geral [W/m²*K]	0,91				
Cobertura					
Membrana Betuminosa	0,008	0,13	800	2100	0,06
Auto-nivelante	0,06	0,129	380	1000	0,47
Camada Isolante	0,10	0,041	2100	1475	2,44
Barreira de Vapor	0,0001	0,400	427	1800	0,00025
OSB	0,12	0,130	500	1800	0,92
Reboco Interior	0,01	0,91	1200	1960	0,01
Caixa de Ar	0,19	R = 0,17 [(m ² *K)/W]			0,17
Pladur	0,01	0,072	480	1380	0,14
U geral [W/m²*K]	0,24				
Pavimento					
Parquet	0,02	0,10	450	1700	0,20
Auto-nivelante	0,05	0,12	400	1000	0,42
XPS	0,08	0,035	30	920	2,29
Tela de Cimento	0,05	1,6	2400	1000	0,03
Caixa de Ar	0,55	R = 0,46 [(m ² *K)/W]			0,46
Plataforma de Cimento	0,30	1,91	2400	1000	0,16
Betão	0,30	1,4	2000	1000	0,21
U geral [W/m²*K]	0,27				

Também neste separador, é possível definir as infiltrações com o exterior e as perdas térmicas entre as várias divisões da habitação, mas como se considerou que a moradia seria um espaço amplo sem divisões, não é necessário considerar as perdas térmicas entre as variadas divisões da residência.

Com os espaços definidos, o próximo passo a realizar é a definição do sistema de climatização. Com efeito, estes parâmetros são definidos no separador *Air Systems Properties*, onde é definido o tipo de sistema a utilizar, quais os espaços a tratar e horários de funcionamento para o mesmo. Para o caso em estudo, optou-se pelo uso de um sistema de climatização de expansão direta do tipo VRF, que irá climatizar toda a habitação, que entrará em funcionamento sempre que se registar ocupação no interior da habitação. Mais ainda, este separador permite definir o termostato do sistema, indicado quais as gamas de temperatura em que é requerido aquecimento ou arrefecimento. Considerando uma temperatura média de 20°C no interior da habitação, o termostato ficou definido da seguinte forma:

- Em regime de arrefecimento, deve-se considerar uma temperatura de 21°C quando se regista ocupação na habitação e 23°C quando o inverso se regista;
- Em regime de aquecimento; quando se regista ocupação no interior do edifício, o termostato ficou definido para 20°C, e para situações sem ocupação, fica definido para 18°C;

Pode-se ainda definir neste separador os fatores de segurança para as capacidades de arrefecimento e de aquecimento do equipamento, tendo sido definido um fator de segurança de 5% para o arrefecimento sensível e latente e cerca de 10% para o aquecimento.

Finda a simulação do sistema de climatização, é possível comparar os resultados obtidos com os dados fornecidos pelo artigo científico que serve de base para o caso de estudo [13] (Tabela 3.9):

Tabela 3.9 - Dados de Climatização do Sistema

Dados de Climatização		
Parâmetro	Calculado	Referência
Capacidade de Arrefecimento (kW)	9,9	9,6
Capacidade de Aquecimento (kW)	6,8	8,0

Como é possível verificar, existe uma discrepância entre os valores calculados e os valores de referência do artigo em questão. Tal se deve ao facto de se estar a simular o sistema de climatização para dois locais geográficos completamente distintos, onde as condições de projeto são totalmente diferentes, apesar de ambas as cidades serem consideradas como áreas metropolitanas com clima predominantemente mediterrâneo. Mais ainda, as cargas internas consideradas para esta simulação não espelham a realidade verificada em [13], o que pode ser mais um fator que justifique a diferença entre as potências de climatização. O relatório detalhado do sistema de climatização calculado para o ano inteiro pode ser consultado no Apêndice 1.

Tal como mencionado, apenas dois meses é que serão alvo de estudo mais detalhado. Assim, recorrendo ao software da Carrier [57], procedeu-se a uma simulação horária dos meses referidos, para determinar as necessidades de climatização de modo a, posteriormente, estes dados serem contabilizados para o algoritmo de gestão de energia. No entanto, de forma a poder contabilizar o seu consumo no algoritmo de decisão, é necessário saber o seu consumo elétrico. Estes valores podem ser obtidos através do Coeficiente de Desempenho (COP) e pela Relação de Eficiência Energética (EER), que determinam o rendimento energético dos equipamentos de climatização quando estão em funcionamento em regime de aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Estes podem ser quantificados como a relação entre a energia térmica fornecida e a energia elétrica absorvida para fornecer essa energia térmica [56]. Assim, o COP pode ser definido pela seguinte equação (3.7):

$$COP = \frac{\text{Potência Térmica de Aquecimento}}{\text{Energia Elétrica Absorvida}} \quad (3.7)$$

Da mesma forma, o EER é definido da mesma forma (3.8):

$$EER = \frac{\text{Potência Térmica de Arrefecimento}}{\text{Energia Elétrica Absorvida}} \quad (3.8)$$

Para determinar a energia absorvida do sistema, como já foram determinadas as necessidades térmicas do sistema para regimes de arrefecimento e de aquecimento, o COP e o EER do sistema são obtidos a partir dos mínimos regulamentados pelo Manual SCE [60], que ditam quais as eficiências mínimas para o sistema de expansão direta em questão. Esta escolha está fundamentada pelo facto de o edifício em estudo ser do tipo nZEB, logo só faz sentido o uso de sistemas altamente eficientes, que estejam de acordo com legislação em vigor. Assim, segundo a **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, tem-se que:

Tabela 3.10 - Eficiência de Referência dos sistemas em Edifícios de Habitação (adaptado de: [60])

Uso Regulado	Sistema no Edifício Previsto	Eficiência a Considerar no Edifício de Referência
Aquecimento	<i>Split, multispli e VRF com permuta exterior a ar</i>	3,40
Arrefecimento	<i>Split, multispli e VRF com permuta exterior a ar</i>	3,00

Ao analisar a **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, verifica-se os seguintes indicadores de desempenho para o sistema de climatização considerado:

- COP de referência = 3,40;
- EER de referência = 3,00;

Assim, com base nas capacidades térmicas do sistema de expansão direta calculado anteriormente e com base nas equações (3.7) e (3.8), obtêm-se as potências nominais para o sistema VRF, para regime de aquecimento P_{heat} e arrefecimento, P_{cool} (3.9, 3.10):

$$P_{heat} = \frac{\text{Capacidade de Aquecimento}}{COP} = \frac{6,8}{3,4} = 2,0 [kWe] \quad (3.9)$$

$$P_{cool} = \frac{\text{Capacidade de Arrefecimento}}{EER} = \frac{9,9}{3,0} = 3,3 \text{ [kWe]} \quad (3.10)$$

Para melhor visualização do seu consumo térmico e elétrico, a Figura 3.5 e Figura 3.6 representam, respetivamente, para os regimes de aquecimento e arrefecimento, os parâmetros referidos:

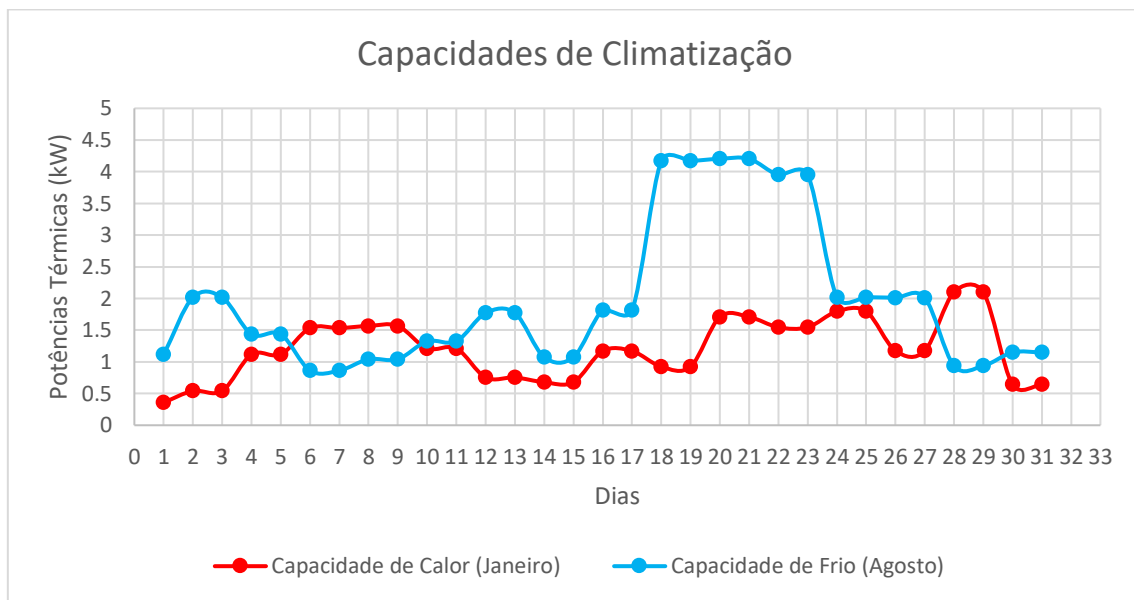


Figura 3.5 – Necessidades Térmicas de Climatização da Habitação

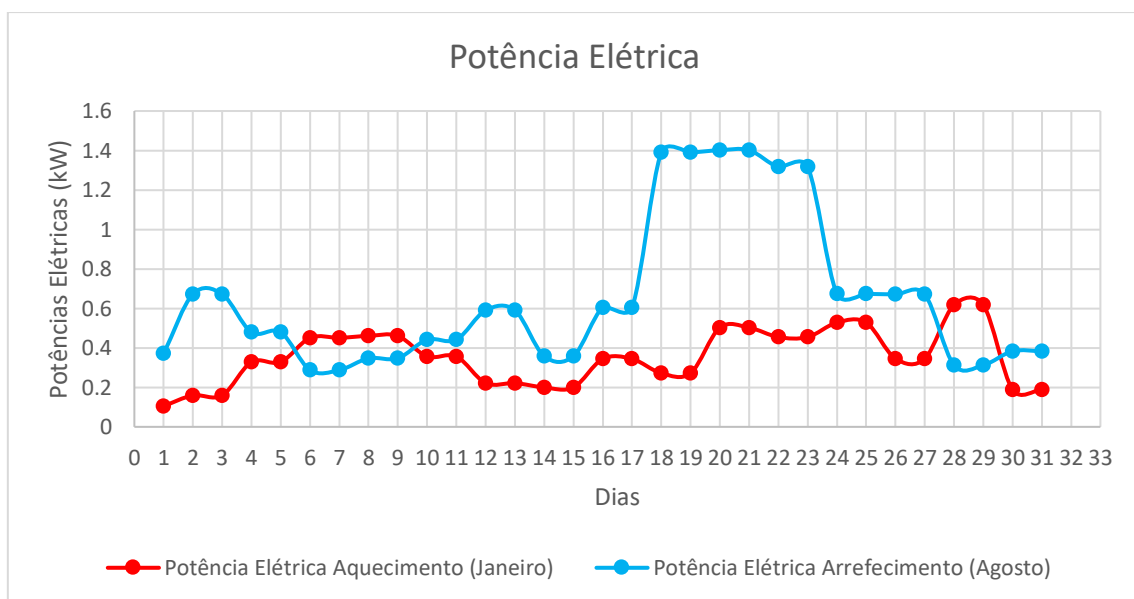


Figura 3.6 – Consumo Elétrico associado ao Sistema de Climatização

Pode-se ainda calcular os valores horários de consumo elétrico do sistema de climatização, à semelhança do que foi realizado para as necessidades térmicas do mesmo. Estes cálculos são realizados através do comando *Simulation Reports*, onde é possível simular qual a carga térmica a ceder ao espaço pelo sistema de climatização, para manter as condições térmicas desejadas.

3.7. Sistema de Renováveis

A habitação está equipada com diferentes sistemas de renováveis, responsáveis para a colmatação das necessidades energéticas. Como falado anteriormente, existe um sistema de coletores solares responsável pelo aquecimento de águas sanitárias que, tal como mencionado, não será tratado nesta dissertação por questões de simplificação [13]. No entanto, existe ainda disponível um sistema de fotovoltaicos instalado na cobertura do edifício. Este é composto por 16 painéis fotovoltaicos de silício monocristalino com uma área total de 1,63 m² cada e com uma potência de pico de 330 Wp cada, tendo sido considerada uma eficiência constante de 20,3% para cada painel. Os painéis estão orientados a sul (ângulo do azimute = 0°) e têm uma inclinação de 5 graus em relação ao horizonte, de modo a obter o máximo de radiação solar possível em função do sombreamento mínimo [13]. Estes painéis estão organizados em três fileiras, duas delas contendo seis painéis e a última contendo apenas quatro painéis.

Adicionalmente, foi ainda dimensionada uma bateria de iões de lítio para armazenamento de energia, mas que, para efeitos de cálculo, não será considerada nos cálculos realizados para esta dissertação [13].

A partir da consulta dos dados fornecidos em [1] e das informações obtidas [13], é possível calcular a energia gerada nos painéis fotovoltaicos, E_{PV} , a partir de (3.11):

$$E_{PV} = H * N_{PV} * A_{PV} * \eta_{PV} [W] \quad (3.11)$$

Onde:

- E_{PV} – Eletricidade Gerada Pelos Painéis Fotovoltaicos [W];
- H – Radiação Incidente com uma Orientação de 5 graus [W/m²];

- N_{PV} – Número de Painéis Fotovoltaicos Considerados;
- A_{PV} – Área de Cada Pannel Fotovoltaico [m^2];
- η_{PV} – Eficiência de Cada Pannel Fotovoltaico;

Esta foi calculada a partir dos dados retirados de [61], de onde foram analisados dados referentes à radiação incidente em função do ângulo de inclinação dos fotovoltaicos, para os meses de janeiro e agosto, para cada hora dos meses considerados.

3.8. Veículo Elétrico

Para realizar o caso de estudo conforme os objetivos estabelecidos, é necessário definir a variável mais importante para o correto funcionamento da ferramenta de gestão de energia: o veículo elétrico. O veículo usado para o estudo trata-se de um Nissan Leaf, cuja capacidade máxima de bateria se situa nos 20,1 kWh [62].

De modo que o veículo seja uma peça crucial no desenvolvimento da ferramenta de gestão de energia, é necessário definir os perfis de deslocamento do mesmo, que indicam a variabilidade da capacidade da bateria conforme a sua utilização, e assim a sua viabilidade no uso para os objetivos definidos para esta dissertação. Nestes perfis [62], [63], é possível analisar a quantidade máxima de energia que o veículo recebe quando está a carregar, correspondendo a 2,2 kWh. Este valor pode ser utilizado para dimensionar o circuito elétrico a ser alimentado pelo quadro elétrico da habitação, para posteriormente pode ser feita uma análise de custos, no que toca a tarifas energéticas e consumos energéticos. De facto, os perfis de deslocamento indicam apenas a energia armazenada na bateria do veículo elétrico, mas para analisar os contributos do uso da mobilidade elétrica a gestão de energia na residência, é necessário considerar o Estado de Carga da Bateria. Esta define a percentagem de energia armazenada na bateria do veículo que ainda pode ser utilizada. Este parâmetro é relevante ter em consideração, pois será necessário parametrizar, para efeitos de algoritmo, qual o mínimo de carga que a bateria terá de armazenar para poder ser útil na ferramenta de gestão de energia.

3.9. Instalação Elétrica

Com efeito, de modo a implementar a ferramenta de gestão de energia na habitação, é necessário saber qual o consumo energético da mesma. Primeiramente, realizaram-se os cálculos para o dimensionamento da instalação elétrica, para um cenário base, sem considerar o veículo elétrico, e com um cenário onde este mesmo veículo já será considerado para o dimensionamento da instalação elétrica.

Assim, e a partir das informações das potências elétricas descritas na Tabela 3.3, é possível dimensionar o circuito de tomadas equivalente que irá alimentar esse eletrodoméstico. Pegando no exemplo do forno da cozinha, sabendo que a potência do mesmo é igual a 600 W, que a alimentação elétrica do mesmo é do tipo monofásica e que o fator de potência considerado é igual a 0,8, a corrente de serviço associada ao equipamento obtém-se pela eq (3.12) [64]:

$$I_i = \frac{P}{U_s * \cos(\varphi)} = \frac{600}{230 * 0,8} = 3,06 [A] \quad (3.12)$$

Onde:

- I_i – Corrente de Serviço [A];
- P – Potência Elétrica do Equipamento [W];
- U_s – Tensão de Alimentação simples correspondente a Circuitos Monofásicos (230V);
- $\cos(\varphi)$ - Fator de Potência do Equipamento;

Para circuitos trifásicos, a equação é resolvida de forma diferente (3.13) [64]:

$$I_i = \frac{P}{\sqrt{3} * U_c * \cos(\varphi)} [A] \quad (3.13)$$

Onde:

- U_c – Tensão de Alimentação Composta correspondente a Circuitos Trifásicos (400V)

A partir da corrente de serviço calculada, determina-se qual a tomada elétrica a considerar para alimentar o equipamento, que no caso do forno, será uma tomada de 20 A. Este procedimento

pode ser repetido para todos os eletrodomésticos e para os sistemas de climatização presentes na habitação. No entanto, para o sistema de iluminação, a determinação da corrente de serviço segue a equação (3.14) [64]:

$$I_i = \frac{k * N_a * N_{la} * P_l}{U_s * \cos(\varphi)} [A] \quad (3.14)$$

Onde:

- I_i – Corrente de Serviço da Lâmpada [A];
- k – Coeficiente relacionado com a potência consumida pelos equipamentos auxiliares (para lâmpadas LED, $k=1$);
- N_a – Número de aparelhos de iluminação alimentados pelo circuito;
- N_{la} – Número de lâmpadas por aparelho de iluminação;
- P_l – Potência Elétrica de cada lâmpada [W];
- $\cos(\varphi)$ – fator de potência da lâmpada (para lâmpadas LED este valor é igual a 0,95);

Com as correntes de serviço calculadas, é necessário definir as correntes de utilização. Estas são calculadas a partir da eq (3.15) [64]:

$$I_u = k_u * k_s * I_i [A] \quad (3.15)$$

Onde:

- I_u – Corrente de Utilização do Circuito [A];
- k_u – Fator de utilização – relação entre a potência efetivamente absorvida por um dado aparelho de utilização e a sua potência estipulada [64] (ver Figura 3.7);
- k_s – Fator de simultaneidade – relação entre o somatório das potências estipuladas dos aparelhos de utilização suscetíveis de funcionarem simultaneamente e o somatório das

potências estipuladas de todos os aparelhos de utilização alimentados pelo mesmo circuito [64] (ver Figura 3.8);

- I_i – Corrente de serviço do Circuito [A];

Tipo de utilização / Tipo de receptores	Coefficiente de utilização
Iluminação	1
Aquecimento	1
Tomadas (a)	variável consoante a utilização
Motores	0,3 a 0,75
Outros tipos de utilização / receptores	1

Figura 3.7 - Coeficientes de Utilização dos Circuitos Eléctricos (fonte: [64])

Tipo de utilização	Coefficiente de simultaneidade
Iluminação	1
Ar condicionado	1
Aquecimento eléctrico (a)	1
Tomadas (b)	$0,1 + 0,9 / N$
Aparelhos de cozinha	0,7
Ascensores e monta-cargas (c)	
Motor mais potente	1
Motor seguinte	0,75
Restantes motores	0,6

Figura 3.8 - Coeficientes de Simultaneidade para Circuitos Eléctricos, segundo a norma NF C 15 100 (fonte: [64])

Com as correntes de serviço e de utilização calculadas, o próximo passo será o balanceamento das cargas no quadro eléctrico. Este procedimento é empírico, podendo depender da análise individual de cada pessoa a realizar este procedimento.

De seguida, é necessário calcular a potência ativa, reativa e aparente de cada circuito eléctrico. Estes parâmetros podem ser calculados a partir das equações (3.16, 3.17, 3.18) , considerando circuitos monofásicos [64]:

$$P_u = U_s * I_u * \cos(\varphi) [W] \quad (1)$$

$$Q_u = U_s * I_u * \text{sen}(\varphi) [var] \quad (3.17)$$

$$S_u = U_s * I_u \text{ [VA]} \quad (3.18)$$

O mesmo se aplica a circuitos trifásicos, de acordo com as equações (3.19, 3.20, 3.21) [64]:

$$P_u = \sqrt{3} * U_c * I_u * \cos(\varphi) \text{ [W]} \quad (3.19)$$

$$Q_u = \sqrt{3} * U_c * I_u * \text{sen}(\varphi) \text{ [var]} \quad (3.20)$$

$$S_u = \sqrt{3} * U_c * I_u \text{ [VA]} \quad (3.21)$$

Onde:

- P_u – Potência Ativa de Utilização do Circuito [W];
- Q_u – Potência Reativa de Utilização do Circuito [var];
- S_u – Potência Aparente de Utilização do Circuito [VA];
- I_u – Corrente de Utilização de Alimentação do Circuito [A];
- $\cos(\varphi)$ - Fator de Potência do Circuito;
- $\text{sen}(\varphi)$ - Seno do Ângulo de Desfasagem do Circuito
- U_s – Tensão de Alimentação Simples para Circuitos Monofásicos (230V);
- U_c – Tensão de Alimentação Composta para Circuitos Trifásicos (400V);

Para o cálculo das características elétricas do quadro elétrico, o procedimento é semelhante, procedendo-se de acordo com as equações (3.22, 3.23, 3.24) [64]:

$$P_{uQE} = k_a * k_s * \sum_{j=1}^n P_{uj} \text{ [W]} \quad (3.22)$$

$$Q_{uQE} = k_a * k_s * \sum_{j=1}^n Q_{uj} \text{ [var]} \quad (3.23)$$

$$S_{uQE} = \sqrt{(P_{uQE})^2 + (Q_{uQE})^2} \text{ [VA]} \quad (3.24)$$

Onde:

- P_{uQE} – Potência Ativa do Quadro Elétrico [W];
- Q_{uQE} – Potência Reativa do Quadro Elétrico [var];
- S_{uQE} – Potência Aparente do Quadro Elétrico [VA];
- k_a – Coeficiente de ampliação ou evolução de cargas – caracteriza a margem de ampliação da potência instalada [2];
- k_s – Coeficiente de simultaneidade do quadro elétrico (ver Figura 3.9);
- P_{uj} – Somatório das Potências Ativas de cada circuito a ser alimentado pelo quadro elétrico [W];
- Q_{uj} – Somatório das Potências Reativas de cada circuito a ser alimentado pelo quadro elétrico [var];

Número de circuitos	Coeficiente de simultaneidade
2 a 3	0,9
4 a 5	0,8
6 a 9	0,7
10 e mais	0,6

Figura 3.9 - Coeficiente de Simultaneidade para Quadros Elétricos (fonte: [64])

Mais ainda, é possível calcular o fator de potência do quadro elétrico e a tangente do ângulo de defasagem do mesmo a partir das equações (3.25, 3.26) [64]:

$$tg(\varphi)_{uQE} = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{uj}}{\sum_{j=1}^n P_{uj}} \quad (3.25)$$

$$\cos(\varphi)_{uQE} = \cos(tg^{-1}(\varphi)) \quad (3.26)$$

Onde:

- $tg(\varphi)_{uQE}$ - Tangente do Ângulo de Desfasagem do Quadro Elétrico;
- $\cos(\varphi)_{uQE}$ - Fator de potência do Quadro Elétrico;
- P_{uj} – Somatório das Potências Ativas de cada circuito a ser alimentado pelo quadro elétrico [W];
- Q_{uj} – Somatório das Potências Reativas de cada circuito a ser alimentado pelo quadro elétrico [var];

Finalmente, é possível calcular a corrente de alimentação do quadro elétrico, segundo a expressão (3.27) [64]:

$$I_{uQE} = k_a * k_s * \sum_{j=1}^n I_{uj} \text{pior fase} [A] \quad (3.27)$$

Onde:

- I_{uQE} – Corrente de Alimentação do Quadro Elétrico [A];
- k_a – Coeficiente de amplificação ou de evolução de cargas;
- k_s – Coeficiente de Simultaneidade do Quadro Elétrico (ver Figura 3.9);
- $I_{uj} \text{pior fase}$ – Corrente de Utilização do circuito de alimentação do quadro elétrico com a fase mais carregada [A];

Este procedimento é aplicável para a instalação elétrica da habitação, quer seja considerado o veículo elétrico ou não. No entanto, se for considerada a mobilidade elétrica na habitação, terá de ser feito um cálculo adicional, referente ao fator de simultaneidade do circuito elétrico que alimenta a bateria do veículo. Este pode ser calculado a partir da equação (3.28) [65]:

$$k_s = 0,2 + \frac{0,8}{n} \quad (3.28)$$

Onde:

- k_s – Fator de Simultaneidade
- n – Número de Veículos Elétricos Disponíveis para Carregamento

A realização de todos os cálculos mencionados resulta nas seguintes informações técnicas acerca do quadro elétrico que alimenta a habitação, considerando a alimentação que serve para carregar o veículo elétrico (Tabela 3.11):

Tabela 3.11 - Características do Quadro de Alimentação Elétrica da Habitação

P_{uQE} (W)	15099,83
Q_{uQE} (var)	6515,21
S_{uQE} (VA)	16445,45
I_{uQE} (A)	26,98
$tg(\varphi)_{uQE}$	0,431
$cos(\varphi)_{uQE}$	0,918

Com estas informações, foram então organizadas quatro tabelas de consumos elétricos. A primeira tabela é referente ao consumo energético de todos os equipamentos domésticos, resultado da conjugação da utilização de cada eletrodoméstico com a sua potência nominal. A segunda tabela é referente apenas ao consumo energético do sistema de iluminação, de acordo com o perfil de utilização definido no capítulo 3.6. A terceira tabela é referente ao consumo energético do sistema de climatização, conforme os cálculos realizados no capítulo 3.6. Por fim, a quarta e última tabela é referente à soma de todos os consumos considerados na habitação, excluindo-se apenas desta equação a utilização do veículo elétrico. A título de exemplo, a Tabela 3.12 representa, em cada coluna, cada uma das tabelas acima mencionadas, para o dia 1 de janeiro: a primeira coluna de consumo energético é referente ao consumo dos equipamentos domésticos, a segunda representa o consumo associado ao sistema de iluminação, a terceira representa o consumo elétrico do sistema de climatização (neste caso, representa a potência elétrica associada

à atividade de aquecimento). Por fim, a última coluna representa o somatório de todos os consumos mencionados:

Tabela 3.12 - Consumos Elétricos da Habitação no dia 1 de Janeiro

Hora	Consumo Elétrico dos Equipamentos Domésticos (kW)	Consumo Elétrico do Sistema de Iluminação (W)	Consumo Elétrico do Sistema de AVAC (kW)	Total (W)
00:00	0.219	0.000	0.529	0.749
01:00	0.219	0.000	0.000	0.219
02:00	0.219	0.000	0.529	0.749
03:00	0.219	0.000	0.000	0.219
04:00	0.219	0.000	0.000	0.219
05:00	0.219	0.000	0.000	0.219
06:00	0.219	0.000	0.000	0.219
07:00	0.450	0.000	0.529	0.979
08:00	0.450	0.000	0.000	0.450
09:00	0.219	0.000	0.000	0.219
10:00	0.219	0.000	0.000	0.219
11:00	0.219	0.000	0.000	0.219
12:00	0.219	0.000	0.000	0.219
13:00	0.219	0.000	0.000	0.219
14:00	0.219	0.000	0.000	0.219
15:00	0.219	0.000	0.000	0.219
16:00	0.224	0.000	0.000	0.224
17:00	0.224	0.000	0.147	0.371
18:00	1.236	0.351	0.000	1.271
19:00	1.888	0.351	0.265	2.187
20:00	3.206	0.351	0.265	3.506
21:00	2.046	0.351	0.265	2.346
22:00	1.308	0.351	0.000	1.343
23:00	0.897	0.351	0.000	0.932
Total (kWh)	14.999	2.106	2.529	17.739

Página deixada propositadamente em branco

4. Metodologia de Cálculo

4.1. Tarifa Energética

Apesar da habitação do caso de estudo ser um edifício de necessidades quase nulas, existe sempre a necessidade de recorrer à rede de distribuição de energia elétrica para colmatar as necessidades de energia. A estas necessidades de energia estão associadas tarifas de energia, que contabilizam o preço do uso da mesma. Estas são aplicáveis a qualquer tipo de instalação, existindo tarifas que são mais indicadas para habitações de pequenas dimensões até grandes complexos industriais.

Esta tarifa depende do tipo de distribuidor escolhido para realizar o fornecimento de energia, ou seja, se este fornece energia de acordo com as leis estabelecidas para o mercado livre, onde os preços de eletricidade são estabelecidos pelos comercializadores, respeitando as regras da concorrência e o Regulamento das Relações Comerciais [66]; ou se a energia é contabilizada de acordo com as leis estabelecidas para o mercado regulado, atualmente definidos pela Entidade Reguladora de Serviços Energéticos (ERSE) [67]. Para qualquer um dos mercados disponíveis, a tarifa energética total resulta da soma dos preços das tarifas aplicadas [67]:

- Tarifa do Uso Global do Sistema;
- Tarifa do Uso da Rede de Transporte;
- Tarifa do Uso da Rede de Distribuição;

Além disso, existem vários escalões de tensão contabilizados para a tarifa energética a aplicar, dependendo da energia aplicável, cada uma com várias parcelas de tarifa correspondentes:

- Baixa Tensão (BT) – tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1 kV, onde se destaca [67]:
 - a. Baixa Tensão Normal (BTN), cuja potência contratada é igual ou inferior a 41,4 kVA;
 - b. Baixa Tensão Especial (BTE), cuja potência contratada é superior a 41,4 kVA;
- Média Tensão (MT), cuja tensão entre fases é superior a 1 kV e inferior a 45 kV;
- Alta Tensão (AT), cuja tensão entre fases é superior a 45 kV e inferior a 110 kV;

- Muito Alta Tensão (MAT), cuja tensão entre fases é superior a 110 kV;

Para clientes em regime BTN, a tarifa aplicável tem consideração os preços relativos a [67]:

- Potência Contratada (€/kVA);
- Potência Ativa por período de tarifário (€/kWh);

Para clientes em regime BTE, MT, AT ou MAT, a tarifa aplicável é composta por [67]:

- Contratação, leitura, faturação e cobrança (termo tarifário fixo em €/mês);
- Potência Contratada (€/kVA*mês);
- Energia Ativa por período tarifário (€/kWh);
- Energia Reativa Fornecida e Consumida (€/kVAr)

Para o cálculo dos valores a faturar é importante diferenciar os tipos de faturação existente. No caso da habitação em estudo (Tabela 3.11), a partir da potência aparente do quadro elétrico dimensionado, é possível estimar para questões de cálculo que a moradia se encontra inserida no escalão de tensão de Baixa Tensão Normal (BTN) e que, para ambos os casos de estudo, em que está ou não integrado o veículo elétrico como carga consumidora de energia, que a moradia se encontra ao abrigo do escalão de baixa tensão normal, com potência contratada inferior a 20,7 kVA. Para este escalão de tensão estão disponíveis variadas modalidades tarifárias, onde se enquadram os respetivos períodos horários [67]:

- Tarifa Simples, com apenas um período horário, aplicável para todas as horas de todos os dias da semana;
- Tarifa Bi-Horária, que contabiliza dois períodos horários: as horas de vazio, onde se registam as tarifas mais baixas, e as horas fora de vazio, onde são verificados os custos mais elevados para o consumo de energia;
- Tarifa Tri-Horária, que contabiliza três períodos horários: as horas de ponta, as horas de cheia e as horas de vazio, onde são contabilizados os preços mais elevados, os intermédios e os mais reduzidos no que toca ao consumo de energia, respetivamente.

Mais ainda, para a correta contabilização do montante a pagar pelo consumo de energia, ainda são contabilizados os períodos trimestrais. Estes caracterizam-se por alterarem os períodos horários de diferentes tarifas, de acordo com as necessidades nacionais de energia e do esforço da

rede de distribuição de energia para cumprir essas necessidades nas variadas alturas do ano. Os períodos trimestrais aplicáveis são os que se apresentam [67]:

- Período I – de 1 de janeiro a 31 de março;
- Período II – de 1 de abril a 30 de junho;
- Período III – de 1 de julho a 30 de setembro;
- Período IV – de 1 de outubro a 31 de dezembro;

Para cada período trimestral, estão contabilizados os seguintes períodos horários (Tabela 4.1) [68]:

Tabela 4.1 - Períodos Horários Aplicáveis em Portugal (adaptado de [68])

Períodos Trimestrais:	Tarifa Aplicável	Período Horário	Faixa Temporal		
			Dias Úteis	Sábado	Domingo
Período I e IV	Tarifa Simples	Horas Ativas	00:00 – 23:59	00:00 – 23:59	00:00 – 23:59
	Tarifa Bi-Horária	Horas de Vazio	00:00 – 07:00	00:00 – 09:30 13:00 – 18:30 22:00 – 23:59	00:00 – 23:59
		Horas Fora de Vazio	07:00 – 23:59	09:30 – 13:00 18:30 – 22:00	-
	Tarifa Tri-Horária	Horas de Ponta	09:30 – 12:00 18:30 – 21:00	-	-
		Horas de Cheia	07:00 – 09:30 12:00 – 18:30 21:00 – 23:59	09:30 - 13:00 18:30 – 22:00	-
		Horas de Vazio	00:00 – 07:00	00:00 – 09:30 13:00 – 18:30 22:00 – 23:59	-
	Períodos II e III	Tarifa Simples	Horas Ativas	00:00 – 23:59	00:00 – 23:59
Tarifa Bi-Horária		Horas de Vazio	00:00 – 07:00	00:00 – 09:00 14:00 – 20:00 22:00 – 23:59	00:00 – 23:59
		Horas Fora de Vazio	07:00 – 23:59	09:00 – 14:00 20:00 – 22:00	-
Tarifa Tri-Horária		Horas de Ponta	09:15 – 12:15	-	-
		Horas de Cheia	07:00 – 09:15 12:15 – 23:59	09:00 - 14:00 20:00 – 22:00	-
		Horas de Vazio	00:00 – 07:00	00:00 – 09:00 14:00 – 20:00	00:00 – 23:59

Assim sendo, pode ser aplicado, para o caso de estudo em questão, os seguintes preçários no consumo de energia (Figura 4.1) [8]:

TARIFA DE ACESSO ÀS REDES EM BTN (≤20,7 kVA)			PREÇOS	
Potência contratada			(EUR/mês)	(EUR/dia) *
Tarifa simples, bi-horária e tri-horária		1,15	1,50	0,0493
		2,3	3,01	0,0986
		3,45	4,51	0,1480
		4,6	6,02	0,1973
		5,75	7,52	0,2466
		6,9	9,03	0,2959
		10,35	13,54	0,4439
		13,8	18,05	0,5918
		17,25	22,56	0,7398
	20,7	27,08	0,8877	
Energia ativa			(EUR/kWh)	
Tarifa simples			0,0728	
Tarifa bi-horária	Horas de fora de vazío		0,0999	
	Horas de vazío		0,0314	
Tarifa tri-horária	Hora ponta		0,1851	
	Horas cheias		0,0756	
	Hora vazío		0,0314	

Figura 4.1 - Tarifas Aplicáveis ao Escalão de Baixa Tensão Normal (fonte: [8])

Esta será uma das bases de realização da ferramenta de gestão de energia, que irá ter em conta os períodos de energia mais cara ou mais barata para fazer a gestão de energia de forma que os custos de energia provenientes da rede de distribuição, quando necessários, sejam os mínimos possíveis, para cada tarifa demonstrada.

4.2. Ferramenta de Gestão de Energia

Neste capítulo será abordada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do algoritmo de gestão de energia. Será feita uma descrição detalhada dos cenários considerados e do funcionamento de cada uma das opções consideradas.

4.2.1. Considerações Iniciais

Antes da implementação do algoritmo, é necessário ter em consideração os cenários aplicáveis para a análise energética do caso de estudo. Assim sendo, é possível considerar quatro modos de análise energética para o funcionamento do algoritmo:

- Base (Modo 0) – Apenas estão contabilizados os consumos internos da habitação, sem qualquer implementação de medidas de otimização energética.
- Uso Exclusivo PV (Modo 1) – Este modo de funcionamento tem apenas em consideração o contributo dos painéis fotovoltaicos para colmatação das necessidades energéticas, sem qualquer aplicação de medidas de otimização energética.

- Uso Exclusivo VE (Modo 2) – Este modo tem em consideração o estado de carga da bateria do veículo elétrico e o seu contributo para a redução das necessidades energéticas da rede, explorando os melhores cenários (económicos, energéticos e ecológicos) para o consumo e/ou fornecimento de energia por parte do veículo elétrico;
- VE como carga (Modo 3) – Neste modo, apenas são consideradas as necessidades energéticas da habitação e o impacto do carregamento da bateria do veículo elétrico nas mesmas, não sendo considerados quaisquer medidas de otimização de consumo energético;
- Uso Combinado (Modo 4) – Neste modo, estão contabilizados o uso combinado e otimizado dos painéis fotovoltaicos e do veículo elétrico, de modo a otimizar as necessidades energéticas e reduzir as necessidades de energia por parte da rede de distribuição;

Independentemente do modo escolhido, o algoritmo é iniciado a partir da leitura dos dados mais relevantes para o efeito, como o dia da semana em que a análise está a ser realizada, a hora de análise, o Índice de Ocupação sentido na habitação (que irá definir a disponibilidade de interação energética entre o veículo de mobilidade elétrica e a habitação), o Estado de Carga da Bateria do veículo elétrico, qual o perfil de deslocamento considerado (tendo em conta que este pode determinar a exequibilidade do algoritmo na redução de necessidades de energia na residência), o Estado de Carga máximo da bateria do veículo, os dados de eletricidade produzida pelo sistema de painéis fotovoltaicos, e as cargas elétricas internas da habitação. Posteriormente, deverá ser definido o estado de carga mínimo do veículo para a sua interação com a habitação. Este valor é de extrema importância, pois o limite estabelecido pelo utilizador irá condicionar a aplicabilidade do veículo na habitação e, conseqüentemente, o impacto do mesmo na redução de consumos energéticos sentidos na habitação.

Com este parâmetro definido, procede-se à seleção do modo pretendido para a análise energética, conforme o descrito anteriormente, de modo a ser possível verificar quais as reduções de energia registadas e quais o apoio de energia elétrica que terá de ser fornecido pela rede para colmatar o restante do consumo energético da habitação. Para todos os modos considerados, esse excedente de energia a pagar, ou seja, a energia remanescente que tem de ser colmatada pela rede para cada modo pode ser calculada com base na equação (4.1):

$$Preço\ a\ Pagar = Total_{Energético} * (Tarifa_{aplicável} - Preço_{potência\ contratada}) \quad (4.1)$$

Onde a variável $Total_{Energético}$, dependendo do tipo de modo utilizado, contabiliza o total de energia que é necessário ser colmatada pela rede, depois da aplicação de cada sistema de apoio energético. A Figura 4.2 explicita o funcionamento desta componente do algoritmo, executada em *Microsoft Excel*, onde é possível escolher qual o modo a analisar. Depois de selecionado o modo pretendido, e aplicado a porção do algoritmo associado a esse cenário, e no final é aplicada a equação (4.1) ao total de energia a ser colmatado pela rede.

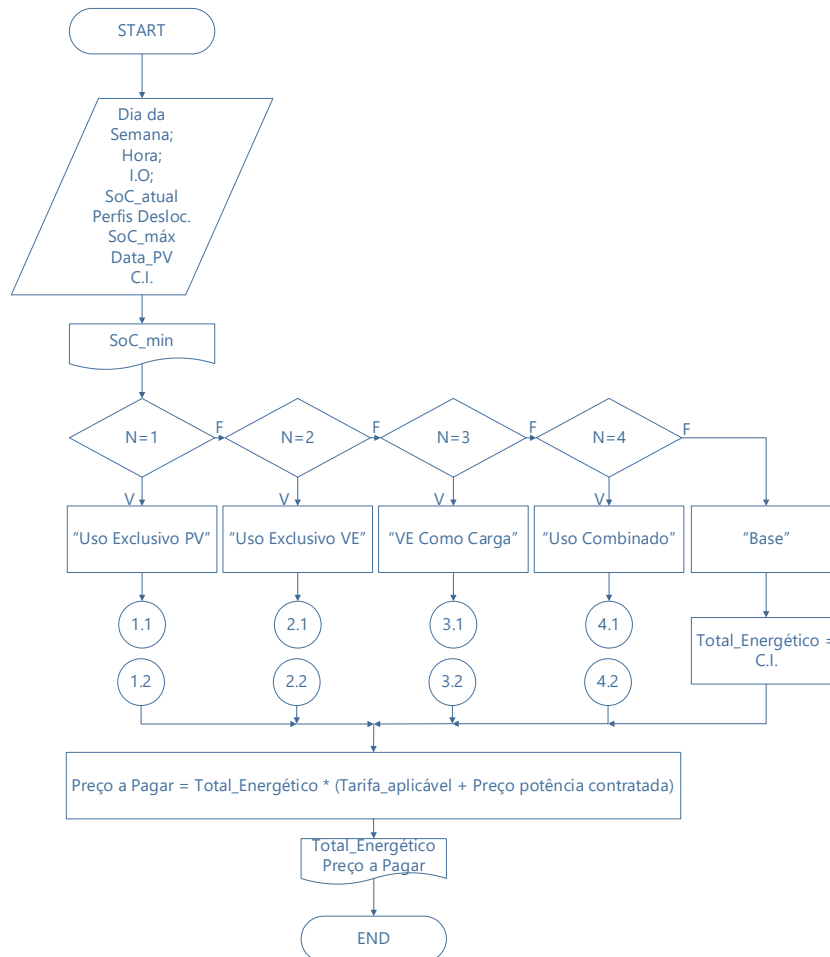


Figura 4.2 - Fluxograma Principal da Ferramenta de Gestão de energia

4.2.2. Modo 1 - Uso Exclusivo PV

Tal como explicado, este modo é caracterizado pelo uso exclusivo dos painéis fotovoltaicos para o consumo energético da habitação. Naturalmente, apenas irá funcionar quando registar que existe produção de energia elétrica nos painéis. Este modo estará em constante funcionamento, de acordo com os pressupostos realizados no capítulo 3.7, quer seja registada ocupação no interior da habitação ou não, ou quer exista consumo elétrico dentro da mesma ou não. Mais ainda, para

este modo, a eletricidade gerada pelos painéis fotovoltaicos é contabilizada em relação à radiação incidente nos painéis fotovoltaicos, para cada hora de cada dia de cada mês usado como análise. Assim, o total energético pode ser calculado de acordo com a seguinte fórmula (4.2):

$$Total_{Energético} = C.I. - Data_{PV} \quad (4.2)$$

Onde:

- $Total_{Energético}$ – Consumo Final de Energia [kWh];
- $Data_{PV}$ – Energia Gerada nos Painéis Fotovoltaicos [kWh];
- C.I. – Cargas Internas referentes ao Consumo Elétrico da Habitação [kWh];

Com esta equação, é possível modelar qual o comportamento dos fotovoltaicos na habitação, a partir da comparação de valores. De facto, se o valor resultante da equação (4.2) for igual ou superior a zero, significa que as necessidades de energia foram colmatadas, para a primeira condição, e que existe excedente de energia, para a segunda condição. No entanto, se o resultado da equação referida for inferior a zero, significa que o sistema de renováveis não produz energia suficiente para colmatar as necessidades energéticas da habitação, sendo necessário recorrer ao uso da rede de distribuição nacional para abater as necessidades remanescentes, aplicando-se a equação (4.1) para o cálculo da energia a pagar que está a ser fornecida pela rede. A Figura 4.3 permite visualizar o funcionamento deste modo, de forma esquemática:

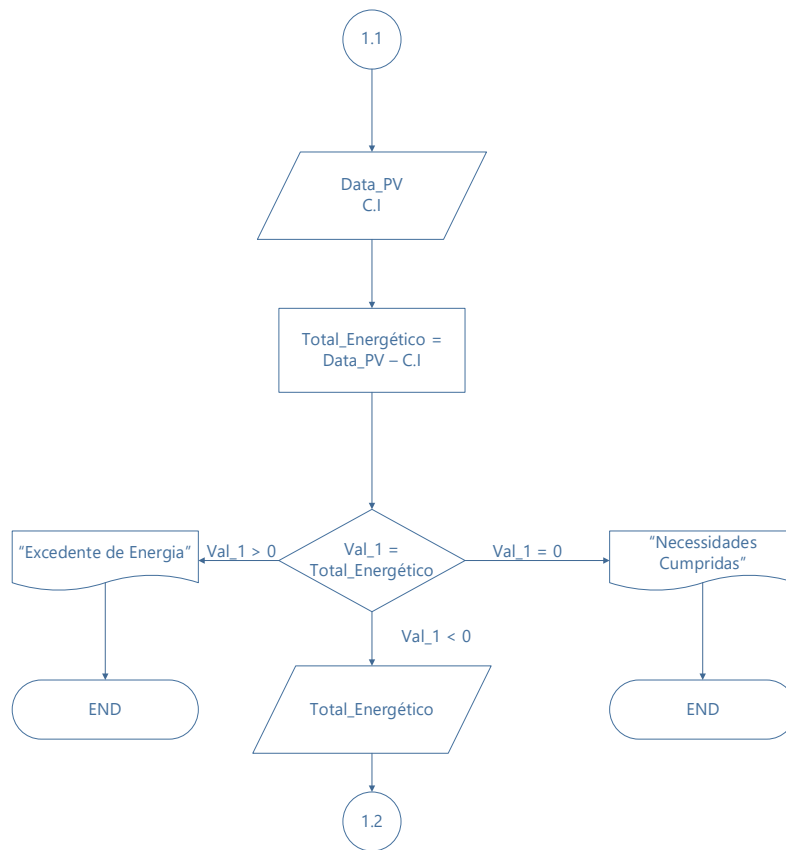


Figura 4.3 - Fluxograma do Algoritmo Associado ao Uso Exclusivo dos Fotovoltaicos

4.2.3. Modo 2 - Uso Exclusivo VE

Para a contabilização exclusiva do veículo elétrico para as necessidades elétricas da habitação, é necessária a realização de um algoritmo capaz de controlar de forma otimizada o fluxo de energia por parte da bateria para a motorização elétrica. De facto, para o correto funcionamento deste modo energético, é necessário contabilizar variáveis de relevada importância, como as cargas internas da habitação, o estado de carga atual da bateria do veículo elétrico, o índice de ocupação registado na habitação, a tarifa energética em vigor [8] e respetivos períodos horários [68] e, mais importante ainda, o estado de carga mínimo da bateria do veículo elétrico que limita a cedência de energia à habitação, que pode ser definido pelo utilizador e pelos perfis de deslocamento do veículo.

Como tal, o primeiro passo a realizar é precisamente definir qual o estado de carga mínimo do veículo, que irá determinar até que capacidade da bateria é que esta pode ser usada para efeitos de otimização energética da habitação. De acordo com [69], a capacidade mínima da bateria de um veículo elétrico para que este seja usado como fonte de energia para colmatação de consumos energéticos não deverá ser inferior a 20% da sua capacidade total, para baterias de alta eficiência. No entanto, e como não é sabido qual o estado da bateria do veículo usado para este estudo, a abordagem para definir este limite pode ser considerado através dos perfis de deslocamento associados à mobilidade elétrica. Após análise destes dados, é possível verificar que, no final de cada dia em que o veículo é utilizado, a quantidade de carga utilizada para as deslocações nunca é superior a 30% da capacidade máxima da bateria, tanto para o mês de janeiro como para o mês de agosto. Este valor pode ser utilizado como referência para o estado de carga mínimo do veículo, de modo que este seja usado para fins de otimização energética, através da aplicação do algoritmo de gestão de energia.

Prosseguindo, é necessário agora definir em que situações é que o veículo pode ser utilizado como recetor elétrico ou como fonte de energia. Para que o fornecimento de energia pelo veículo elétrico seja feito da forma mais eficiente possível, primeiro, é necessário que este se encontre em casa para o efeito, ou seja, terá de se verificar ocupação no interior da habitação. É possível também definir que o veículo elétrico fornece energia quando, de acordo com a tarifa energética aplicada [8], o período horário de energia [68] seja o mais caro de todos os aplicáveis, devido ao facto do impacto do consumo de energia em períodos horários mais caros ser maior. Mais ainda, define-se que o fornecimento de energia ocorre quando o estado de carga atual da bateria é superior ao estado de carga mínimo definido pelo utilizado e inferior ao máximo nominal. Esta variável pode ser definida a partir da seguinte equação (4.3):

$$SoC_{atual} = SoC_{dia} - SoC_{min} \quad (4.3)$$

Onde:

- SoC_{atual} – Estado de Carga Atual da Bateria do Veículo Elétrico, aquando do momento de análise;
- SoC_{dia} – Estado de Carga Da Bateria do Veículo Elétrico, depois da sua utilização diária;
- SoC_{min} – Estado de Carga Mínimo da Bateria do Veículo Elétrico, definido pelo utilizador;

Ou seja, o fornecimento de energia pode ocorrer se o resultado da equação (4.3) for superior a zero.

Considerando estados binários para cada uma das variáveis define-se a equação lógica (4.4) para determinar qual o fornecimento mais eficiente de energia do veículo elétrico à habitação, sem comprometer a eficiência energética da mesma (Figura 4.4):

$$S = A \cap B \cap C \quad (4.4)$$

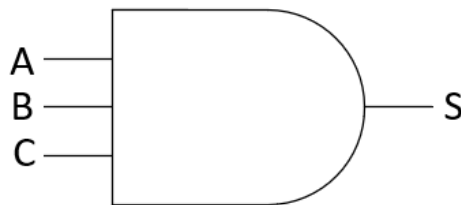


Figura 4.4 - Circuito Lógico Aplicado à Equação (32)

Onde A representa o Índice de Ocupação sentido na habitação, B representa se o período tarifário em vigor é o mais dispendioso, C representa se o valor da equação (3.3) é superior a zero e S representa se o veículo está ou não a fornecer energia à habitação. Esta equação lógica pode ainda ser representada pela seguinte tabela de verdades (Tabela 4.2):

Tabela 4.2 - Tabela de Verdades Associada ao Modo 2

A	0	0	0	0	1	1	1	1
B	0	0	1	1	0	0	1	1
C	0	1	0	1	0	1	0	1
S	0	0	0	0	0	0	0	1

Ou seja, apenas é possível fornecer energia elétrica a partir da bateria do veículo elétrico para a habitação se todas as condições mencionadas anteriormente para as variáveis tratadas na Tabela 4.2.

No entanto, é preciso indicar qual a quantidade de energia cedida pelo veículo para colmatar as necessidades energéticas da habitação. Este valor pode ser arbitrado através da análise dos perfis de deslocamento cedidos, onde é possível verificar que, em períodos de carregamento, é cedida à bateria do veículo 2,2 kWh. Torna-se possível então aferir este valor como a quantidade nominal, cedida à habitação, sempre que a condição S se verificar. Para implementar a lógica adjacente à equação (4.4), recorreu-se ao uso de um ciclo *while* de forma a programar a execução deste comando, sempre que as condições mencionadas na Tabela 4.2 forem verdadeiras.

Quando esta condição for falsa, deverá ocorrer o evento oposto, onde deverá ser a habitação a ceder 2,2 kWh de energia elétrica para carregar o veículo, desde que sejam verificadas duas condições importante:

- O índice de ocupação deverá ser igual a um, ou seja, o veículo deverá estar na habitação;
- O período horário é o mais barato para a tarifa aplicável [8], [68];
- O estado de carga da bateria do veículo elétrico é inferior ao seu máximo nominal;

O algoritmo referente a este modo de funcionamento pode ser consultado na (Figura 4.5):

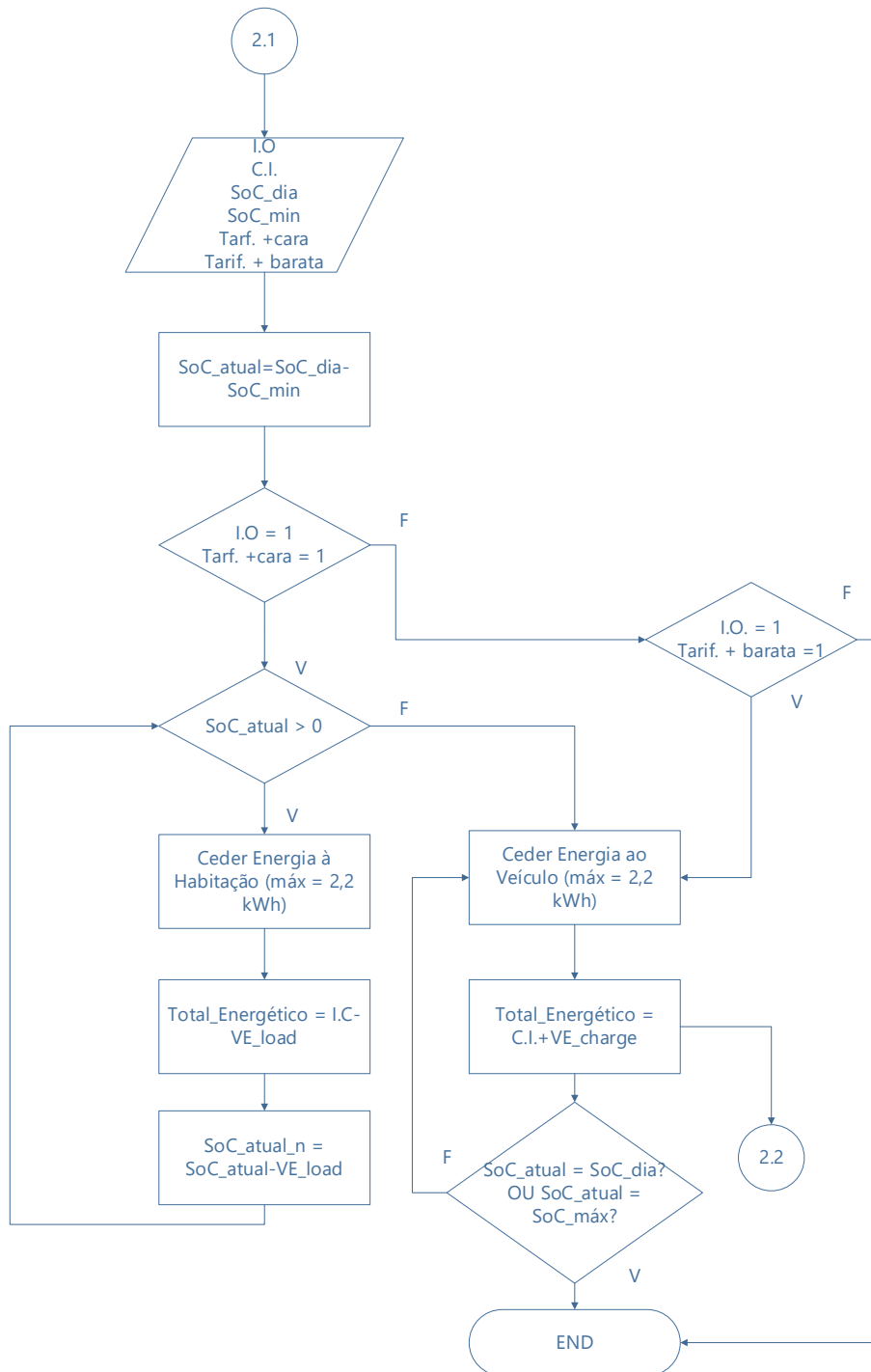


Figura 4.5 - Fluxograma do Algoritmo Associado ao Uso Exclusivo do Veículo Elétrico

4.2.4. Modo 3 - VE como Carga

Este modo apenas tem em consideração o efeito do carregamento do veículo elétrico na habitação, sem estarem consideradas quaisquer medidas de otimização energética. A única medida implementada neste modo são as condições necessárias para o carregamento do veículo. Assim, para que o veículo comece o carregamento da bateria, apenas tem de ser considerado o índice de ocupação e o estado de carga atual do veículo. Da mesma forma que o descrito no capítulo

anterior, será aplicado um algoritmo com base em ciclos *while*, que permitirá que o veículo carregue desde que se registre ocupação no interior da habitação, e que o estado de carga atual, calculado a partir da equação (4.3) seja superior a zero. Caso tal aconteça, e da mesma forma que o descrito no capítulo anterior, terão de ser cedidos para a bateria do veículo a quantidade de energia definida anteriormente, ou seja 2,2 kWh (Figura 4.6).

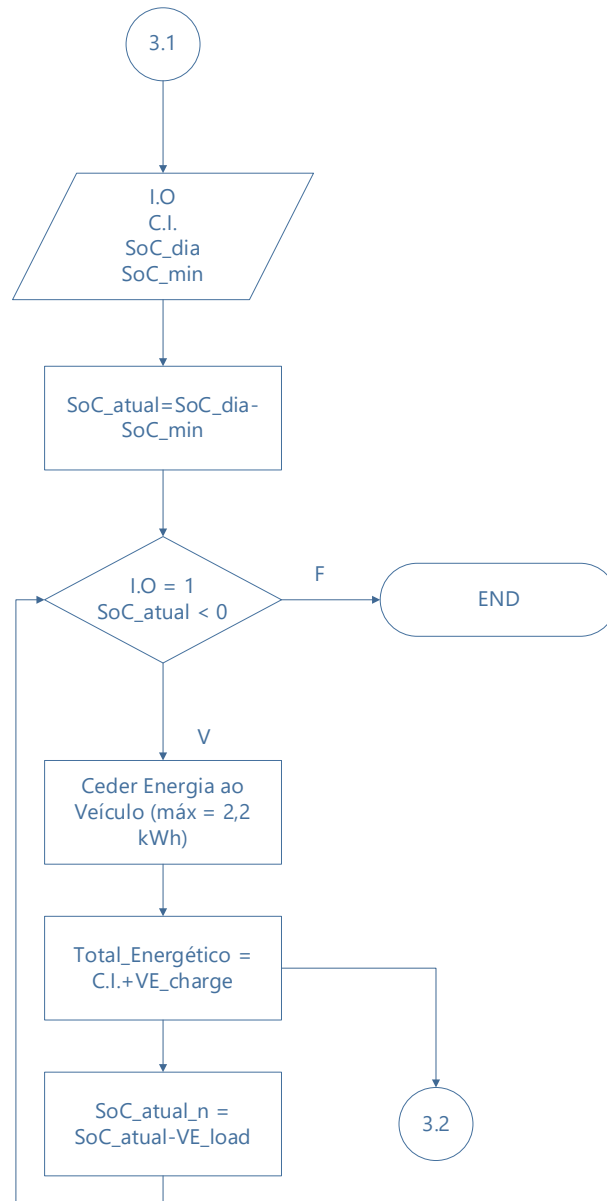


Figura 4.6 - Fluxograma do Algoritmo Associado ao Uso do Veículo Elétrico como Consumidor

4.2.5. Modo 4 - Uso Combinado

Este modo caracteriza-se pelo uso combinado de duas medidas descritas anteriormente, onde se conjugam o uso dos painéis fotovoltaicos e do veículo elétrico para colmatar as necessidades energéticas da habitação, operando como fonte de energia ou carga. Para modelar o uso de ambos os sistemas auxiliares, é necessário ter em consideração as seguintes variáveis:

- Índice de Ocupação;
- A energia gerada pelo sistema de fotovoltaicos;
- O estado de carga atual da bateria do veículo elétrico, assim como o seu máximo e o mínimo estabelecido;

Usando lógica booleana para entender melhor este modo de funcionamento, têm de ser avaliados primeiramente quais os estados possíveis para o índice de ocupação. Definindo este parâmetro como igual a zero para o caso em que o veículo não se encontra na habitação, significa que neste caso, a mobilidade elétrica não tem qualquer contributo para melhorar o consumo energético da habitação, sendo apenas o sistema de painéis fotovoltaicos o único sistema auxiliar responsável para cumprir a tarefa de colmatar as necessidades de energia elétrica. Assim, para o caso em que o índice de ocupação é igual a zero, o consumo energético da habitação depende ou do comportamento dos fotovoltaicos, ou então, caso este sistema não consiga corresponder aos consumos energéticos, da rede de distribuição de energia. Para este caso, aplica-se a metodologia de cálculo realizada no capítulo 4.2.2.

No entanto, caso seja registada ocupação no interior da habitação, outras considerações terão de ser tecidas. Assim, para o caso em que o Índice de ocupação é igual a 1, é possível a consideração de dois cenários. O primeiro tem em conta o cenário em que o sistema de fotovoltaicos não está a produzir energia. Caso tal aconteça, significa que a colmatação de energia, se existir, só poderá ser realizada a partir da bateria do veículo elétrico. Assim sendo, para este caso, aplica-se a metodologia descrita no capítulo 4.2.3, onde apenas é considerado o uso exclusivo do veículo elétrico para fins de otimização de consumo energético.

Caso o sistema de fotovoltaicos esteja a produzir energia elétrica, e o veículo elétrico se encontre na habitação, verifica-se um cenário onde existem duas fontes de energia disponíveis para abater o consumo elétrico registado pelo uso de eletrodomésticos e pelos demais sistemas presentes na habitação. Para este caso, tem de ser considerado ainda qual o período tarifário em que a habitação está inserida. Se o período tarifário for o mais barato para a tarifa aplicada [8], [68], significa que

se reúnem as condições para carregar o veículo elétrico de uma forma mais otimizada, podendo ser aplicada a metodologia descrita no capítulo 4.2.4, onde o veículo elétrico se comporta exclusivamente como um recetor elétrico. No entanto, se o período horário registado for o mais caro da tarifa energética [8], [68], significa que não se encontram reunidas as melhores condições para o carregamento do veículo elétrico, e a colmatação de energia tem de ser feita a partir dos dois sistemas auxiliares que são mencionadas ao longo deste capítulo. O total energético da habitação, ou seja, as necessidades brutas de energia da moradia, podem ser calculadas de acordo com a equação (4.1). Se o resultado gerado por esta equação for inferior a zero, significa que existe excedente de energia, que poderá ser usado para carregar o veículo elétrico, caso o estado de carga da bateria do mesmo seja inferior ao seu máximo nominal. Caso estas necessidades brutas de energia forem nulas, trata-se de um cenário de autossuficiência, em que o que é produzido pelo sistema de painéis fotovoltaicos é diretamente consumido pelos equipamentos domésticos, sem ter em consideração o comportamento do veículo elétrico. No entanto, para o caso em que o total energético é superior a zero, significa que o sistema de renováveis presente na habitação não é suficiente para anular o consumo energético registado na mesma. Neste caso, e apenas se o estado de carga atual da bateria do veículo, SoC_{atual} for superior ao estado de carga mínimo estabelecido pelo utilizador, SoC_{min} , o veículo cede energia da bateria para a habitação (2,2 kWh), desde que a condição seja cumprida. Caso o veículo não reúna as condições para ceder energia para a habitação, ou não consiga colmatar as necessidades da residência, o restante terá de ser colmatado pela rede de distribuição de energia, sendo faturado no final o montante de acordo com a tarifa aplicável [8] (Figura 4.7).

A razão pela qual se decidiu priorizar a produção de energia dos painéis fotovoltaicos face ao uso da bateria do veículo, apesar desta estar programada para ceder mais energia à habitação do que o sistema de renováveis reside no facto de os painéis se comportarem exclusivamente como uma fonte de energia, conforme explicado anteriormente, pois para o veículo elétrico, toda a energia armazenada na bateria que é usada para a habitação tem de ser eventualmente restabelecida, tal pode acontecer em períodos horários mais caros, podendo pôr em causa o balanço energético total da habitação e o custo económico e ecológico de implementação do algoritmo na habitação.

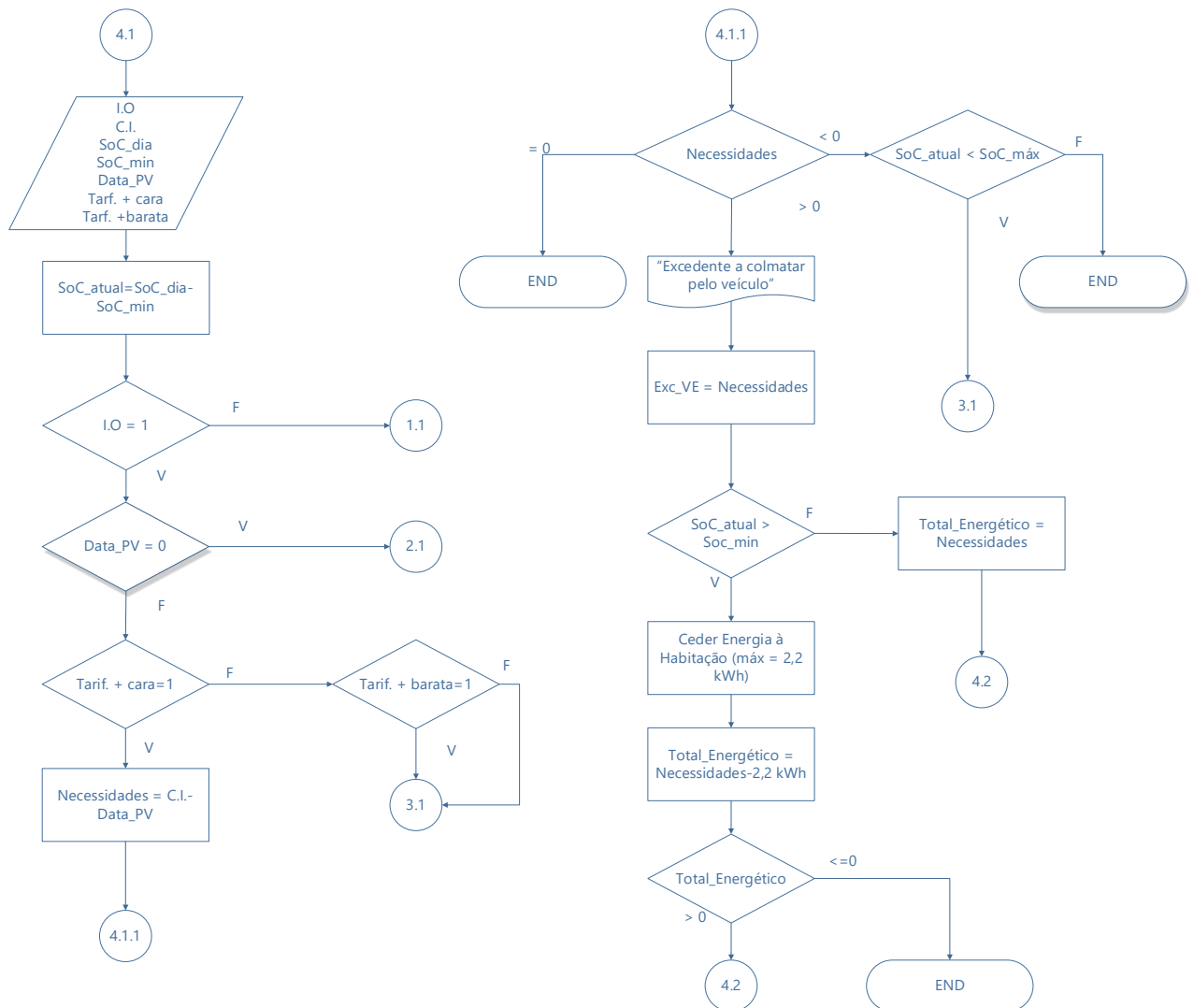


Figura 4.7 - Fluxograma Associado ao Uso Combinado dos Sistemas

O fluxograma associado ao algoritmo descrito pode ser consultado por inteiro no Apêndice 2.

4.3. Certificação Energética

Outro tópico que será alvo de análise será a certificação energética do edifício, segundo a legislação aplicável [60]. Como mencionado pela Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios [10], qualquer novo imóvel edificado a partir de 31 de dezembro de 2020 terá de ser construído segundo a ideologia nZEB. Assim, considerando que o caso de estudo em questão foi edificado no ano corrente de 2021, terão de ser seguidos estes pressupostos para fins de certificação energética.

Assim, o primeiro passo para a realização deste procedimento é a identificação da zona climática onde a residência se enquadra. Este procedimento encontra-se contemplado no Despacho (extrato) nº 15793-F/2013 [70], ao abrigo do Decreto-Lei nº118/2013 [71], que especifica duas classificações para as zonas climáticas abrangidas em Portugal Continental: as zonas de inverno (I) e as zonas de verão (V) (Figura 4.8):

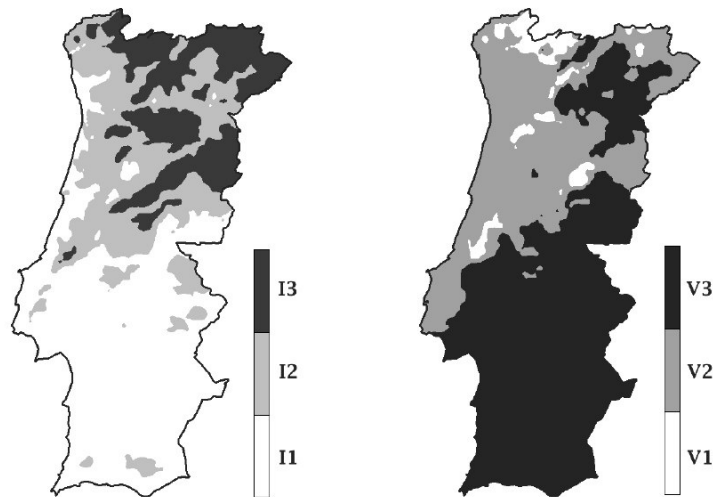


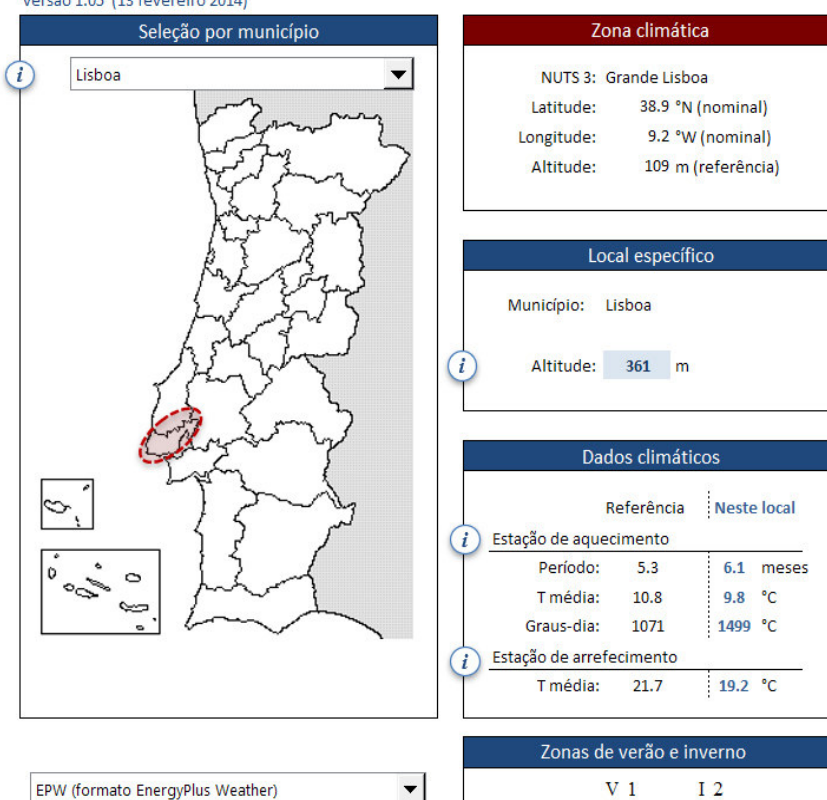
Figura 4.8 - Zonas Climáticas de Inverno no Continente (à esquerda) e de Verão no Continente (à direita) (fonte: [70])

Mais ainda, as zonas climáticas de inverno e de verão encontram-se por índices, como pode ser consultável pela Figura 4.8. Por exemplo, a classificação I1 é atribuída para zonas do país em que as necessidades de aquecimento são as mais reduzidas durante o inverno, enquanto a classificação I3 é atribuída a zonas onde essas necessidades são mais elevadas. O mesmo acontece na estação de arrefecimento, com o parâmetro V1 atribuído a lugares de necessidades de arrefecimento mais baixas e V3 para onde essas necessidades são mais altas.

Tendo em conta a localização do edifício em estudo, definida na Tabela 3.4, recorre-se à folha de cálculo do SCE, cedida pelo LNEG, que permite a definição da zona climática correspondente à localização escolhida (Figura 4.9):

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica

versão 1.05 (13 fevereiro 2014)



LNEG | Software para Políticas Públicas

Sistema Nacional de Certificação de Edifícios
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 4.9 - Zona Climática Correspondente à Localização da Habitação (fonte: [71])

Verifica-se a partir da Figura 4.9 que a habitação está enquadrada na zona climática de inverno I2 e na zona climática de verão V1. No entanto, e para confirmação destes coeficientes, pode-se realizar o cálculo para determinar estes mesmos coeficientes. A realização deste cálculo tem como base o zonamento do país conforme o Despacho (Extrato) nº 15793-F/2013 [70], sendo este baseado na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível três, onde é possível consultar as variáveis necessárias para a realização deste cálculo, destacando-se para o inverno:

- GD – Graus-dias na base dos 18 °C [°C];
- GD_{ref} – Graus-dias de referência na base dos 18 °C [°C];
- a -Coeficiente associado à localização para a estação de aquecimento [°C/km];
- z_{ref} – Altitude de Referência [m];

Da mesma forma, para a estação de verão, têm-se as seguintes variáveis:

- $\theta_{ext,i}$ – Temperatura média exterior do mês mais frio da estação de arrefecimento [°C];
- $\theta_{ext,ref}$ – Temperatura média exterior de referência do mês mais frio da estação de arrefecimento [°C];
- a - Coeficiente associado à localização para a estação de arrefecimento [°C/km];
- z_{ref} – Altitude de Referência [m];

Tendo em conta que a habitação se encontra edificada na zona da Grande Lisboa, os valores para a estação de aquecimento e arrefecimento podem ser consultados nas Figura 4.10 e Figura 4.11, respetivamente:

	z	M		GD		$\theta_{ext,i}$		G_{Sul} kWh/m ² por mês
	REF	REF	a	REF	a	REF	a	
	m	meses	mês/km	°C	°C/km	°C	°C/km	
Grande Lisboa	109	5,3	3	1071	1700	10,8	-4	150

Figura 4.10 - Valores de Referência e Declives para Ajustes em Altitude para a Estação de Aquecimento para a Grande Lisboa (adaptado de [70])

	z REF m	$\theta_{ext,v}$		$I_{s,i}$ kWh/m ² acumulados de junho a setembro									
		REF	a	0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW	
		°C	°C/km										
Grande Lisboa	109	21,7	-10	840	225	365	500	495	410	495	500	365	

Figura 4.11 - Valores de Referência e Declives para Ajuste em Altitude para a Estação Convencional de Arrefecimento para a Grande Lisboa (adaptado de [70])

O cálculo dos coeficientes que permitem a determinação das zonas climáticas correspondentes são para a estação de aquecimento e arrefecimento, respetivamente as equações (4.5, 4.6):

$$GD = GD_{ref} + a * (z - z_{ref}) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.5)$$

$$\theta_{ext,i} = \theta_{ext,ref} + a * (z - z_{ref}) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.6)$$

Assim, para a zona da Grande Lisboa, temos (4.7, 4.8):

$$GD = 1071 + 1700 * (361 - 109) = 1499,4 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.7)$$

$$\theta_{ext,i} = 21,7 - 10 * (361 - 409) = 19,18 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.8)$$

Comparando estes valores com as Figura 4.12 e Figura 4.13 que delimitam os valores de graus-dia e temperatura exterior para cada zona climática, respetivamente:

Critério	$GD \leq 1300 \text{ }^\circ\text{C}$	$1300 \text{ }^\circ\text{C} < GD \leq 1800 \text{ }^\circ\text{C}$	$GD > 1800 \text{ }^\circ\text{C}$
Zona climática inverno	I1	I2	I3

Figura 4.12 - Zona Climática de Inverno (fonte: [60])

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$20 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22 \text{ }^\circ\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22 \text{ }^\circ\text{C}$
Zona climática verão	V1	V2	V3

Figura 4.13 - Zona Climática de Verão (fonte: [60])

Os cálculos realizados originam as zonas climáticas definidas pela folha de cálculo da SCE [71], verificando que a habitação se encontra localizada na zona climática de inverno I2 e na zona climática de Verão V1. Com as zonas climáticas definidas o próximo passo é a validação dos coeficientes de transmissão de calor das fachadas. Segundo o Manual da SCE [60], as seguintes condições têm de ser verificadas (Figura 4.14):

$U_{ref} \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)]}$		Zona Climática					
Envolvente		Portugal Continental			Regiões Autónomas		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Condição fronteira exterior ou interior	Elementos opacos verticais	0,70	0,60	0,50	1,40	0,90	0,50
	Elementos opacos horizontais	0,50	0,45	0,40	0,80	0,60	0,40
Vão envidraçados exteriores		4,30	3,30	3,30	4,30	3,30	3,30

Figura 4.14 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Referência por Zona Climática (fonte: [60])

Analisando as fachadas mais desfavoráveis em termos de coeficiente de transmissão de calor, obtém-se a (Tabela 4.3), onde é possível aferir que as características térmicas das fachadas da habitação estão em conformidade com os valores de referência [60]

Tabela 4.3 - Comparação dos Coeficientes Calculados com os Coeficientes de Referência

Fachada	U [W/m²*K]	U_{ref} [W/m²*K]
Elementos Opacos Verticais	0,17	0,6
Elementos Opacos Horizontais	0,27	0,45
Superfícies Envidraçadas	1,1	3,3

Da mesma forma, é possível comparar os valores de fator solar para os vãos envidraçados (Figura 4.15)

Fator solar de referência	Zona Climática		
	V1	V2	V3
$g_{tot,ref}$	0,25	0,20	0,15

Figura 4.15 - Fatores Solares de Referência para cada Zona Climática (fonte: [60])

Mais uma vez, comparando com o pior valor considerado no caso de estudo (Tabela 4.4):

Tabela 4.4 - Comparação entre o Fator Solar de Estudo e o de Referência

Fachada	g_{tot}	g_{tot,ref}
Vão Envidraçado	0,58	0,56

Como se pode observar pela Tabela 4.4, o fator solar mais desfavorável não cumpre com os requisitos estabelecidos pela ADENE [60], pelo que este parâmetro seria alvo de intervenção caso fosse realizada uma auditoria energética à habitação.

Com estes parâmetros estabelecidos, torna-se possível realizar a certificação dos consumos energéticos registados na habitação. Como a certificação a realizar é para um edifício residencial, os seguintes parâmetros têm de ser considerados:

- Necessidades Anuais Nominais de Energia no que toca a Aquecimento;
- Necessidades Anuais Nominais de Energia no que toca a Arrefecimento;
- Necessidades Anuais Nominais de Energia referentes à Iluminação do Espaço;
- Energia Anual Nominal Produzida através de um Sistema de Renováveis;
- Outros Consumos Nominais;

No entanto, como apenas dois meses do ano é que estão a ser alvos de estudo para esta dissertação, a metodologia de certificação energética terá de ser adaptada para a base mensal do estudo efetuado. Assim, para efeitos de certificação energética mensal, são considerados os seguintes parâmetros:

- Ntc,S – corresponde ao somatório dos consumos energéticos mensais referentes ao aquecimento, arrefecimento e iluminação do espaço, num mês, por unidade de área [kWhEP/(m²*mês)](adaptado de [60]);
- Ntc,T – corresponde ao somatório dos consumos energéticos não associados aos consumos de aquecimento, arrefecimento e iluminação, num mês, por unidade de área [kWhEP/(m²*mês)] (adaptado de [60]);
- Ntc,Ren – corresponde ao montante de energia produzida por um sistema de renováveis, num mês, por unidade de área [kWhEP/(m²*mês)] (adaptado de [60]);

De ter em atenção que, antes da realização de quaisquer cálculos, os consumos energéticos registados terão de ser convertidos com base no tipo de energia usada para os alimentar em quantidade de energia primária. No caso da habitação, o fator F_{pu} considerado é relativo ao uso de eletricidade para alimentação dos consumidores elétricos (Figura 4.16):

Tipo de energia	F_{pu} [kWhEP/kWh]
Eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável)	2,5
Combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não renováveis	1,0
Energia térmica de origem renovável	1,0
Energia proveniente da rede urbana de frio e calor da Climaespaço, Parque das Nações, Lisboa	1,06
Energia proveniente de sistemas de cogeração no edifício de referência	1,86
Energia proveniente de sistemas de trigeração no edifício de referência	1,70

Figura 4.16 - Fatores de Conversão de Energia Final para Energia Primária (fonte: [60])

Com o fator de conversão de energia final para energia primário associado aos consumos de energia, calculam-se as necessidades mensais nominais de energia através da equação (4.9) (adaptado de [60]):

$$Ntc = Ntc,S + Ntc,T - Ntc,Ren \quad (4.9)$$

Este parâmetro é útil para calcular a classe energética em que a habitação se insere, que indicará se realmente é eficiente ou não, de acordo com a legislação aplicável [60]. Este parâmetro, pode ser calculado da seguinte forma (4.10) [60]:

$$R_{nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (4.10)$$

Onde:

- R_{nt} – Rácio de Classe Energética em Edifícios de Habitação;
- N_{tc} – Necessidades Nominais Mensais de Energia Primária [kWhEP];
- N_t – Necessidades Nominais Mensais de Referência de Energia Primária [kWhEP];

Para poder calcular este coeficiente, é necessário conhecer as necessidades de referência, que se pode assumir, de acordo com o descrito na Portaria nº 42/2019 [72], que estipula que, para edifícios de habitação nZEB, as necessidades de energia têm de garantir a seguinte condição (4.11):

$$N_{tc} \leq 0,5 * N_t \quad (4.11)$$

Como o valor do coeficiente N_{tc} é calculado para cada mês (considerando os consumos iniciais, descartando o impacto das renováveis e do veículo elétrico na habitação), é possível estimar o valor de N_t para cada mês e, conseqüentemente, o R_{nt} (Figura 4.17):

Classe energética	R_{Nt}
A+	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,25 < R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,50 < R_{Nt} \leq 0,75$
B -	$0,75 < R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,00 < R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,50 < R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,00 < R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} > 2,50$

Figura 4.17 - Intervalos de valor de R_{nt} para Edifícios de Habitação (fonte: [60])

Tendo em conta que o caso de estudo original descreve as necessidades de um edifício de necessidades nulas [13] e tendo em conta a classificação energética mínima para atingir o estatuto de nZEB de acordo com a legislação portuguesa [60], ao analisar a Figura 4.17 e aplicando a eq. (4.11), é possível determinar a classificação energética da habitação, sendo esta do tipo A. Este será o ponto de partida para a certificação energética dos cenários tratados pela ferramenta de gestão de energia, ou seja, a ferramenta apenas pode ser considerada vantajosa em termos de certificação energética se, para os vários cenários e para as várias tarifas aplicáveis, tiver a capacidade de manter ou melhorar a classe energética da habitação face ao cenário habitual.

Página deixada propositadamente em branco

5. Resultados

O foco principal para a aplicação da ferramenta de gestão de energia foi a obtenção das necessidades brutas da habitação, assim como a gestão energética de energia por parte de cada cenário estudado no capítulo 4.2, e considerando todas as tarifas energéticas aplicáveis em Portugal, ao abrigo do mercado regulado [8] (Figura 5.1):

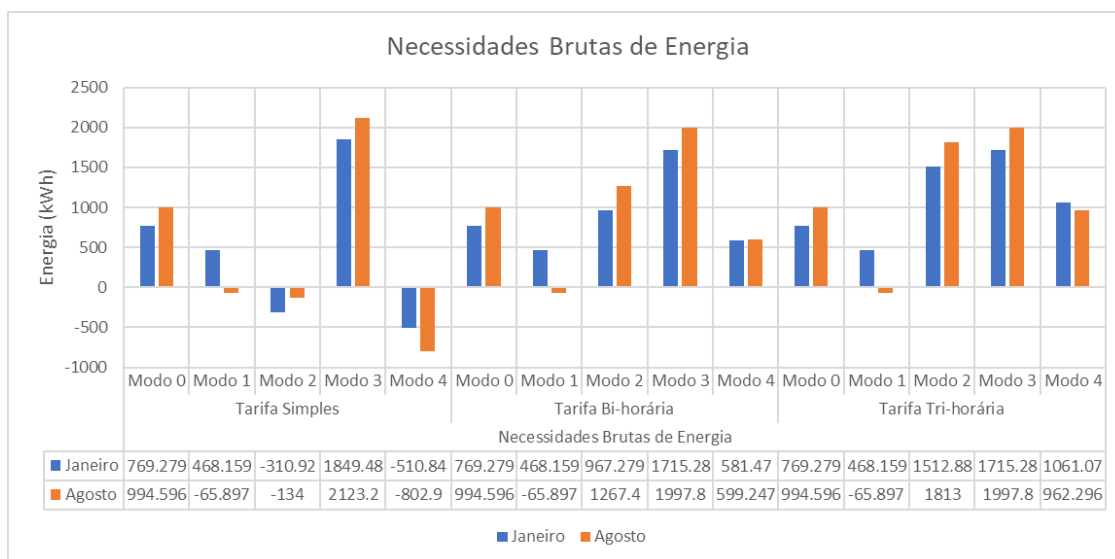


Figura 5.1 - Necessidades Brutas de Energia

Através da Figura 5.1 verifica-se que, após aplicação dos demais modos, é evidente a variabilidade dos dados obtidos. Por exemplo, em comparação com o cenário inicial, verifica-se que, para cenários em que a tarifa aplicada é do tipo simples, que os resultados de necessidades brutas de energia para os modos 1 (“Uso Exclusivo dos Fotovoltaicos”), 2 (“Uso Exclusivo do VE”) e 4 (“Uso Combinado”) que são os cenários onde estão implementadas medidas de poupança de energia, são inferiores a zero, enquanto que no modo 3 (“VE como Carga”), onde apenas é considerado o carregamento do veículo elétrico sem implementação de medidas de eficiência, os valores de necessidades energéticas são superiores a zero, representado que existe uma produção de energia que ultrapassa os consumos energéticos registados na habitação, e que existe consumo energético tão elevado que os sistemas de produção de energia não são capazes de colmatar as necessidades energéticas, respetivamente.

Consequentemente, é possível verificar, a partir da análise desses mesmos resultados, a eficácia da ferramenta de gestão de energia nos demais modos em que é considerada, face ao cenário inicial. Essa eficácia pode ser visualizada em quase todos os cenários considerados, e em quase

todas as tarifas energéticas aplicadas, com particular destaque no modo 4 (Uso Combinado) com Tarifa Simples e para o mês de Agosto, onde se verifica uma diferença abismal no consumo energético face ao cenário inicial, para o mesmo período e para a mesma tarifa energética (uma poupança de 181% nos cenários considerados). Por exemplo, em tarifa simples, é possível observar que as necessidades brutas de energia da habitação são cada vez menores, quantos mais sistemas de produção de energia considerados, sendo possível verificar que no modo 4, que conjuga tanto a produção de energia através dos painéis fotovoltaicos como o contributo do veículo elétrico, as necessidades de energia são muito menores do que todos os outros cenários onde é aplicada a ferramenta. Logicamente, para o modo 3, que considera o carregamento do veículo elétrico sem quaisquer medidas de poupança de energia, que é expectável que o consumo energético da habitação é muito mais elevado do que o consumo registado no cenário inicial. No entanto, se se comparar o modo 2, que tem em consideração o carregamento da bateria do veículo elétrico de forma mais eficiente do que no modo 3, é possível também ver a aplicação da ferramenta de gestão de energia em funcionamento, e a sua eficácia, resultado num decréscimo do consumo de energia entre estes dois cenários.

Porém, a eficácia desta ferramenta de gestão apenas se evidencia em tarifas energéticas mais simples, ou seja, com menos parcelas de custo energético. De facto, e a partir da análise da Tabela 5.1, verifica-se que as diferenças dos consumos energéticos entre os vários modos é tanto maior quanto menos complexa for a tarifa energética aplicada, com a tarifa simples apresentado diferenças mais acentuadas do que a tarifa bi-horária e até mesmo a tri-horária. Este fenómeno está relacionado com a forma que o algoritmo de decisão e da sua interpretação dos períodos horários abrangidos pela tarifa energética correspondente. Como em caso de tarifa simples, o mesmo custo de energia é aplicado para todos os períodos horários, o algoritmo decide que está sempre em vigor o período horário mais favorável para a cedência de energia da habitação ao veículo e vice-versa, realizando a gestão de cargas unicamente a partir do estado de carga da bateria do veículo. Com efeito, se considerarmos tarifas com mais parcelas de faturação de energia, o algoritmo já terá de decidir qual o melhor período horário para o carregamento do veículo elétrico, ou o inverso, em função da tarifa aplicada e do estado de carga da bateria do veículo, podendo comprometer os consumos energéticos brutos da habitação.

Tabela 5.1 - Diferenças Energéticas face ao Modo 0

Diferenças Energéticas (W)	Tarifa Simples			
	Modo 1 (Uso Exclusivo Fotovoltaicos)	Modo 2 (Uso Exclusivo VE)	Modo 3 (VE como Carga)	Modo 4 (Uso Combinado)
Mês	Tarifa Simples			
Janeiro	-301.12	-1080.20	1080.20	-1280.12
Agosto	-1060.49	-1128.60	1128.60	-1797.49
Mês	Tarifa Bi-Horária			
Janeiro	-301.12	198.00	946.00	-187.81
Agosto	-1060.49	272.80	1003.20	-395.35
Mês	Tarifa Tri-Horária			
Janeiro	-301.12	743.60	946.00	291.79
Agosto	-1060.49	818.40	1003.20	-32.30

Com base na gestão do algoritmo é possível também analisar quais os índices de autossuficiência da habitação, isto é, a percentagem do tempo de análise em que a residência se comporta apenas como consumidor de energia, em que as necessidades energéticas são nulas e em que existe excedente de energia elétrica, em função da tarifa seleccionada (Figura 5.2, Figura 5.3 e Figura 5.4).

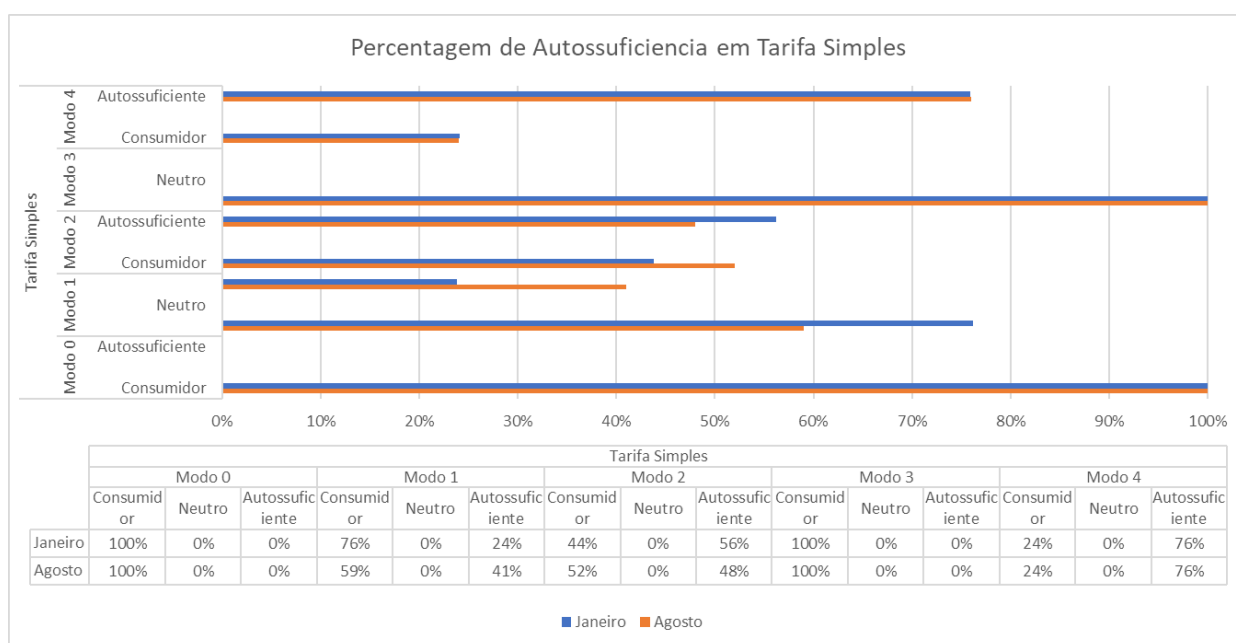


Figura 5.2 - Percentagem de Autossuficiência em Tarifa Simples

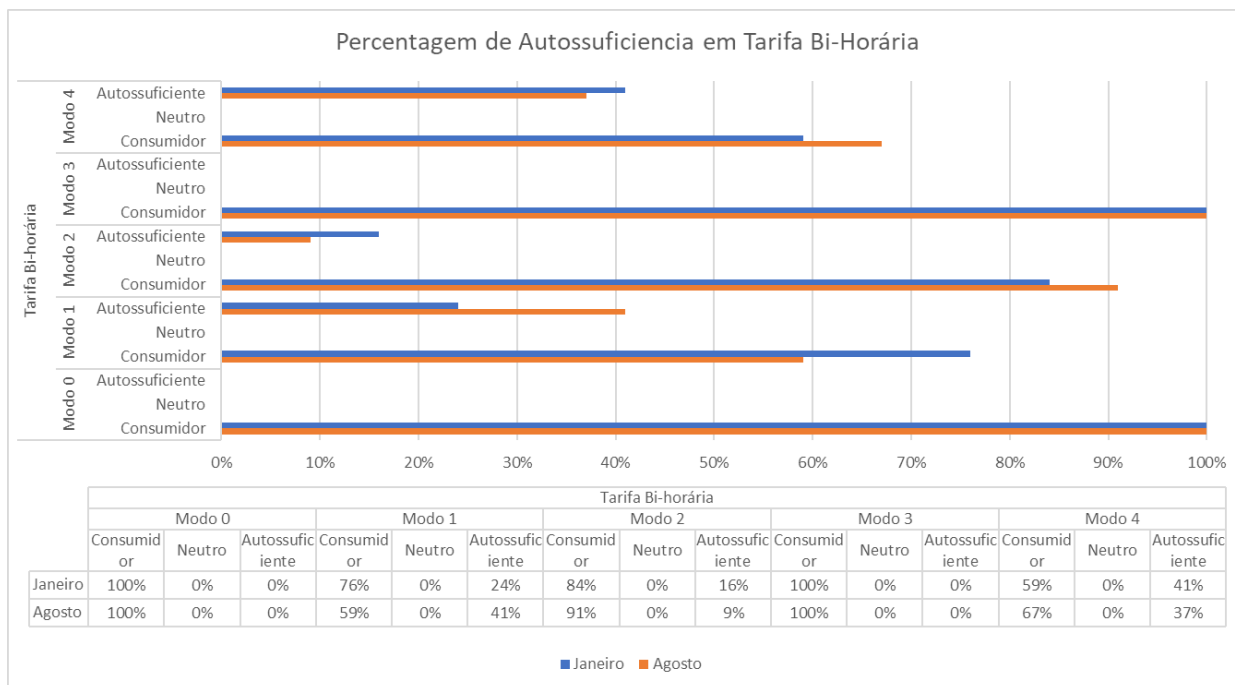


Figura 5.3 - Percentagem de Autossuficiência em Tarifa Bi-Horária

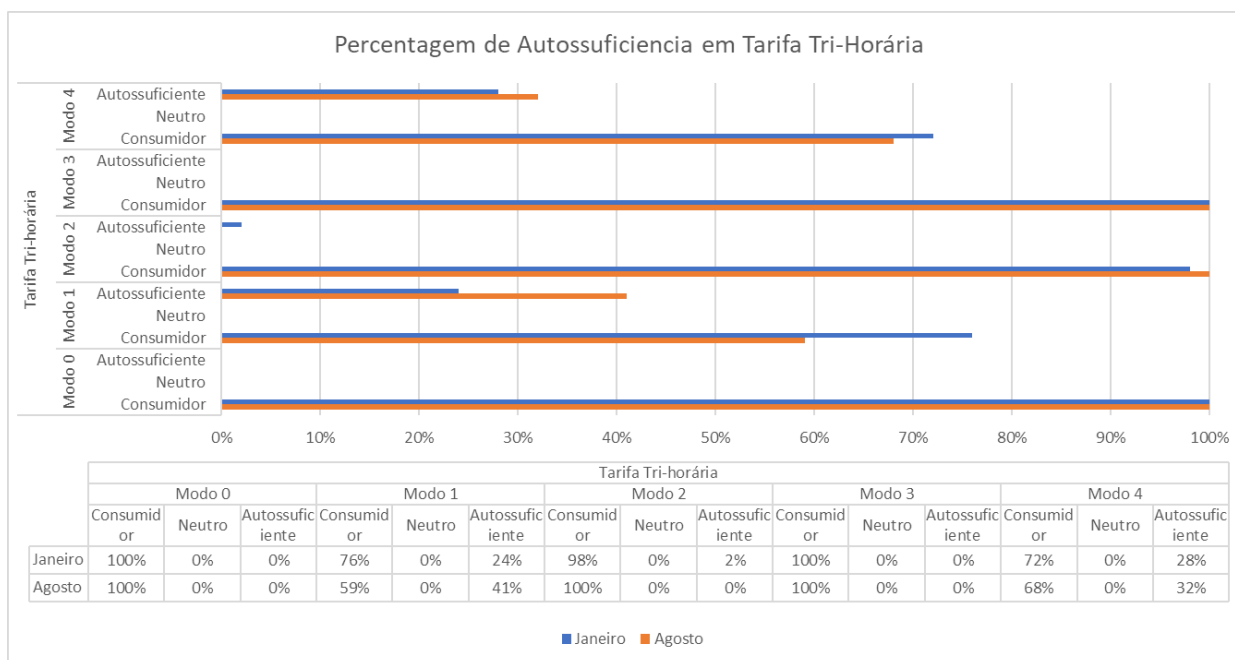


Figura 5.4 - Percentagem de Autossuficiência em Tarifa Tri-Horária

Onde o Modo 0 corresponde ao Caso de Estudo base, o Modo 1 refere-se ao “Uso Exclusivo de Fotovoltaicos”, o Modo 2 remete para o modo “Uso Exclusivo VE”, o Modo 3 para o modo “VE como Carga”, e finalmente o Modo 4 diz respeito ao modo “Uso Combinado”

É possível aferir que, a partir da análise dos gráficos representados para cada tarifa energética que a tarifa simples é onde se regista a maior percentagem de tempo em que existe produção de energia

excessiva por parte dos sistemas produtores de energia, com especial consideração entre os modos 2 (“Uso Exclusivo VE”) e 4 (“Uso Combinado”), que é onde se verificam as alterações mais elevadas em termos de percentagens de autossuficiência. Tal se deve ao facto da complexidade das tarifas energéticas em estudo que, à medida que são considerados cada vez mais períodos horários, mais complexa e menos eficiente será a gestão energética da habitação. No entanto, é possível verificar que a aplicação de ferramentas de gestão de energia, em conjugação com os vários sistemas produtores de energia, permite a homogeneidade dos índices de autossuficiência, independentemente da tarifa energética aplicada. Como Janeiro e Agosto são dois meses bastante diferentes em questão de consumo energético, verifica-se que a aplicação de um sistema *smart-grid* e *micro-grid* permite a aproximação dos consumos energéticos de ambos os meses e os índices de autossuficiência dos mesmos (Figura 5.1).

Mais ainda, pode-se observar o funcionamento do veículo elétrico e do algoritmo de gestão de energia ao analisar a variabilidade do estado de carga da bateria da mobilidade elétrica, para os cenários em que a sua aplicação é requerida, em função da radiação solar, para determinar o funcionamento correto da ferramenta informática. E para este caso, faz sentido analisar o comportamento para um dia útil e para um dia de descanso. Verifica-se ainda a variabilidade destes dados para as demais tarifas consideradas, para consolidar as premissas previamente estabelecidas sobre qual o tarifário onde a aplicação da ferramenta é mais viável.

Através da análise das figuras (Figura 5.5, Figura 5.6 e Figura 5.7), nos dias úteis, não é notável a diferença do estado de carga da bateria do veículo elétrico durante as horas em que não existe ocupação no interior da habitação, verificando apenas a sua utilização quando este chega a casa. Com efeito, podemos verificar que, durante a semana e quando chega a casa, o veículo elétrico tem comportamentos diferentes, de acordo com o cenário em estudo, com o veículo a ceder energia à habitação muito mais tarde no modo 2 (“Uso Exclusivo VE”) do que em relação ao modo 4 (“Uso Combinado”). Isto deve-se ao facto de, no modo 4, estar contabilizado também o contributo dos painéis fotovoltaicos na redução do gasto energético da moradia, e, à hora em que o veículo elétrico chega à habitação, para ambos os casos, já não se regista radiação solar suficiente para colmatar as necessidades energéticas da habitação. Quando tal acontece, cabe ao veículo elétrico, se tiver carga suficiente (de acordo com o mínimo estabelecido pelo utilizador e garantido que esse mínimo nunca é ultrapassado), descarregar a sua bateria para colmatar esses consumos, fenómeno que não acontece diretamente no modo 2 (“Uso Exclusivo VE”), pois não está imposto nesse modo o comportamento do sistema de renováveis. Para além disso, também os períodos horários da tarifa aplicada contribuem para o uso da bateria do veículo elétrico na habitação. Ao comparar os estados de carga durante a semana entre as várias tarifas, podemos visualizar que na tarifa tri-horária, existe uma variabilidade na capacidade da bateria mais elevada

do que nas outras tarifas consideradas. Tal se deve à forma como esta tarifa está contabilizada. Como está dividida em três períodos horários, em situação de tarifa tri-horária o algoritmo tem de decidir qual o melhor período horário para proceder ao carregamento do veículo, o que pode comprometer o consumo final de energia. Este fenómeno não acontece nas outras tarifas energéticas porque existem menos períodos horários a considerar, logo, a decisão de carregar ou descarregar o veículo elétrico não compromete tanto o consumo energético da habitação. Esta mesma análise pode ser confirmada durante os dias de descanso, onde, apesar de se considerar que o veículo elétrico está permanentemente na habitação (e a capacidade da bateria apenas varia consoante a sua interação com a habitação) e a sua conjugação pode ser feita com a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, o mesmo ocorre, ou seja, quanto mais complexa for a tarifa energética em termos de períodos horários considerados, menos eficiente se torna a aplicação do algoritmo na colmatação de consumos energéticos.

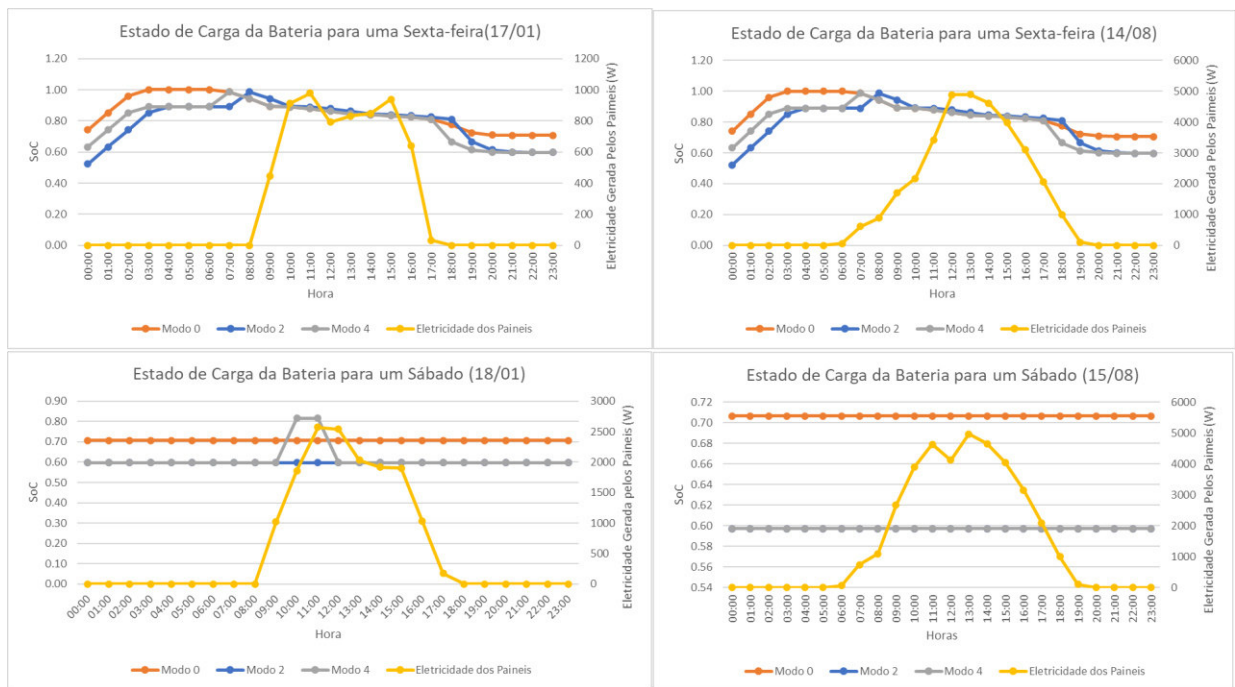


Figura 5.5 - Estado de Carga da Bateria do Veículo Elétrico, para o caso de Tarifa Simples

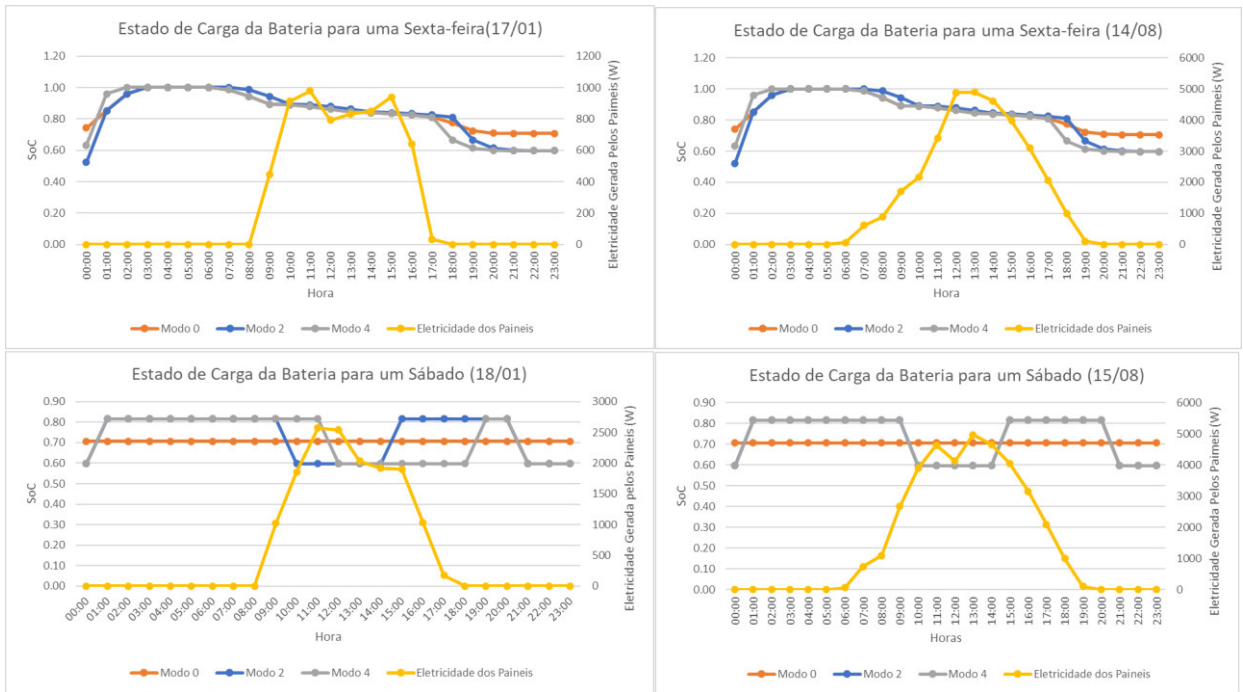


Figura 5.6 - Estado de Carga da Bateria do Veículo Elétrico, para o caso de Tarifa Bi-Horária

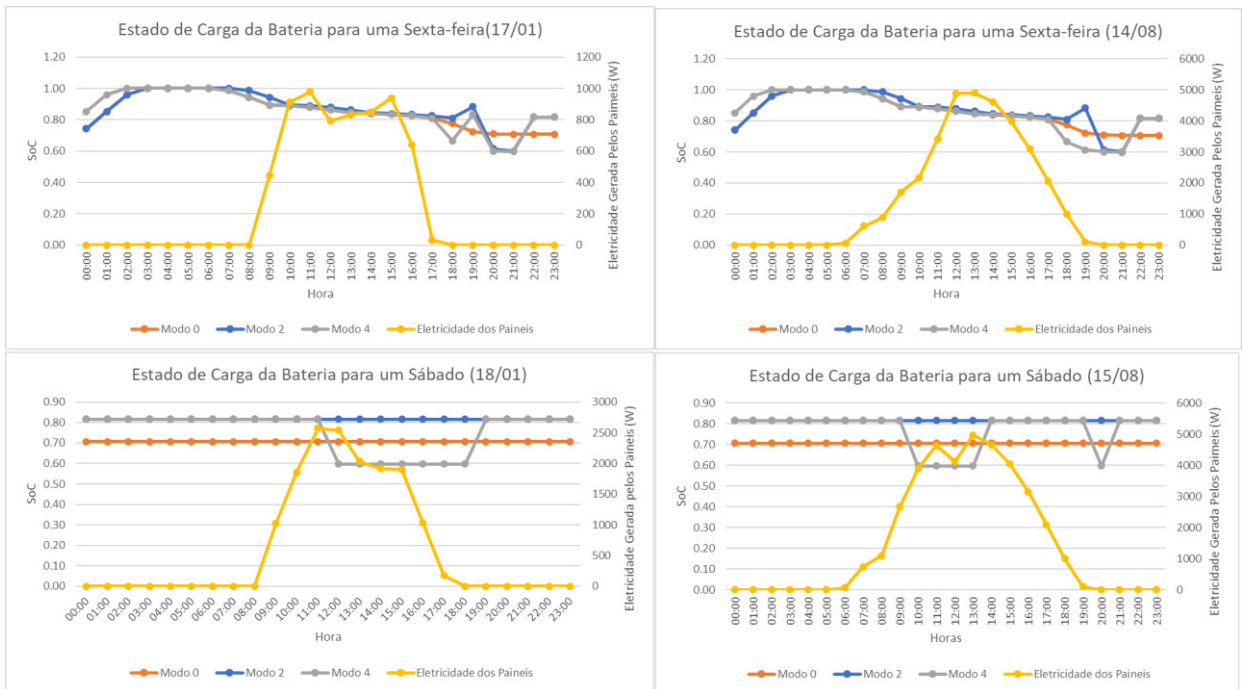


Figura 5.7 - Estado de Carga da Bateria do Veículo Elétrico, para o caso de Tarifa Tri-Horária

Todos os resultados expostos podem ainda ser interpretados de uma perspetiva económica, se forem aplicados os custos de consumo de energia, para cada tarifa energética considerada, segundo o regulamentado pela entidade competente [8]. Para esta amostra de resultados, foi

considerado que, sempre que existe excedente de energia devido à produção de energias renováveis, esta energia é injetada na rede de distribuição de energia a custo zero.

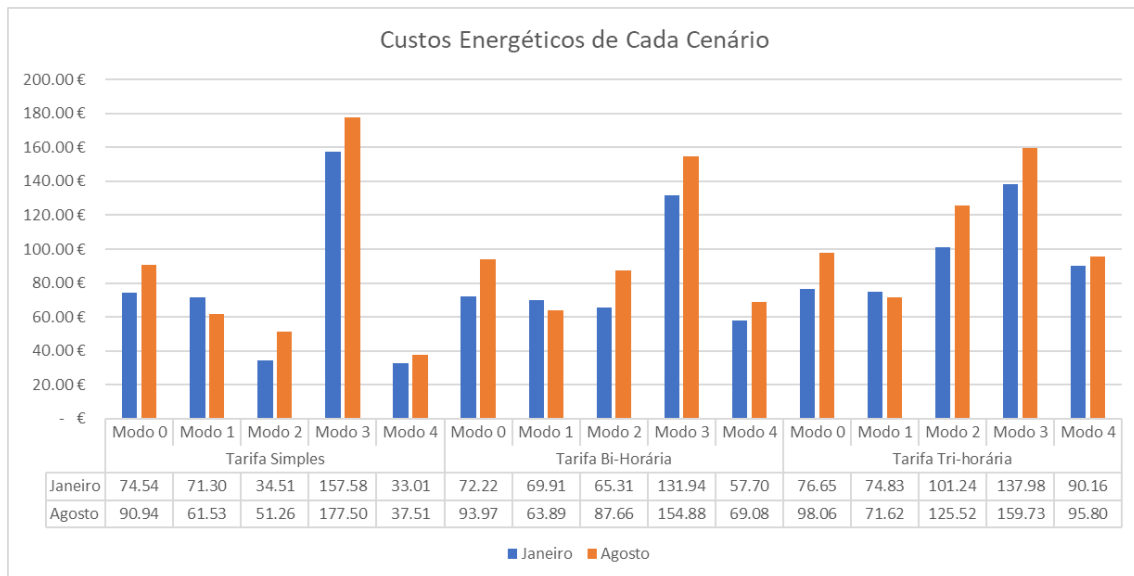


Figura 5.8 - Custos Energéticos de Cada Cenário

A partir da análise da Figura 5.8, constata-se que a aplicabilidade da ferramenta de gestão energética contribui, na sua maioria dos casos, no decréscimo do montante a pagar do uso de energia proveniente da rede, quando considerados os consumos provenientes da rede. Esta diferença, pode ainda ser consultada na Tabela 5.2, onde se constata as diferenças substanciais dos modos otimizados face ao cenário inicial:

Tabela 5.2 - Diferencial de Custos dos Vários Cenários Considerados

Tarifa Simples				
	Modo 1 (Uso Exclusivo Fotovoltaicos)	Modo 2 (Uso Exclusivo VE)	Modo 3 (VE como Carga)	Modo 4 (Uso Combinado)
Janeiro	-5%	-116%	53%	-126%
Agosto	-48%	-77%	49%	-142%
Tarifa Bi-Horária				
	Modo 1 (Uso Exclusivo Fotovoltaicos)	Modo 2 (Uso Exclusivo VE)	Modo 3 (VE como Carga)	Modo 4 (Uso Combinado)
Janeiro	-3%	-11%	45%	-25%
Agosto	-47%	-7%	39%	-36%
Tarifa Tri-horária				
	Modo 1 (Uso Exclusivo Fotovoltaicos)	Modo 2 (Uso Exclusivo VE)	Modo 3 (VE como Carga)	Modo 4 (Uso Combinado)
Janeiro	-2%	24%	44%	15%
Agosto	-37%	22%	39%	-2%

Finalmente, efetuou-se a análise do impacto da aplicação dos vários cenários presentes na habitação, na classificação energética da mesma, ao abrigo da legislação em vigor [7], de acordo com o especificado no capítulo 4.3 (Tabela 5.3):

Tabela 5.3 - Classificação Energética da Habitação, de acordo com os vários cenários de estudo

Tarifa Simples					
Mês	Modo 0 (Cenário Base)	Modo 1 (Uso Exclusivo Fotovoltaicos)	Modo 2 (Uso Exclusivo VE)	Modo 3 (VE como Carga)	Modo 4 (Uso Combinado)
Janeiro	A	A	A+	C	B-
Agosto	A	A	A+	B-	A
Tarifa Bi-horária					
Mês	Modo 0 (Cenário Base)	Modo 1 (Uso Exclusivo Fotovoltaicos)	Modo 2 (Uso Exclusivo VE)	Modo 3 (VE como Carga)	Modo 4 (Uso Combinado)
Janeiro	A	A	A	B-	A
Agosto	A	A	A	B-	A
Tarifa Tri-horária					
Mês	Modo 0 (Cenário Base)	Modo 1 (Uso Exclusivo Fotovoltaicos)	Modo 2 (Uso Exclusivo VE)	Modo 3 (VE como Carga)	Modo 4 (Uso Combinado)
Janeiro	A	A	A	B-	A+
Agosto	A	A	A	B-	A+

Na globalidade de todos os cenários em que é aplicada a ferramenta de gestão de energia, a classificação energética da habitação sobe um escalão, denotando que a eficiência da habitação aumenta. Este fenómeno é muito peculiar em caso de tarifa tri-horária, na qual tinham sido consideradas maiores necessidades energéticas e um maior custo a pagar pelo uso da energia proveniente da rede e, no entanto, é que regista uma maior diferença de classificação energética, face ao modelo original, em relação a todos os modelos usados na ferramenta de gestão energética. Ou seja, é onde a habitação se torna mais energeticamente eficiente, ao abrigo do estipulado pela legislação em vigor [60]. No entanto a tarifa simples, onde tinha sido registado o melhor consumo energético e os menores custos de utilização de energia da rede de distribuição, é a que regista, na sua generalidade, índices de eficiência energética piores, levando a que, nos casos mais extremos, a classificação atribuída à habitação seja inferior à regulamentada para edifícios nZEB. Isto deve-se ao facto de ainda ser desconhecido o comportamento do veículo elétrico em sistemas energéticos semelhantes ao modelado nesta dissertação, não havendo ainda documentação e legislação aplicada, para uma representação adequada do veículo elétrico e do seu impacto e contributo para a certificação energética de uma habitação.

Página deixada propositadamente em branco

6. Conclusões e Perspetivas Futuras de Trabalho

Neste trabalho foi efectuada a análise energética de uma habitação com necessidades energéticas quase nulas (*nZEB*), com a integração de um veículo elétrico e a utilização de *Micro-grids* e *Smart-grids* para obtenção de melhorias de consumo e eficiência energética, recorrendo ao desenvolvimento de uma ferramenta de simulação numérica de gestão de energia, que contabiliza o contributo de um veículo elétrico para as necessidades energéticas de um sistema e o seu impacto não só no objetivo mencionado, mas também na autossuficiência do sistema, do custo energético associado aos consumos elétricos registados na habitação e a classificação energética da mesma, ao abrigo da lei portuguesa.

Foram considerados cinco cenários neste trabalho: um cenário base, sem quaisquer medidas de otimização energética e sem contributo externo do sistema de renováveis e do veículo elétrico, considerando apenas os consumos internos da habitação; um cenário em que apenas foi considerado o contributo de um sistema de painéis fotovoltaicos; outro em que foi modelado um carregamento otimizado e eficiente do veículo elétrico e a sua conjugação na redução dos consumos energéticos da habitação; um terceiro que contempla o carregamento desmensurado do veículo elétrico, sem quaisquer medidas de otimização energética e quaisquer contributos por parte da central solar; e um último que engloba o sistema de produção de energia elétrica por fontes renováveis e o comportamento otimizado do veículo elétrico na habitação, com o propósito final da redução do consumo energético da moradia e melhoria da sua eficiência energética. Após análise de todos os cenários e resultados originados da aplicação da ferramenta de gestão de energia, é possível concluir com a realização desta dissertação que, contrariamente ao esperado, o impacto do uso do veículo elétrico numa habitação de necessidades praticamente nulas, seja o veículo utilizado como fonte de energia ou não, apenas é de relevada importância para casos particulares, nomeadamente, em situações onde a tarifa energética aplicada é muito menos complexa. Verifica-se também que, quanto mais simples é a tarifa, mais eficientes são os cenários de estudo face ao modelo base.

É possível ainda verificar que a aplicação do algoritmo de gestão energética é eficaz quando aplicado, a partir da análise dos cenários onde a mobilidade elétrica é a única variável em análise, registando-se um decréscimo das necessidades energéticas (XXX%) quando se compara o uso do veículo elétrico em cenários em que é considerado como uma fonte de energia para a habitação, e o cenário inverso.

Apesar disso, constata-se que relativamente à certificação energética, o contributo do veículo elétrico segue a tendência inversa para as tarifas consideradas. De facto, é possível verificar

classificações energéticas mais elevadas, de acordo com a legislação portuguesa para tarifas de maior complexidade, contrariando os dados de necessidades brutas de energia conseguidos. Tal se deve ao facto de existir falta de documentação, a nível de legislação, que caracterize o comportamento do veículo elétrico na habitação. Como este pode ser considerado como uma fonte de energia ou como um consumidor elétrico, é incerto se a sua contribuição pode beneficiar ou prejudicar a classificação energética de um edifício. Estas considerações podem ser fulcrais pois, segundo a Diretiva Europeia em vigor, qualquer novo edifício construído a partir de 31 de dezembro de 2020 terá de obedecer à metodologia nZEB. Como tal, a consideração do veículo elétrico nas necessidades energéticas de uma habitação pode chegar ao nível extremo de reduzir a classificação energética do mesmo ao ponto da moradia não ser considerada uma habitação de necessidades energéticas nulas, comprometendo a legislação em vigor e a aquisição de veículos de mobilidade elétrica, em última análise, comprometendo o problema atual de emissão de poluentes para a atmosfera.

Um dos desafios esperados para a continuação deste trabalho no futuro seria o aprofundamento da ferramenta de gestão, através da sua conceção em software de programação que facilmente possa ser aplicado num modelo físico, para testar a veracidade do algoritmo criado, em situações reais. Mais ainda, a realização de cenários mais distintos, como a aplicação em habitações mais antigas ou habitações recentemente remodeladas, que constituem a maior percentagem de edifícios construídos em Portugal, assim como testar vários tarifários energéticos (internacionais, tarifas energéticas de entidades abrangidas pelo mercado liberalizado), e também aplicar a ferramenta na gestão energética de um aglomerado residencial, composta por várias habitações e vários veículos elétricos, e com uma central de produção de energia elétrica renovável de maiores dimensões, de modo a analisar a sua exequibilidade em grandes complexos imobiliários, onde vários sistemas estão interligados entre si de forma a otimizar o consumo energético de um condomínio, um pouco à semelhança do que foi praticado neste trabalho, mas a uma escala macroscópica, de forma a analisar os mesmos resultados que foram tratados nesta dissertação, seria outro dos desafios a implementar em fase futura, de modo a contemplar várias soluções que possam ser moldadas para várias situações reais, a uma escala global.

Referências bibliográficas

- [1] Climate.gov, “Climate Change: Global Temperature,” 2020. [Online]. Disponível em : <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>. [Acedido a: 01-Oct-2020].
- [2] Climate.gov, “Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide,” 2020. [Online]. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>. [Acedido a: 01-Oct-2020].
- [3] C. Europeia, “Energia para o futuro: fontes de energia renováveis – Livro Branco para uma estratégia e um plano de ação comunitários,” no. 97, 1996.
- [4] Comissão das Comunidades Europeias, “Livro Verde: Estratégia europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura. COM(2006) 105,” no. COM(2006) 105 final, p. 23, 2006.
- [5] Direção Geral de Energia e Geologia, “Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética.” .
- [6] União Europeia, “Energy Flow Diagrams - Energy Eurostat,” 2020. [Online]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/energy-flow-diagrams>. [Acedido a: 01-Oct-2020].
- [7] ADENE, “Certificação Energética de Edifícios - Documentação,” 2019. [Online]. Disponível em: <https://www.sce.pt/documentacao/>. [Acedido a: 25-Nov-2021].
- [8] Diretiva n.º 3/2020, “Tarifas e preços para a energia elétrica e outros serviços em 2020,” *Diário da República*, 2.ª série, 17 fevereiro, 2020.
- [9] P. Europeu, P. Europeu, J. Oficial, J. Oficial, P. Europeu, and J. Oficial, “Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010 , relativa ao desempenho energético dos edifícios,” *J. Of. n.º L 153*, pp. 13–35, 2010.
- [10] Parlamento Europeu e do Conselho, “Directiva 2018/844 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 30 de maio de 2018 que altera a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE sobre a eficiência energética,” *J. Of. da União Eur.*, vol. L156, pp. 75–91, 2018.

- [11] I. Sartori, A. Napolitano, and K. Voss, "Net zero energy buildings: A consistent definition framework," *Energy Build.*, vol. 48, pp. 220–232, 2012.
- [12] Y. Lu, S. Wang, and K. Shan, "Design optimization and optimal control of grid-connected and standalone nearly/net zero energy buildings," *Appl. Energy*, vol. 155, pp. 463–477, 2015.
- [13] F. Ascione, M. Borrelli, R. F. De Masi, F. de Rossi, and G. P. Vanoli, "A framework for NZEB design in Mediterranean climate: Design, building and set-up monitoring of a lab-small villa," *Sol. Energy*, vol. 184, no. January 2019, pp. 11–29, 2019.
- [14] X. Zhang *et al.*, "A review of urban energy systems at building cluster level incorporating renewable-energy-source (RES) envelope solutions," *Appl. Energy*, vol. 230, no. August 2018, pp. 1034–1056, 2018.
- [15] T. Yang and A. K. Athienitis, "A review of research and developments of building-integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 66, pp. 886–912, 2016.
- [16] X. Zhang *et al.*, "Active Solar Thermal Facades (ASTFs): From concept, application to research questions," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 32–63, 2015.
- [17] A. A. F. Husain, W. Z. W. Hasan, S. Shafie, M. N. Hamidon, and S. S. Pandey, "A review of transparent solar photovoltaic technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 94, no. June, pp. 779–791, 2018.
- [18] D. Fischer and H. Madani, "On heat pumps in smart grids: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 70, no. May 2016, pp. 342–357, 2017.
- [19] Y. Yang, S. Bremner, C. Menictas, and M. Kay, "Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, no. June 2017, pp. 109–125, 2018.
- [20] D. S. Kourkoumpas, G. Benekos, N. Nikolopoulos, S. Karellas, P. Grammelis, and E. Kakaras, "A review of key environmental and energy performance indicators for the case of renewable energy systems when integrated with storage solutions," *Appl. Energy*, vol. 231, no. August, pp. 380–398, 2018.

- [21] M. A. Hannan, M. Faisal, P. Jern Ker, and F. Blaabjerg, "A Review of Internet of Energy Based Building Energy Management Systems: Issues and Recommendations - ResearchGate." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Application-of-BEMS-in-nZEB-117_fig3_326192534.
- [22] L. Yang, H. Yan, and J. C. Lam, "Thermal comfort and building energy consumption implications - A review," *Appl. Energy*, vol. 115, pp. 164–173, 2014.
- [23] J. W. Moon and S. H. Han, "Thermostat strategies impact on energy consumption in residential buildings," *Energy Build.*, vol. 43, no. 2–3, pp. 338–346, 2011.
- [24] K. J. McCartney and J. Fergus Nicol, "Developing an adaptive control algorithm for Europe," *Energy Build.*, vol. 34, no. 6, pp. 623–635, 2002.
- [25] M. A. Aktacir, O. Büyükalaca, H. Bulut, and T. Yilmaz, "Influence of different outdoor design conditions on design cooling load and design capacities of air conditioning equipments," *Energy Convers. Manag.*, vol. 49, no. 6, pp. 1766–1773, 2008.
- [26] L. Peeters, R. de Dear, J. Hensen, and W. D'haeseleer, "Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation," *Appl. Energy*, vol. 86, no. 5, pp. 772–780, 2009.
- [27] European Committee for Standardization, "EN 15251:2007 - Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics," *Management*, pp. 1–52, 2007.
- [28] International Standardization Organization, "ISO 7730:2005 - Ergonomics of The Thermal Environment. Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculations of the PMD and PPD indices and Local Thermal Comfort Criteria," 2005.
- [29] R. M. A. Humphreys, "Thermal Comfort Temperatures World-Wide - The Current Position," *Tetrahedron*, vol. 52, no. 44, pp. 13837–13866, 1996.
- [30] S. A. Al-Sanea and M. F. Zedan, "Optimized monthly-fixed thermostat-setting scheme for maximum energy-savings and thermal comfort in air-conditioned spaces," *Appl. Energy*, vol. 85, no. 5, pp. 326–346, 2008.

- [31] K. S. Cetin, L. Manuel, and A. Novoselac, “Effect of technology-enabled time-of-use energy pricing on thermal comfort and energy use in mechanically-conditioned residential buildings in cooling dominated climates,” *Build. Environ.*, vol. 96, pp. 118–130, 2016.
- [32] P. Rohdin, A. Molin, and B. Moshfegh, “Experiences from nine passive houses in Sweden - Indoor thermal environment and energy use,” *Build. Environ.*, vol. 71, pp. 176–185, 2014.
- [33] O. B. Kazanci and B. W. Olesen, “The Effects of Set-Points and Dead-Bands of the HVAC System on the Energy Consumption and Occupant Thermal Comfort,” *Climamed’13 - 7th Mediterr. Congr. Clim. Proc. B.*, no. October 2014, pp. 224–232, 2013.
- [34] J. Toftum, O. B. Kazanci, and B. W. Olesen, “Effect of set-point variation on thermal comfort and energy use in a plus-energy dwelling,” *Proc. - 9th Int. Wind. Conf. 2016 Mak. Comf. Relev.*, no. March, pp. 819–831, 2016.
- [35] A. Ghahramani, F. Jazizadeh, and B. Becerik-Gerber, “A knowledge based approach for selecting energy-aware and comfort-driven HVAC temperature set points,” *Energy Build.*, vol. 85, pp. 536–548, 2014.
- [36] J. T. Pinho and M. A. Galdino, *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. 2014.
- [37] NeoSolar, “Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica e Seus Componentes.” [Online]. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>.
- [38] J. Mendes, “Aplicação do conceito NZEB a uma habitação e a sua importância num sistema AVAC,” 2021.
- [39] S. H. Razavi, R. Ahmadi, and A. Zahedi, “Modeling, simulation and dynamic control of solar assisted ground source heat pump to provide heating load and DHW,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 129, pp. 127–144, 2018.
- [40] Portal de Energia, “Energia Geotérmica e o Calor da Terra,” 2019. [Online]. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/energia-geotermica-calor-da-terra/>.

- [41] S. A. Neves, A. C. Marques, and J. A. Fuinhas, "Is energy consumption in the transport sector hampering both economic growth and the reduction of CO₂ emissions? A disaggregated energy consumption analysis," *Transp. Policy*, vol. 59, pp. 64–70, Oct. 2017.
- [42] A. C. R. Teixeira and J. R. Sodr e, "Impacts of replacement of engine powered vehicles by electric vehicles on energy consumption and CO₂ emissions," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 59, pp. 375–384, 2018.
- [43] K. Palmer, J. E. Tate, Z. Wadud, and J. Nellthorp, "Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan," *Appl. Energy*, vol. 209, pp. 108–119, Jan. 2018.
- [44] W. Zhang, O. Gandhi, H. Quan, C. D. Rodr guez-Gallegos, and D. Srinivasan, "A multi-agent based integrated volt-var optimization engine for fast vehicle-to-grid reactive power dispatch and electric vehicle coordination," *Appl. Energy*, vol. 229, pp. 96–110, Nov. 2018.
- [45] X. Dong *et al.*, "A charging pricing strategy of electric vehicle fast charging stations for the voltage control of electricity distribution networks," *Appl. Energy*, vol. 225, pp. 857–868, Sep. 2018.
- [46] K. Liu, J. Wang, T. Yamamoto, and T. Morikawa, "Exploring the interactive effects of ambient temperature and vehicle auxiliary loads on electric vehicle energy consumption," *Appl. Energy*, vol. 227, pp. 324–331, Oct. 2018.
- [47] C. Liu, K. T. Chau, D. Wu, and S. Gao, "Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies," *Proc. IEEE*, vol. 101, no. 11, pp. 2409–2427, 2013.
- [48] C. Roselli and M. Sasso, "Integration between electric vehicle charging and PV system to increase self-consumption of an office application," *Energy Convers. Manag.*, vol. 130, pp. 130–140, 2016.
- [49] E. Doroudchi, K. Alanne,  . Okur, J. Kyyr , and M. Lehtonen, "Approaching net zero energy housing through integrated EV," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 38, no. August 2017, pp. 534–542, 2018.
- [50] M. E. El-Hawary, "The smart grid - State-of-the-art and future trends," *Electr. Power Components Syst.*, vol. 42, no. 3–4, pp. 239–250, 2014.

- [51] D. Kolokotsa, “The role of smart grids in the building sector,” *Energy Build.*, vol. 116, pp. 703–708, 2016.
- [52] P. Huang, M. Lovati, X. Zhang, and C. Bales, “A coordinated control to improve performance for a building cluster with energy storage, electric vehicles, and energy sharing considered,” *Appl. Energy*, vol. 268, no. February, p. 114983, 2020.
- [53] Wunderground, “Weather Conditions in Lisbon,” 2014. [Online]. Disponível em: <https://www.wunderground.com/weather/pt/lisbon>.
- [54] R. F. De Masi, A. Gigante, V. Festa, S. Ruggiero, and G. P. Vanoli, “Effect of HVAC ’ s Management on Indoor Thermo-Hygrometric Comfort and Energy Balance : In Situ Assessments on a Real nZEB,” 2021.
- [55] C. A. P. dos Santos and L. Matias, “LNEC - Informação Técnica de Edifícios 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios,” Lisboa, 2006.
- [56] M. Cunha, “Desenvolvimento de caso de estudo na Componente de Climatização num Gabinete de Engenharia,” ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018.
- [57] Carrier Corporation, “Hourly Analysis Program - Quick Refrence Guide.” 2016.
- [58] Ministério das Obras Públicas, “O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)-Decreto-Lei n.o 79/2006,” *Diário da República*, no. 4 de Abril, pp. 53 (2416-2468), 2006.
- [59] T. A. Reddy, J. F. Kreider, P. S. Curtiss, and A. Rabl, *Heating and Cooling of Buildings - Principles and Practice of Energy Efficient Design*. 2017.
- [60] Direção Geral de Energia e Geologia, “Manual Técnico para a Avaliação do desempenho Energético dos Edifícios,” *Despacho n.º 6476-H 1 julho*, 2021.
- [61] E. Comission, “Photovoltaic Geographical Information System,” 2019. .
- [62] G. Duarte, A. Silva, and P. Baptista, “Assessment of wireless charging impacts based on real-world driving patterns: Case study in Lisbon, Portugal,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 71, no. April, 2021.
- [63] A. Cordeiro, “Quantificação de elegibilidade e potencial utilização de tecnologias alternativas na mobilidade urbana Engenharia Mecânica,” 2019.

- [64] N. Henriques, “Sistemas Electromecânicos - Cálculo das Correntes de Serviço das Canalizações Eléctricas - Mestrado de Engenharia Mecânica, Ramo de Energia, Refrigeração e Climatização, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.” 2020.
- [65] Comissão Técnica da Normalização Eletrotécnica and Direção Geral de Energia e Geologia, “Guia Técnico das Instalações Elétricas para Alimentação de Veículos Elétricos,” 2017.
- [66] Diário da República and E. R. dos S. Energéticos, “Regulamento n.º 1129/2020,” 2020.
- [67] J. Monteiro, “Sistemas Electromecânicos Condições Contratuais para o Fornecimento de Energia Elétrica - Mestrado em Engenharia Mecânica, Ramo de Energias, Refrigeração e Climatização, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa,” 2020.
- [68] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, “Períodos Horários na Energia Elétrica em Portugal,” 2020.
- [69] Y. Zou, J. Zhao, X. Gao, Y. Chen, and A. Tohidi, “Experimental results of electric vehicles effects on low voltage grids,” *J. Clean. Prod.*, vol. 255, p. 120270, 2020.
- [70] Diário da República, “Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013,” *Diário da República*, vol. 2.ª série, no. 234, pp. 26–31, 2013.
- [71] Diário da República, “Decreto-Lei n.º 118/2013, DE 20 DE agosto (desempenho energético dos edifícios),” *Diário da República*, vol. 159, pp. 4988–5005, 2013.
- [72] Portaria nº 42/2019, “Portaria nº42/2019,” *Diário da República*, 1.ª série — N.º 21 — 30 janeiro 2019, pp. 771–772, 2019.

Página deixada propositadamente em branco

Anexos

Anexo 1 – Características Técnicas dos Equipamentos Elétricos

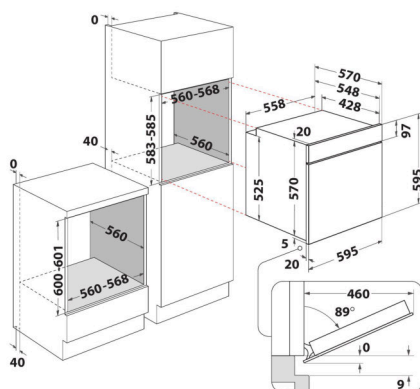
Anexo 1.1 – Características Técnicas do Forno

IFW 3844 H IX

12NC: F102740

Código EAN: 8050147027400

INDESIT
Life proof.



DANE OGÓLNE

Grupo de produto	Forno
Código comercial	IFW 3844 H IX
Cor principal do produto	Inox
Tipo de construção	Encastre
Tipo de controlo	Electrónicos
Tipo de definição de controlo e de indicadores	-
Estão integrados alguns controlos de planos de cozedura?	Não
Que tipo de hobs pode ser controlado?	-
Programas automáticos	Sim
Corrente	13
Voltagem	220-240
Frequência	50/60
Comprimento do cabo de alimentação eléctrica	100
Tipo de ficha	Não
Profundidade com porta aberta a 90 graus	-
Altura do produto	595
Largura do produto	595
Profundidade	551
Altura mínima de instalação	0
Largura mínima de instalação	0
Profundidade de instalação	0
Peso líquido	26.9
Volume útil (da cavidade)	71
Sistema integrado para ajudar à limpeza	Hidrolítico
Grelhas	2
Tabuleiros	1

DETALHES TÉCNICOS

Temporizador electrónico	-
Controlo do tempo	Electrónicos
Opções de regulação do tempo	Paragem
Dispositivo de segurança	-
Luz interior do tambor	Sim
Quantidade de luzes interiores	1
Posição das luzes interiores	Front left
Guias do forno	Grelhas
Sonda	Não

PERFORMANCES

Entrada de energia	Eléctrica
Tipo de energia	Electricidade
Classe de Eficiência Energética - NOVO (2010/30/EU)	A+
Consumo de energia por ciclo convencional - NOVO (2010/30/CE)	0.89
Consumo de energia por ciclo de convecção de ar forçado - NOVO (2010/30/CE)	0.69

Anexo 1.2 – Características Técnicas do Frigorífico

Product information sheet

in accordance with Regulation EU_2019_2016

1. Supplier's name or trade mark		LG Electronics			
2. Supplier's address		Krijgsman 1, 1186 DM Amstelveen, Netherlands			
3. Model identifier		GBB92STBAP			
4.Type of refrigerating appliance					
5. Low-noise appliance		55. no		6. Design type	
7. Wine storage appliance		no		8. Other refrigerating appliance	
				56. free standing	
				yes	
9.General product parameters					
10.Parameter		11.Value		Parameter	
				Value	
12.Overall dimensions(millimetre)	13.Height	2 030		16. Total volume (dm ³ or l)	384
	14.Width	595			
	15.Depth	675			
17. EEI		41		18. Energy efficiency class	
19. Airborne acoustical noise emissions (dB(A) re 1 pW)		35		20. Airborne acoustical noise emission class	
21. Annual energy consumption (kWh/a)		110		22. Climate class	
				SN-T	
23. Minimum ambient temperature (°C), for which the refrigerating appliance is suitable		10		24. Maximum ambient temperature (°C), for which the refrigerating appliance is suitable	
				43	
25. Winter setting		no			
26. Compartment Parameters					
26.Compartment type		28.Compartment parameters and values			
		29.Compartment Volume(dm ³ or l)	30.Recommended temperature setting for optimised food storage (°C)These settings shall not contradict the storage conditions set out in Annex IV, Table 3	31.Freezing capacity(kg/24 h)	32.Defrosting type(auto-defrost = A, manual defrost = M)
33. Pantry		no	-	-	-
34. Wine storage		no	-	-	-
35. Cellar		no	-	-	-
36. Fresh Food		yes	233,0	4	A
37. Chill		yes	44,0	2	A
38. 0-star or ice-making		no	-	-	-
39. 1-star		no	-	-	-
40. 2-star		no	-	-	-
41. 3-star		no	-	-	-
42. 4-star		yes	107,0	-18	12,0
43. 2-star section		no	-	-	-
44.Variable temperature compartment		no	-	-	-
45.For 4-star compartments					
46.Fast freeze facility		yes			
47.For wine storage appliances					
48. Number of standard wine bottles		-			
49.Light source parameters					
50. Type of light source		LED			
51. Energy efficiency class		G			
52. Minimum duration of the guarantee offered by the manufacturer		24 month			
53. Additional information		The complete list of equivalent models can be found in the EPREL compliance database, under the equivalent model tab,			
54. Weblink to the manufacturer's website, where the information in point 4(a) Annex of Commission Regulation (EU) 2019/2019 is found:		https://www.lg.com/global/ajax/common_manual			

Apêndices

Apêndice 1 – *Systems Design Report do Hourly Analysis Program*

Air System Sizing Summary for Sistema VRF

Project Name: Tese
Prepared by: ACET

01/23/2022
05:44

Air System Information

Air System Name **Sistema VRF**
Equipment Class **TERM**
Air System Type **VRF**

Number of zones **1**
Floor Area **70,0** m²
Location **Lisbon, Portugal**

Sizing Calculation Information

Calculation Months **Jan to Dec**
Sizing Data **Calculated**

Zone L/s Sizing **Sum of space airflow rates**
Space L/s Sizing **Individual peak space loads**

Zone Sizing Summary for Sistema VRF

Project Name: Tese
Prepared by: ACET

01/23/2022
05:44

Air System Information

Air System Name **Sistema VRF**
Equipment Class **TERM**
Air System Type **VRF**

Number of zones **1**
Floor Area **70,0** m²
Location **Lisbon, Portugal**

Sizing Calculation Information

Calculation Months **Jan to Dec**
Sizing Data **Calculated**

Zone L/s Sizing **Sum of space airflow rates**
Space L/s Sizing **Individual peak space loads**

Zone Sizing Data

Zone Name	Maximum Cooling Sensible (kW)	Design Airflow (L/s)	Minimum Airflow (L/s)	Time of Peak Load	Maximum Heating Load (kW)	Zone Floor Area (m ²)	Zone L/(s-m ²)
Habitação	3,0	312	292	Jul 1800	1,0	70,0	4,45

Terminal Unit Sizing Data - Cooling

Zone Name	Total Coil Load (kW)	Sens Coil Load (kW)	Coil Entering DB / WB (°C)	Coil Leaving DB / WB (°C)	Water Flow @ 5,0 °K (L/s)	Time of Peak Load
Habitação	9,9	6,7	32,2 / 21,9	13,7 / 12,8	-	Aug 1700

Terminal Unit Sizing Data - Heating, Fan, Ventilation

Zone Name	Heating Coil Load (kW)	Heating Coil Ent/Lvg DB (°C)	Htg Coil Water Flow @10,0 °K (L/s)	Fan Design Airflow (L/s)	Fan Motor (BHP)	Fan Motor (kW)	OA Vent Design Airflow (L/s)
Habitação	6,8	3,2 / 22,0	-	312	0,000	0,000	312

Space Loads and Airflows

Zone Name / Space Name	Mult.	Cooling Sensible (kW)	Time of Load	Air Flow (L/s)	Heating Load (kW)	Floor Area (m ²)	Space L/(s-m ²)
Habitação							
Habitação	1	3,0	Jul 1800	312	1,0	70,0	4,45

Air System Design Load Summary for Sistema VRF

Project Name: Tese
Prepared by: ACET

01/23/2022
05:44

	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Aug 1700			HEATING DATA AT DES HTG		
	COOLING OA DB / WB 32,2 °C / 21,9 °C			HEATING OA DB / WB 3,2 °C / 2,5 °C		
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	14 m ²	1658	-	14 m ²	-	-
Wall Transmission	102 m ²	178	-	102 m ²	294	-
Roof Transmission	82 m ²	357	-	82 m ²	318	-
Window Transmission	14 m ²	134	-	14 m ²	231	-
Skylight Transmission	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Door Loads	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Floor Transmission	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Partitions	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Ceiling	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Overhead Lighting	0 W	26	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	133 W	139	-	0	0	-
People	0	85	0	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	5% / 5%	129	0	15%	126	0
>> Total Zone Loads	-	2707	0	-	969	0
Zone Conditioning	-	3187	0	-	928	0
Plenum Wall Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Roof Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Lighting Load	0%	0	-	0	0	-
Exhaust Fan Load	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Ventilation Load	312 L/s	3451	3236	312 L/s	5772	0
Ventilation Fan Load	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Space Fan Coil Fans	-	0	-	-	0	-
Duct Heat Gain / Loss	0%	0	-	0%	0	-
>> Total System Loads	-	6638	3236	-	6701	0
Terminal Unit Cooling	-	6671	3236	-	0	0
Terminal Unit Heating	-	0	-	-	6764	-
>> Total Conditioning	-	6671	3236	-	6764	0
Key:	Positive values are clg loads Negative values are htg loads			Positive values are htg loads Negative values are clg loads		

Hourly Zone Loads for Sistema VRF

Project Name: Tese
Prepared by: ACET

01/23/2022
05:44

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: JANUARY									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	18,1	21,9	62	311,7	1316,8	1631,5	312,4	0,0	0,0
0100	17,5	21,9	62	311,7	1267,3	1527,3	0,0	0,0	0,0
0200	17,0	21,7	63	311,7	1220,1	1626,1	0,0	0,0	0,0
0300	16,5	21,4	63	311,7	1175,7	1687,2	0,0	0,0	0,0
0400	16,2	21,2	64	311,7	1133,9	1720,4	0,0	0,0	0,0
0500	16,1	21,1	65	311,7	1095,6	1702,1	0,0	0,0	0,0
0600	16,3	21,1	65	311,7	1061,7	1611,6	0,0	0,0	0,0
0700	16,9	21,2	64	311,7	1116,0	1481,4	0,0	0,0	0,0
0800	17,9	21,6	63	311,7	1281,9	1296,8	0,0	0,0	0,0
0900	19,3	23,1	48	24,2	1462,8	311,7	299,7	0,0	0,0
1000	21,0	23,2	47	42,0	1589,8	545,9	613,1	0,0	0,0
1100	22,9	23,3	46	57,0	1732,1	746,6	975,3	0,0	0,0
1200	24,7	23,4	45	68,8	1827,8	905,7	1338,4	0,0	0,0
1300	26,0	23,5	45	80,7	1938,3	1069,1	1713,0	0,0	0,0
1400	26,9	23,5	44	91,7	2042,3	1222,0	2055,2	0,0	0,0
1500	27,3	23,6	44	98,2	2070,4	1312,7	2243,7	0,0	0,0
1600	26,9	23,6	44	96,5	1956,5	1289,4	2163,1	0,0	0,0
1700	26,2	22,1	59	311,7	1570,5	2113,3	3641,1	0,0	0,0
1800	24,9	22,2	61	311,7	1958,6	2309,6	3361,4	0,0	0,0
1900	23,5	22,1	61	311,7	1894,0	2224,9	2766,5	0,0	0,0
2000	22,0	22,1	61	311,7	1834,7	2145,7	2177,9	0,0	0,0
2100	20,8	22,0	61	311,7	1782,1	2068,1	1667,0	0,0	0,0
2200	19,7	22,0	61	311,7	1734,8	2004,3	1213,4	0,0	0,0
2300	18,8	22,0	61	311,7	1692,8	1936,7	830,2	0,0	0,0

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: FEBRUARY									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	19,2	21,8	64	311,7	1271,4	1648,3	776,4	0,0	0,0
0100	18,6	21,8	63	311,7	1229,3	1513,6	417,8	0,0	0,0
0200	18,1	21,9	63	311,7	1188,9	1401,0	82,1	0,0	0,0
0300	17,6	21,7	64	311,7	1151,1	1427,5	0,0	0,0	0,0
0400	17,3	21,6	64	311,7	1115,3	1476,1	0,0	0,0	0,0
0500	17,2	21,5	65	311,7	1082,6	1470,8	0,0	0,0	0,0
0600	17,4	21,5	65	311,7	1053,9	1391,0	0,0	0,0	0,0
0700	18,0	21,6	64	311,7	1113,1	1268,4	0,0	0,0	0,0
0800	19,0	21,7	64	311,7	1351,3	1424,5	492,1	0,0	0,0
0900	20,4	23,1	47	27,2	1397,5	350,9	395,5	0,0	0,0
1000	22,1	23,2	47	40,0	1453,9	519,7	669,9	0,0	0,0
1100	24,0	23,3	46	51,6	1549,4	673,8	993,1	0,0	0,0
1200	25,8	23,3	45	60,6	1609,4	795,0	1309,3	0,0	0,0
1300	27,2	23,4	45	70,0	1685,4	921,7	1634,6	0,0	0,0
1400	28,1	23,4	44	79,1	1766,7	1047,1	1941,7	0,0	0,0
1500	28,4	23,5	44	85,3	1800,7	1132,4	2131,0	0,0	0,0
1600	28,1	23,5	44	86,8	1757,2	1153,7	2131,0	0,0	0,0
1700	27,3	22,1	60	311,7	1588,0	2136,7	4062,5	0,0	0,0
1800	26,0	22,1	62	311,7	1858,6	2240,1	3700,3	0,0	0,0
1900	24,6	22,1	62	311,7	1804,7	2173,1	3130,1	0,0	0,0
2000	23,1	22,1	62	311,7	1755,3	2080,1	2516,7	0,0	0,0
2100	21,9	22,0	63	311,7	1712,0	2030,1	2045,1	0,0	0,0
2200	20,8	22,0	63	311,7	1673,3	1942,2	1550,8	0,0	0,0
2300	19,9	22,0	63	311,7	1639,6	1851,0	1124,9	0,0	0,0

Hourly Zone Loads for Sistema VRF

Project Name: Tese
Prepared by: ACET

01/23/2022
05:44

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: MARCH									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	20,9	22,0	70	311,7	1612,1	1985,6	1798,6	0,0	0,0
0100	20,3	22,0	71	311,7	1562,6	1858,9	1309,4	0,0	0,0
0200	19,8	22,0	71	311,7	1515,0	1740,5	970,7	0,0	0,0
0300	19,3	21,9	71	311,7	1469,8	1726,0	830,0	0,0	0,0
0400	19,0	21,9	72	311,7	1426,7	1673,6	672,4	0,0	0,0
0500	18,9	21,9	71	311,7	1386,6	1570,0	511,5	0,0	0,0
0600	19,1	21,8	72	311,7	1350,4	1562,9	616,3	0,0	0,0
0700	19,6	21,8	72	311,7	1573,8	1779,1	1058,3	0,0	0,0
0800	20,6	21,9	71	311,7	1787,3	1869,7	1466,0	0,0	0,0
0900	22,1	23,3	47	61,3	1827,5	803,7	1252,3	0,0	0,0
1000	23,8	23,4	46	73,6	1887,8	971,8	1666,1	0,0	0,0
1100	25,7	23,5	46	84,4	1980,1	1120,8	2122,3	0,0	0,0
1200	27,5	23,5	45	92,7	2034,6	1235,3	2547,5	0,0	0,0
1300	28,8	23,6	45	102,1	2121,1	1367,3	2986,7	0,0	0,0
1400	29,7	23,6	44	111,3	2212,2	1498,4	3388,6	0,0	0,0
1500	30,1	23,7	44	117,3	2247,5	1583,2	3621,2	0,0	0,0
1600	29,7	23,7	44	118,6	2203,1	1602,5	3610,3	0,0	0,0
1700	28,9	22,3	58	311,7	2066,2	2590,7	6513,2	0,0	0,0
1800	27,7	22,3	60	311,7	2270,6	2704,0	6342,3	0,0	0,0
1900	26,2	22,2	61	311,7	2191,4	2580,7	5433,0	0,0	0,0
2000	24,8	22,3	64	311,7	2130,7	2420,4	4317,8	0,0	0,0
2100	23,6	22,2	65	311,7	2077,4	2362,0	3693,7	0,0	0,0
2200	22,4	22,3	67	311,7	2029,8	2239,8	2827,8	0,0	0,0
2300	21,5	22,2	67	311,7	1987,9	2231,1	2531,1	0,0	0,0

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: APRIL									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	21,4	22,1	69	311,7	1752,0	2062,9	1995,8	0,0	0,0
0100	20,9	22,1	70	311,7	1702,9	2005,0	1651,7	0,0	0,0
0200	20,3	22,1	70	311,7	1655,5	1880,2	1280,2	0,0	0,0
0300	19,9	22,0	70	311,7	1610,1	1870,6	1147,8	0,0	0,0
0400	19,5	22,0	71	311,7	1566,4	1817,8	990,9	0,0	0,0
0500	19,4	22,0	70	311,7	1525,2	1711,4	827,0	0,0	0,0
0600	19,6	21,9	71	311,7	1588,2	1782,2	1001,5	0,0	0,0
0700	20,2	22,0	70	311,7	1852,4	1971,1	1375,2	0,0	0,0
0800	21,2	22,0	69	311,7	1996,8	2058,9	1970,6	0,0	0,0
0900	22,7	23,4	47	74,8	1998,1	988,2	1562,9	0,0	0,0
1000	24,3	23,5	46	85,3	2030,4	1132,4	1969,9	0,0	0,0
1100	26,2	23,5	45	94,4	2097,1	1259,8	2417,6	0,0	0,0
1200	28,0	23,6	45	101,6	2136,8	1360,4	2840,6	0,0	0,0
1300	29,4	23,6	44	110,4	2217,0	1485,1	3282,2	0,0	0,0
1400	30,3	23,7	44	118,6	2293,9	1603,0	3664,3	0,0	0,0
1500	30,6	23,7	44	123,6	2314,4	1674,1	3871,3	0,0	0,0
1600	30,3	23,7	44	124,9	2273,2	1693,1	3857,7	0,0	0,0
1700	29,5	22,4	57	311,7	2188,1	2711,9	6916,7	0,0	0,0
1800	28,3	22,4	58	311,7	2504,9	2854,4	6694,3	0,0	0,0
1900	26,8	22,4	60	311,7	2329,2	2664,0	5635,6	0,0	0,0
2000	25,3	22,3	62	311,7	2268,4	2582,1	4851,5	0,0	0,0
2100	24,1	22,4	64	311,7	2215,5	2450,0	3924,3	0,0	0,0
2200	23,0	22,3	64	311,7	2168,4	2435,2	3518,3	0,0	0,0
2300	22,1	22,2	65	311,7	2127,2	2381,9	3048,2	0,0	0,0

Hourly Zone Loads for Sistema VRF

Project Name: Tese
Prepared by: ACET

01/23/2022
05:44

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: MAY									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	22,4	22,2	68	311,7	1856,8	2160,4	2952,5	0,0	0,0
0100	21,9	22,1	69	311,7	1809,1	2103,8	2613,1	0,0	0,0
0200	21,3	22,1	70	311,7	1762,9	1981,7	1967,0	0,0	0,0
0300	20,9	22,1	71	311,7	1718,5	1972,0	1856,1	0,0	0,0
0400	20,5	22,0	71	311,7	1675,4	1919,8	1609,6	0,0	0,0
0500	20,4	22,0	72	311,7	1634,5	1814,8	1280,2	0,0	0,0
0600	20,7	22,0	70	311,7	1831,6	2004,1	1904,2	0,0	0,0
0700	21,2	22,1	68	311,7	2058,0	2148,3	2484,1	0,0	0,0
0800	22,2	22,0	67	311,7	2158,2	2260,7	3285,5	0,0	0,0
0900	23,7	23,5	47	82,9	2114,5	1099,8	1921,6	0,0	0,0
1000	25,4	23,5	46	91,5	2111,6	1219,0	2322,5	0,0	0,0
1100	27,3	23,6	45	99,1	2152,7	1326,1	2764,9	0,0	0,0
1200	29,1	23,6	45	105,3	2175,5	1412,6	3184,1	0,0	0,0
1300	30,4	23,7	44	113,1	2239,1	1523,3	3619,8	0,0	0,0
1400	31,3	23,7	44	120,5	2302,7	1629,3	3995,1	0,0	0,0
1500	31,6	23,7	44	125,4	2325,2	1700,0	4212,7	0,0	0,0
1600	31,3	23,7	44	128,1	2313,7	1739,9	4249,1	0,0	0,0
1700	30,5	22,4	56	311,7	2288,4	2798,8	7806,6	0,0	0,0
1800	29,3	22,5	56	311,7	2675,2	2998,8	7714,8	0,0	0,0
1900	27,8	22,4	59	311,7	2427,8	2751,8	6534,7	0,0	0,0
2000	26,4	22,4	61	311,7	2367,2	2672,8	5765,6	0,0	0,0
2100	25,1	22,4	63	311,7	2315,8	2543,0	4851,6	0,0	0,0
2200	24,0	22,3	63	311,7	2270,2	2529,8	4449,9	0,0	0,0
2300	23,1	22,3	64	311,7	2230,5	2478,0	3979,0	0,0	0,0

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: JUNE									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	23,6	22,2	66	311,7	1989,3	2290,1	4545,0	0,0	0,0
0100	23,0	22,2	67	311,7	1939,8	2232,1	4205,1	0,0	0,0
0200	22,4	22,2	69	311,7	1891,8	2107,8	3560,5	0,0	0,0
0300	22,0	22,1	69	311,7	1845,7	2097,4	3449,3	0,0	0,0
0400	21,7	22,1	70	311,7	1801,0	2043,9	3202,7	0,0	0,0
0500	21,5	22,1	71	311,7	1762,8	1942,0	2815,4	0,0	0,0
0600	21,8	22,1	69	311,7	1988,7	2138,8	3490,9	0,0	0,0
0700	22,3	22,2	67	311,7	2217,7	2296,9	4115,1	0,0	0,0
0800	23,3	22,1	65	311,7	2313,8	2403,1	4886,3	0,0	0,0
0900	24,8	23,5	47	93,1	2250,4	1240,8	2539,3	0,0	0,0
1000	26,5	23,6	46	100,8	2235,0	1349,1	2972,5	0,0	0,0
1100	28,4	23,6	45	107,8	2267,2	1448,6	3449,7	0,0	0,0
1200	30,2	23,7	45	113,3	2280,4	1526,8	3892,5	0,0	0,0
1300	31,5	23,7	44	120,4	2333,2	1628,0	4345,1	0,0	0,0
1400	32,4	23,7	44	127,6	2397,0	1732,9	4756,9	0,0	0,0
1500	32,7	23,8	44	132,9	2428,0	1808,9	5010,1	0,0	0,0
1600	32,4	23,8	44	136,6	2436,7	1863,2	5090,3	0,0	0,0
1700	31,6	22,5	55	311,7	2431,8	2930,6	9359,2	0,0	0,0
1800	30,4	22,6	55	311,7	2848,8	3156,9	9319,5	0,0	0,0
1900	28,9	22,5	58	311,7	2621,3	2925,6	8186,0	0,0	0,0
2000	27,5	22,5	59	311,7	2509,7	2807,2	7333,5	0,0	0,0
2100	26,2	22,5	61	311,7	2455,3	2672,3	6411,6	0,0	0,0
2200	25,1	22,4	62	311,7	2407,1	2662,0	6026,0	0,0	0,0
2300	24,2	22,4	63	311,7	2365,0	2609,2	5558,1	0,0	0,0

Hourly Zone Loads for Sistema VRF

Project Name: Tese
Prepared by: ACET

01/23/2022
05:44

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: JULY									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	24,1	22,2	64	311,7	2126,4	2493,5	5174,1	0,0	0,0
0100	23,6	22,2	65	311,7	2072,3	2365,3	4562,7	0,0	0,0
0200	23,0	22,3	67	311,7	2019,9	2241,8	3940,0	0,0	0,0
0300	22,5	22,2	67	311,7	1969,6	2220,9	3790,1	0,0	0,0
0400	22,2	22,1	68	311,7	1920,6	2162,9	3532,2	0,0	0,0
0500	22,1	22,2	70	311,7	1874,0	2050,5	3116,6	0,0	0,0
0600	22,3	22,1	67	311,7	2059,9	2242,8	3826,2	0,0	0,0
0700	22,9	22,2	65	311,7	2323,2	2407,6	4429,8	0,0	0,0
0800	23,9	22,3	64	311,7	2441,0	2472,6	4976,5	0,0	0,0
0900	25,3	23,6	46	104,0	2406,4	1394,6	2852,7	0,0	0,0
1000	27,0	23,6	45	112,9	2417,4	1521,3	3346,8	0,0	0,0
1100	28,9	23,7	45	121,0	2471,0	1637,6	3890,3	0,0	0,0
1200	30,7	23,7	44	127,1	2494,4	1724,7	4383,9	0,0	0,0
1300	32,1	23,8	44	134,7	2558,2	1835,5	4880,7	0,0	0,0
1400	33,0	23,8	43	142,5	2633,3	1950,3	5331,2	0,0	0,0
1500	33,3	23,9	43	147,9	2667,5	2030,2	5598,5	0,0	0,0
1600	33,0	23,9	43	151,0	2661,5	2074,7	5646,1	0,0	0,0
1700	32,2	22,6	53	311,7	2640,4	3121,4	9780,0	0,0	0,0
1800	30,9	22,7	53	311,7	3036,0	3334,3	9708,6	0,0	0,0
1900	29,5	22,6	56	311,7	2767,2	3072,2	8524,6	0,0	0,0
2000	28,0	22,5	58	311,7	2669,2	2965,7	7708,2	0,0	0,0
2100	26,8	22,5	59	311,7	2608,4	2887,7	7039,8	0,0	0,0
2200	25,7	22,5	61	311,7	2554,4	2758,8	6188,2	0,0	0,0
2300	24,8	22,4	61	311,7	2507,1	2744,9	5878,5	0,0	0,0

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: AUGUST									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	24,1	22,2	64	311,7	2140,3	2515,5	5223,1	0,0	0,0
0100	23,6	22,2	65	311,7	2082,1	2384,1	4606,9	0,0	0,0
0200	23,0	22,3	67	311,7	2025,8	2255,2	3969,5	0,0	0,0
0300	22,5	22,2	67	311,7	1971,8	2231,0	3812,2	0,0	0,0
0400	22,2	22,1	68	311,7	1919,6	2169,9	3547,4	0,0	0,0
0500	22,1	22,2	70	311,7	1870,2	2052,4	3115,3	0,0	0,0
0600	22,3	22,1	69	311,7	1920,9	2116,8	3468,7	0,0	0,0
0700	22,9	22,2	66	311,7	2230,8	2341,6	4274,1	0,0	0,0
0800	23,9	22,2	64	311,7	2403,6	2450,2	4932,0	0,0	0,0
0900	25,3	23,6	46	105,6	2433,8	1416,6	2895,3	0,0	0,0
1000	27,0	23,7	45	117,1	2493,4	1581,0	3470,4	0,0	0,0
1100	28,9	23,7	45	127,0	2579,1	1723,3	4081,0	0,0	0,0
1200	30,7	23,8	44	134,4	2627,9	1831,8	4638,1	0,0	0,0
1300	32,1	23,8	44	143,7	2720,7	1967,0	5205,5	0,0	0,0
1400	33,0	23,9	43	152,6	2815,5	2099,6	5708,6	0,0	0,0
1500	33,3	23,9	43	158,0	2845,7	2179,5	5978,3	0,0	0,0
1600	33,0	23,9	43	159,3	2803,0	2199,0	5957,6	0,0	0,0
1700	32,2	22,6	52	311,7	2706,7	3187,1	9906,7	0,0	0,0
1800	30,9	22,7	53	311,7	3001,1	3320,4	9669,7	0,0	0,0
1900	29,5	22,6	56	311,7	2775,7	3094,4	8570,8	0,0	0,0
2000	28,0	22,6	57	311,7	2700,9	3003,9	7788,5	0,0	0,0
2100	26,8	22,5	59	311,7	2635,4	2920,5	7107,3	0,0	0,0
2200	25,7	22,5	60	311,7	2576,9	2785,2	6238,4	0,0	0,0
2300	24,8	22,5	61	311,7	2525,2	2769,4	5928,7	0,0	0,0

Hourly Zone Loads for Sistema VRF

Project Name: Tese
Prepared by: ACET

01/23/2022
05:44

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: SEPTEMBER									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	23,0	22,1	65	311,7	2002,3	2405,0	4257,6	0,0	0,0
0100	22,4	22,2	67	311,7	1941,0	2241,1	3501,0	0,0	0,0
0200	21,9	22,1	68	311,7	1882,1	2174,4	3127,9	0,0	0,0
0300	21,4	22,2	70	311,7	1825,9	2041,5	2500,7	0,0	0,0
0400	21,1	22,1	70	311,7	1772,0	2026,6	2429,3	0,0	0,0
0500	21,0	22,0	71	311,7	1721,5	1969,0	2268,1	0,0	0,0
0600	21,2	22,1	72	311,7	1675,2	1856,1	1985,1	0,0	0,0
0700	21,8	22,0	68	311,7	2001,3	2169,9	3178,5	0,0	0,0
0800	22,8	22,2	66	311,7	2266,7	2323,9	3922,5	0,0	0,0
0900	24,2	23,6	46	98,4	2351,6	1315,3	2463,4	0,0	0,0
1000	25,9	23,6	46	111,7	2439,7	1504,2	3044,3	0,0	0,0
1100	27,8	23,7	45	122,8	2543,1	1662,5	3652,6	0,0	0,0
1200	29,6	23,8	44	131,8	2618,6	1793,8	4233,2	0,0	0,0
1300	31,0	23,8	44	142,9	2742,9	1955,8	4837,8	0,0	0,0
1400	31,9	23,9	43	152,6	2847,1	2099,0	5344,1	0,0	0,0
1500	32,2	23,9	43	157,7	2868,3	2175,5	5592,8	0,0	0,0
1600	31,9	23,9	43	157,0	2781,7	2164,5	5497,9	0,0	0,0
1700	31,1	22,5	53	311,7	2563,1	3067,4	8925,6	0,0	0,0
1800	29,8	22,5	55	311,7	2735,8	3139,4	8629,6	0,0	0,0
1900	28,4	22,5	57	311,7	2651,3	2983,3	7612,9	0,0	0,0
2000	26,9	22,6	59	311,7	2574,3	2823,4	6541,6	0,0	0,0
2100	25,7	22,5	60	311,7	2506,3	2793,7	6065,6	0,0	0,0
2200	24,6	22,4	61	311,7	2445,0	2722,9	5467,8	0,0	0,0
2300	23,7	22,5	63	311,7	2390,3	2591,9	4690,0	0,0	0,0

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: OCTOBER									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	21,9	22,1	68	311,7	1794,4	2190,0	3000,7	0,0	0,0
0100	21,3	22,1	69	311,7	1735,0	2055,5	2354,2	0,0	0,0
0200	20,8	22,1	71	311,7	1678,0	1923,7	1680,4	0,0	0,0
0300	20,3	22,0	72	311,7	1624,0	1900,1	1526,4	0,0	0,0
0400	20,0	22,0	73	311,7	1572,7	1839,2	1249,4	0,0	0,0
0500	19,9	22,0	73	311,7	1525,0	1722,0	999,3	0,0	0,0
0600	20,1	21,9	73	311,7	1481,8	1712,9	1106,2	0,0	0,0
0700	20,7	21,9	71	311,7	1710,5	1929,9	1921,8	0,0	0,0
0800	21,7	22,1	70	311,7	2054,6	2045,6	2390,0	0,0	0,0
0900	23,1	23,5	47	84,7	2163,9	1123,9	1921,4	0,0	0,0
1000	24,8	23,6	46	98,7	2261,5	1319,1	2456,9	0,0	0,0
1100	26,7	23,6	45	110,4	2374,2	1485,6	3026,5	0,0	0,0
1200	28,5	23,7	45	120,7	2469,8	1633,3	3594,0	0,0	0,0
1300	29,8	23,8	44	132,6	2604,1	1804,5	4180,7	0,0	0,0
1400	30,7	23,8	44	142,1	2701,8	1944,4	4646,2	0,0	0,0
1500	31,1	23,9	43	146,4	2703,3	2007,2	4849,7	0,0	0,0
1600	30,7	23,8	44	142,7	2558,8	1953,2	4665,7	0,0	0,0
1700	30,0	22,4	57	311,7	2158,5	2734,8	7529,7	0,0	0,0
1800	28,7	22,5	58	311,7	2508,7	2895,8	7347,3	0,0	0,0
1900	27,3	22,5	60	311,7	2429,1	2742,8	6311,4	0,0	0,0
2000	25,8	22,4	61	311,7	2356,3	2676,6	5607,3	0,0	0,0
2100	24,6	22,4	62	311,7	2291,6	2596,2	4928,1	0,0	0,0
2200	23,5	22,4	64	311,7	2233,0	2457,5	4026,3	0,0	0,0
2300	22,6	22,3	65	311,7	2180,5	2443,0	3729,0	0,0	0,0

Hourly Zone Loads for Sistema VRF

Project Name: Tese
Prepared by: ACET

01/23/2022
05:44

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: NOVEMBER									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	19,8	22,0	70	311,7	1623,5	1945,8	1173,0	0,0	0,0
0100	19,2	22,0	70	311,7	1563,3	1874,4	919,7	0,0	0,0
0200	18,6	22,0	70	311,7	1505,8	1800,3	658,9	0,0	0,0
0300	18,2	22,0	70	311,7	1451,6	1671,9	349,1	0,0	0,0
0400	17,9	21,9	70	311,7	1400,4	1656,8	250,4	0,0	0,0
0500	17,7	21,9	71	311,7	1353,0	1602,1	172,2	0,0	0,0
0600	18,0	21,9	70	311,7	1310,5	1494,9	128,0	0,0	0,0
0700	18,5	21,8	71	311,7	1356,6	1553,8	413,5	0,0	0,0
0800	19,5	21,9	70	311,7	1755,6	1849,1	1044,3	0,0	0,0
0900	21,0	23,4	47	68,4	1948,3	901,2	1265,4	0,0	0,0
1000	22,7	23,5	47	85,5	2093,0	1135,8	1769,7	0,0	0,0
1100	24,6	23,6	46	99,5	2241,3	1331,4	2308,8	0,0	0,0
1200	26,4	23,6	45	111,4	2361,3	1500,1	2848,0	0,0	0,0
1300	27,7	23,7	44	124,3	2510,1	1685,2	3397,7	0,0	0,0
1400	28,6	23,8	44	134,4	2612,3	1831,3	3831,3	0,0	0,0
1500	28,9	23,8	44	137,6	2589,6	1878,5	3984,2	0,0	0,0
1600	28,6	23,7	44	127,9	2327,1	1737,3	3646,9	0,0	0,0
1700	27,8	22,3	59	311,7	1968,4	2557,3	5827,9	0,0	0,0
1800	26,6	22,4	60	311,7	2343,2	2735,2	5689,1	0,0	0,0
1900	25,1	22,3	61	311,7	2263,1	2643,5	4900,5	0,0	0,0
2000	23,7	22,3	63	311,7	2189,5	2535,4	4031,0	0,0	0,0
2100	22,5	22,2	64	311,7	2123,9	2459,0	3366,2	0,0	0,0
2200	21,3	22,2	66	311,7	2064,2	2361,1	2643,3	0,0	0,0
2300	20,4	22,1	67	311,7	2010,6	2305,4	2172,1	0,0	0,0

ZONE: Habitação DESIGN MONTH: DECEMBER									
Hour	OA TEMP (°C)	ZONE TEMP (°C)	RH (%)	ZONE AIRFLOW (L/s)	ZONE SENSIBLE LOAD (W)	ZONE COND (W)	TERMINAL COOLING COIL (W)	TERMINAL HEATING COIL (W)	ZONE HEATING UNIT (W)
0000	18,7	21,9	64	311,7	1385,3	1702,6	571,4	0,0	0,0
0100	18,1	21,9	65	311,7	1332,8	1639,7	326,4	0,0	0,0
0200	17,5	21,9	64	311,7	1282,7	1527,5	0,0	0,0	0,0
0300	17,1	21,7	65	311,7	1235,7	1622,8	35,7	0,0	0,0
0400	16,7	21,5	66	311,7	1191,4	1639,2	0,0	0,0	0,0
0500	16,6	21,4	67	311,7	1150,8	1627,0	0,0	0,0	0,0
0600	16,9	21,4	67	311,7	1114,8	1540,8	0,0	0,0	0,0
0700	17,4	21,5	66	311,7	1167,2	1413,2	0,0	0,0	0,0
0800	18,4	21,7	65	311,7	1341,1	1418,3	293,2	0,0	0,0
0900	19,9	23,2	48	36,9	1574,0	478,0	530,3	0,0	0,0
1000	21,6	23,3	47	55,5	1726,5	725,4	919,7	0,0	0,0
1100	23,5	23,4	46	70,7	1882,1	931,7	1349,5	0,0	0,0
1200	25,3	23,5	45	82,9	1994,7	1099,8	1778,6	0,0	0,0
1300	26,6	23,5	45	95,6	2125,7	1275,6	2218,5	0,0	0,0
1400	27,5	23,6	44	106,1	2226,2	1423,8	2587,9	0,0	0,0
1500	27,8	23,6	44	110,3	2216,2	1483,5	2739,2	0,0	0,0
1600	27,5	23,6	44	101,7	1976,7	1362,6	2482,3	0,0	0,0
1700	26,7	22,1	61	311,7	1660,3	2235,0	3946,2	0,0	0,0
1800	25,5	22,2	63	311,7	2048,0	2422,2	3732,1	0,0	0,0
1900	24,0	22,2	63	311,7	1979,6	2331,8	3054,1	0,0	0,0
2000	22,6	22,1	64	311,7	1916,5	2248,2	2462,6	0,0	0,0
2100	21,3	22,1	64	311,7	1860,5	2164,8	1946,5	0,0	0,0
2200	20,2	22,1	64	311,7	1809,7	2097,7	1491,1	0,0	0,0
2300	19,3	22,0	64	311,7	1764,4	2024,3	1102,1	0,0	0,0

System Psychrometrics for Sistema VRF

Project Name: Tese
Prepared by: ACET

01/23/2022
05:44

August DESIGN COOLING DAY, 1700

TABLE 1: SYSTEM DATA

Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
Ventilation Air	Inlet	32,2	0,01297	312	400	3451	3236
Vent - Return Mixing	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	-	-
Ventilation Fan	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	0	-
Zone Air	-	22,6	0,00929	312	0	3187	0
Return Plenum	Outlet	-17,8	0,00929	312	0	0	-

Air Density x Heat Capacity x Conversion Factor: At sea level = 1,207; At site altitude = 1,156 W/(L/s-K)

Air Density x Heat of Vaporization x Conversion Factor: At sea level = 2947,6; At site altitude = 2823,6 W/(L/s)

Site Altitude = 361,0 m

TABLE 2: ZONE DATA

Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
Habituação (Cooling)							
Ventilation Air	-	-	-	312	-	-	-
Cooling Coil Inlet	-	32,2	0,01297	312	0	-	-
Cooling Coil Outlet	-	13,7	0,00929	312	0	6671	3236
Heating Coil Inlet	-	13,7	0,00929	312	0	-	-
Heating Coil Outlet	-	13,7	0,00929	312	0	0	-
Zone Air	-	22,6	0,00929	312	0	3187	-

System Psychrometrics for Sistema VRF

Project Name: Tese
Prepared by: ACET

01/23/2022
05:44

WINTER DESIGN HEATING

TABLE 1: SYSTEM DATA

Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
Ventilation Air	Inlet	3,2	0,00444	312	400	-5772	0
Vent - Return Mixing	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	-	-
Ventilation Fan	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	0	-
Zone Air	-	19,2	0,00444	312	0	-928	0
Return Plenum	Outlet	-17,8	0,00444	312	0	0	-

Air Density x Heat Capacity x Conversion Factor: At sea level = 1,207; At site altitude = 1,156 W/(L/s-K)

Air Density x Heat of Vaporization x Conversion Factor: At sea level = 2947,6; At site altitude = 2823,6 W/(L/s)

Site Altitude = 361,0 m

TABLE 2: ZONE DATA

Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
Habituação (Heating)							
Ventilation Air	-	-	-	312	-	-	-
Cooling Coil Inlet	-	3,2	0,00444	312	0	-	-
Cooling Coil Outlet	-	3,2	0,00444	312	0	0	0
Heating Coil Inlet	-	3,2	0,00444	312	0	-	-
Heating Coil Outlet	-	22,0	0,00444	312	0	6764	-
Zone Air	-	19,2	0,00444	312	0	-928	-

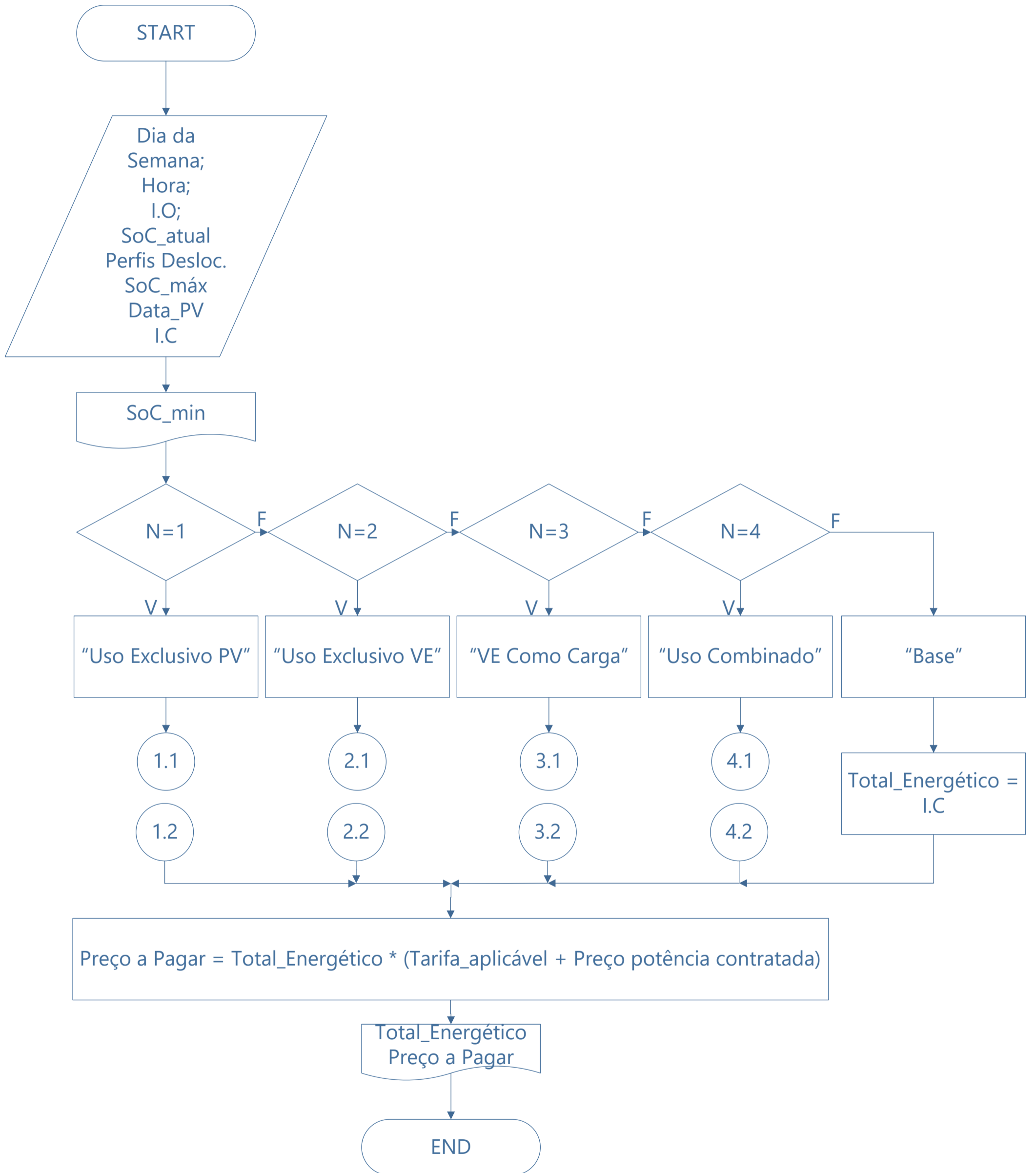
Psychrometric Analysis for Sistema VRF

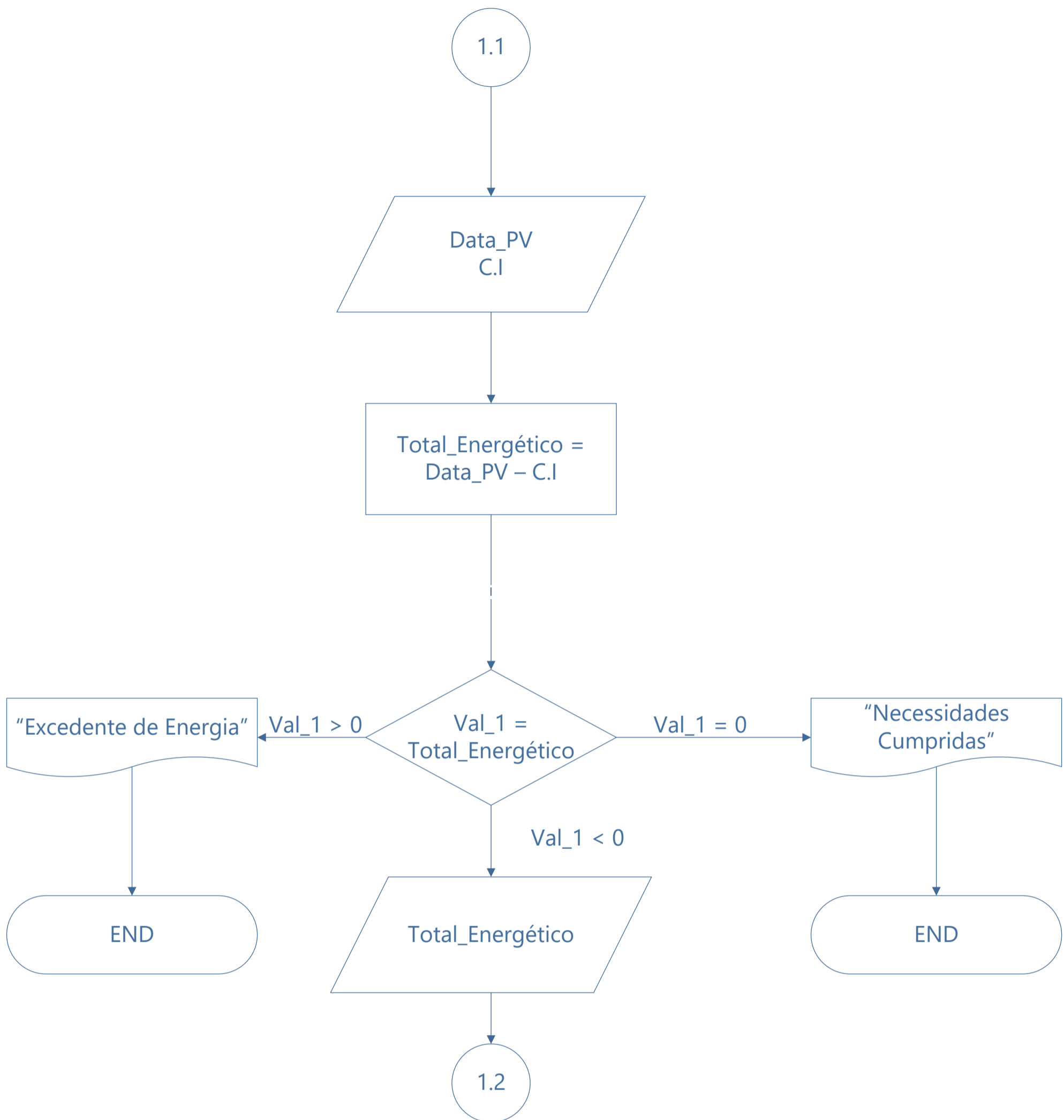
Project Name: Tese
Prepared by: ACET

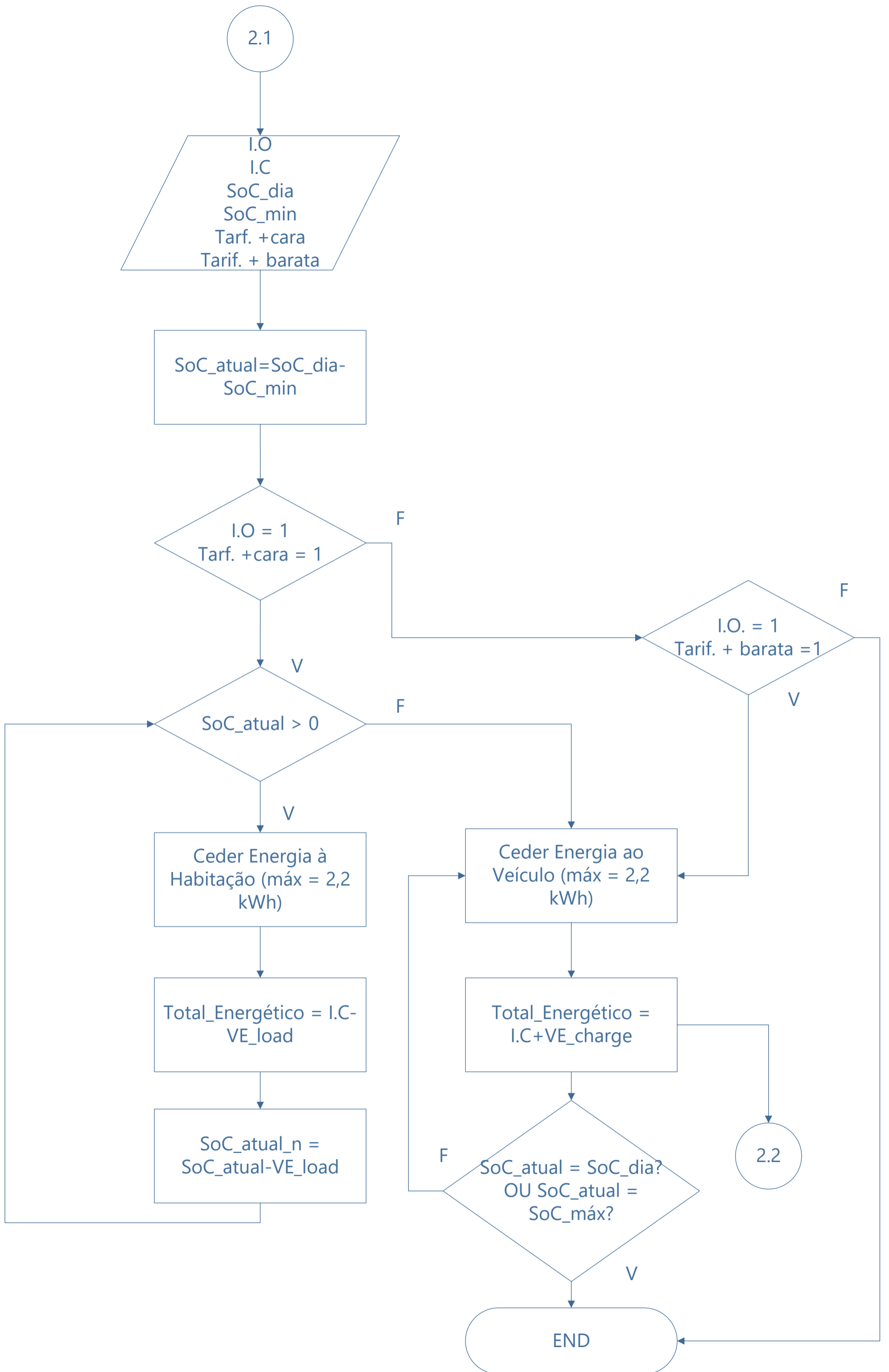
01/23/2022
05:44

The psychrometric graph cannot be generated for this type of system.

Apêndice 2 – Algoritmo da Ferramenta de Gestão de Energia







2.2

