

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS INSTALAÇÕES NA CLASSE ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

CARLA FILIPA SIMÕES PASCOAL

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Coorientador: Cláudia Sofia Faia Miranda Ferreira

Coorientador: Professora Doutora Maria de Lurdes de Oliveira Simões

JUNHO DE 2025

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2024/2025

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901



m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2024/2025 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2025.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Para a Filipa

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Nuno Ramos, o meu profundo agradecimento por ter aceite o compromisso de orientar esta dissertação.

À Coorientadora, Engenheira Cláudia Ferreira, pelo acompanhamento no desenvolvimento deste documento e pelo conhecimento transmitido acerca da Certificação Energética Portuguesa.

À Coorientadora, Professora Doutora Lurdes Simões, pela disponibilidade e ajuda no tratamento de dados.

Aos meus pais, sem eles não seria possível.

Aos meus irmãos, por me incentivarem de forma constante a ultrapassar os desafios e mostrarem-me que é possível fazer sempre mais e melhor.

A toda a minha família, em especial aos meus avós, por estarem sempre do meu lado.

Aos meus amigos, que sempre me acompanharam ao longo destes cinco anos.

Ao Francisco, pelo apoio incondicional nos momentos mais difíceis.

À Filipa Diniz, por toda a ajuda, palavras sábias e reconfortos.

RESUMO

A otimização dos sistemas, com a procura no mercado de equipamentos mais eficientes, é um ato que se tem revelado importante para atingir uma melhor classificação energética. A consequente preocupação com a diminuição dos consumos de energia, motivada pela necessidade de diminuir os custos associados à utilização, é um assunto relevante para os utilizadores dos edifícios. Estas ações de sensibilização motivam a necessidade de implementação de edifícios com elevada eficiência energética.

Nesta dissertação de mestrado foi elaborado um estudo sobre o impacto que as instalações têm na classe energética dos edifícios de habitação. De forma a atingir os objetivos é necessário reconhecer como se adota a metodologia atual de certificação portuguesa, bem como a metodologia de cálculo associada. O balanço energético subdivide-se em dois pontos importantes: na componente passiva do edifício e no conjunto de sistemas que integram o edifício. Como o objetivo deste trabalho é avaliar o impacto que os diversos equipamentos têm na classe energética, é necessário caracterizá-los consoante o sistema. Os diversos equipamentos têm como função suprir as necessidades de preparação de águas quentes sanitárias (AQS), aquecimento e arrefecimento ambiente e ventilação. Adicionalmente, foi tido em consideração a integração de um sistema de produção de energia renovável por forma a diminuir o parâmetro das necessidades nominais anuais de energia primária, N_{tc} .

O rácio energético de edifícios de habitação, R_{Nt} , é o parâmetro que, de acordo com a legislação em vigor, indica a classe energética a que pertence o edifício. O parâmetro do rácio energético está diretamente relacionado com o N_{tc} e, consequentemente, este está relacionado com as eficiências dos equipamentos utilizados para os diferentes usos regulares. Para isto, foram fixados os valores relativos à componente passiva do edifício e fizeram-se variar a combinação de equipamentos dos sistemas, o que fez um total de 264 cenários para simulação. As diferentes combinações de equipamentos dos diferentes sistemas, aquando associado o investimento inicial necessário de realizar, é possível concluir os cenários que apresentam o melhor resultado do binómio custo-benefício. A análise dos resultados passou pela aplicação de dois métodos de *Data Mining*, primeiro uma análise de *clusters* e depois a representação dos resultados por meio de árvores de decisão. Estes processos de tratamento de dados revelaram-se bastante úteis na análise de uma extensa base de resultados. Foi possível identificar os equipamentos promissores de uma melhoria na classe energética, bem como as vantagens e desvantagens de aplicação à zona climática em causa.

Para obter uma outra perspetiva da influência que a zona climática tem na classe energética dos edifícios, foi realizado um estudo análogo para duas diferentes cidades portuguesas, Bragança e Faro.

PALAVRAS-CHAVE: eficiência energética, instalações em edifícios, desempenho energético, eficiência, *Data Mining*.

ABSTRACT

The optimization of building systems, along with the market demand for more efficient equipment, has proven to be a key factor in achieving better energy performance ratings. The growing concern with reducing energy consumption driven by the need to lower operational costs is a relevant issue for building users. These awareness-raising actions have encouraged the implementation of buildings with high energy efficiency.

This master's dissertation presents a study on the impact that building systems have on the energy rating of residential buildings. To achieve the proposed objectives, it is necessary to understand the current Portuguese certification methodology, as well as the associated calculation method. The energy balance is divided into two main components: the building's passive features and the range of systems installed within it. As the aim of this study is to assess the impact of various equipment on the energy class, it is necessary to characterize the equipment according to the system they belong to. The equipment serves to meet the needs of domestic hot water production, space heating and cooling, and ventilation. Additionally, the integration of a renewable energy generation system was considered in order to reduce the parameter of annual nominal primary energy needs, N_{tc} .

The energy ratio of residential buildings, R_{Nt} , is the parameter that, according to current legislation, determines the energy class of a building. This energy ratio is directly related to N_{tc} , which in turn is influenced by the efficiency of the equipment used for the various regular energy services. For the purposes of this study, the values of the building's passive components were fixed, while the combinations of system equipment were varied. This process resulted in a total of 264 simulated scenarios. By associating these equipment combinations with the necessary initial investment, it was possible to identify the scenarios that presented the best cost-benefit outcomes.

The results were analyzed using two Data Mining methods: first, *cluster* analysis, followed by decision tree representations. These data processing techniques proved highly effective in managing and interpreting the extensive dataset. It was possible to identify equipment with the potential to improve the energy class, as well as the advantages and disadvantages of applying them to the specific climate zone under consideration.

To gain a broader perspective on the influence of climate zone on the energy performance of buildings, a similar study was conducted for two Portuguese cities, Bragança and Faro.

KEYWORDS: energy efficiency, building systems, energy performance, efficiency, *Data Mining*.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	17
1.1. ENQUADRAMENTO	17
1.2. OBJETIVOS	17
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	18
 2. ESTADO DA ARTE	19
2.1. ENERGIA E HABITAÇÃO	19
2.2. LEGISLAÇÃO NO ÂMBITO DA CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA.....	22
2.2.1. ENQUADRAMENTO DA UNIÃO EUROPEIA	22
2.2.2. ENQUADRAMENTO DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA	23
2.2.3. CONCEÇÃO ECOLÓGICA - <i>ECODESIGN</i>	25
2.3. EDIFÍCIOS NZEB	26
2.4. EVOLUÇÃO DA CERTIFICAÇÃO EM PORTUGAL	27
2.5. METODOLOGIA ATUAL DE CERTIFICAÇÃO EM PORTUGAL	29
2.5.1. ENQUADRAMENTO	29
2.5.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	30
2.5.2.1. DEFINIÇÃO DE N_{tc}	30
2.5.2.2. DEFINIÇÃO DE N_t	31
2.5.2.3. FATOR DE CONVERSÃO DE ENERGIA.....	32
2.5.2.4. EFICIÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS	33
2.5.2.5. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQS.....	34
2.5.2.6. DEFINIÇÃO DE E_{ren}	34
2.5.2.7. DEFINIÇÃO DE $RenHab$	37
2.5.2.8. VENTILAÇÃO.....	38
2.6. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES	40
2.6.1. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO NOVOS.....	40
2.6.2. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES DA COMPONENTE PASSIVA	40
2.6.2.1 ENVOLVENTE OPACA	40
2.6.2.2 ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA.....	41
2.6.3. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES DA COMPONENTE ATIVA	42
2.7. EQUIPAMENTOS	43

2.7.1. CALDEIRAS E ESQUENTADORES.....	43
2.7.2. TERMOACUMULADORES	43
2.7.3. MÁQUINAS TÉRMICAS – BOMBAS DE CALOR E MÁQUINAS FRIGORÍFICAS	44
2.7.4. SISTEMAS A BIOMASSA	45
2.7.5. INSTALAÇÕES SOLARES	46
2.7.6. SISTEMAS DE EMISSÃO	47

3. METODOLOGIA.....49

3.1. ENQUADRAMENTO	49
3.2. DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	51
3.3. CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE E VERIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES.....	53
3.3.1. ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA	53
3.3.2. ENVOLVENTE EXTERIOR ENVIDRAÇADA.....	55
3.4. SISTEMAS TÉCNICOS.....	56
3.4.1. VENTILAÇÃO.....	56
3.4.2. AQUECIMENTO.....	57
3.4.3. ARREFECIMENTO	59
3.4.4. PREPARAÇÃO DE AQS	60
3.4.5. EQUIPAMENTOS DE FONTE RENOVÁVEL	60
3.5. UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA DE CÁLCULO.....	62
3.6. CENÁRIOS SIMULADOS	65
3.7. MÉTODOS DE ANÁLISE DE RESULTADOS	68
3.7.1. DATA MINING NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO	68
3.7.2. ANÁLISE DE <i>CLUSTERS</i>	69
3.7.3. ÁRVORES DE DECISÃO	70

4. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS INSTALAÇÕES.....71

4.1. RESULTADOS DOS CENÁRIOS SIMULADOS.....	71
4.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	73
4.2.1. ANÁLISE DESCRITIVA	73
4.2.2. ANÁLISE DE <i>CLUSTERS</i>	78
4.3. IMPACTO DA COMBINAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	80
4.4. IMPACTO EM DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS	90
4.4.1. BRAGANÇA ZONAS CLIMÁTICAS I3 E V2.....	91
4.4.2. FARO ZONAS CLIMÁTICAS I1 E V3.....	93
4.4.3. SÍNTESE DOS RESULTADOS	95

5. CONCLUSÕES.....97

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Consumo de energia primária por formas de energia 2002 e 2022 (Observatório da Energia, 2024)	19
Figura 2 - Consumo de energia final por setor em 2002 e 2022 (Observatório da Energia, 2024).....	20
Figura 3 - Distribuição do consumo de energia na habitação por tipo de energia (INE, 2021b).....	20
Figura 4 - Distribuição do consumo de energia na habitação por fonte de energia e por tipo de uso (INE, 2021a)	21
Figura 5 - Cronograma Legislação União Europeia	23
Figura 6 – Cronograma Legislação Portuguesa e Europeia [adaptado de (SCE, 2025)]	24
Figura 7 - Estrutura operacional de um edifício nZEB (Deng, Wang e Dai, 2014).....	26
Figura 8 - Certificados energéticos emitidos para habitação entre 2008 e 2023 (Observatório da Energia, DGEG e ADENE, 2024)	27
Figura 9 – Evolução classe energética na habitação entre 2014 e 2023 (Observatório da Energia, DGEG e ADENE, 2024)	28
Figura 10 – Medidas de melhoria por tipo de intervenção entre 2014 e 2023 (Observatório da Energia, DGEG e ADENE, 2024)	28
Figura 11 - Ciclo Bomba de Calor	44
Figura 12 - Sistemas Solares Térmicos: a) Sistema Solar Termossifão, b) Sistema Solar de Circulação Forçada (Térmico, 2013)	47
Figura 13 - Esquema Sistema Fotovoltaico ligado à rede (Mariano Sidrach de Cardona Ortín, 2008).....	47
Figura 14 - Sistemas de emissão: a) Ar condicionado, b) Ventiloinvector	48
Figura 15 - Fluxograma da metodologia	49
Figura 16 - Planta Piso 0, escala 1/100	51
Figura 17 – Planta Piso 1, escala 1/100	52
Figura 18 - Alçado Principal, escala 1/100.....	52
Figura 19 - Corte Longitudinal, escala 1/100	53
Figura 20 - Output Cálculo da Ventilação	62
Figura 21 - Separador CálculoVentilação	63
Figura 22 - Separador Sistemas Técnicos	64
Figura 23 - Separador Sistemas Técnicos	64
Figura 24 - Balanço Energético	65
Figura 25 - Distribuição dos equipamentos pelo número total de cenários: a) AQS; b) Aquecimento; c) Arrefecimento	67
Figura 26 - Esquema em árvore das simulações	68
Figura 27 – Exemplo de árvore de Decisão (Heidari, Seifossadat e Razaz, 2013)	70
Figura 28 - Gráfico <i>Boxplot</i> da variável: a) Ntc; b) Eren	74
Figura 29 - Gráfico de Dispersão Eren e RenHab em função do Equipamento de AQS	76
Figura 30 - Gráfico de Dispersão Nvc e Nic em função do tipo de ventilação	77
Figura 31 - Distribuição da Classe Energética da amostra	77
Figura 32 – Dendrograma aplicação do método Between-groups linkage	78
Figura 33 - Gráfico de Dispersão Ntc e Eren em função dos <i>Clusters</i>	79
Figura 34 - Gráfico de Dispersão Análise Estatística Descritiva <i>Clusters</i>	79
Figura 35 - Árvore de Decisão relação entre Ntc, Eren e <i>Cluster</i>	81
Figura 36 - Árvore de Decisão relação entre <i>Cluster</i> , Ntc, Equipamentos e Classe	82
Figura 37 - Associação Ntc versus RNT em função dos <i>Clusters</i>	83
Figura 38 - Associação Ntc versus RNT em função do Equipamento de Ventilação	83
Figura 39 – Associação Ntc versus RNT em função de Rph=0,50 h-1 e Rph=0,70 h-1 na VMC duplo fluxo.....	84
Figura 40 - Associação Ntc versus RNT em função do Equipamento de AQS.....	85
Figura 41 – Associação Ntc versus RNT em função do Equipamento de Aquecimento	86
Figura 42 - Associação Ntc versus RNT em função do Equipamento Renovável.....	86
Figura 43 - Associação Ntc versus Eren em função do Equipamento de Aquecimento.....	87
Figura 44 - Árvore de Decisão relação entre <i>Cluster</i> , Equipamento, Custo e Classe Energética	88
Figura 45 - Deslocamento dos cenários dentro dos <i>Clusters</i> em Bragança	92
Figura 46 - Deslocamento dos cenários dentro dos <i>Clusters</i> em Faro.....	94
Figura 47 - Relação Ntc e Custo em Bragança.....	95
Figura 48 - Relação Ntc e Custo em Faro.....	95

ÍNDICE DE QUADROS

Tabela 1 - Intervalos de valores do rácio de classe energética em edifícios de habitação	29
Tabela 2 – Descrição das componentes para cálculo Ntc [adaptado do (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024)]	30
Tabela 3 - Descrição das componentes para cálculo do Nt [adaptado do (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024)]	32
Tabela 4 – Fatores de conversão de energia final para energia primária, F_{pu} [adaptado do (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024)]	33
Tabela 5 – Eficiências a considerar em função do equipamento e função [adaptado do (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024)]	33
Tabela 6 Descrição das componentes para cálculo do RenHab [adaptado do (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024)]	38
Tabela 7 - Requisitos regulamentares edifícios de habitação novos [adaptado de (Governo Português, 2021)] ..	40
Tabela 8 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação — Portugal Continental, $U_{máx}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$] [adaptado de (Governo Português, 2021)]	41
Tabela 9 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada, $U_{w,máx}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$] [adaptado de (Governo Português, 2021)]	41
Tabela 10 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares, $g_{tot,máx}$	42
Tabela 11 - Coeficientes de Transmissão Térmica da envolvente opaca	54
Tabela 12 - Coeficientes de Transmissão Térmica Lineares	55
Tabela 13 - Caracterização e Coeficiente de Transmissão Térmica dos vãos	55
Tabela 14 - Características do sistema de ventilação natural	56
Tabela 15 - Características do sistema de ventilação mecânica	57
Tabela 16 - Potência a admitir no ar condicionado em função da área a servir (EDP, 2024)	58
Tabela 17 - Características dos equipamentos para Aquecimento	59
Tabela 18 - Características dos equipamentos para Arrefecimento	59
Tabela 19 – Características dos equipamentos para preparação de AQS	60
Tabela 20 - Características do Solar Térmico e Solar Fotovoltaico	61
Tabela 21 - Resultados Cenário Base Habitação	65
Tabela 22 - Parâmetros e variáveis utilizados para simulação	66
Tabela 23 - Excerto da Tabela de Resultados (1ª parte)	71
Tabela 24 - Excerto da Tabela de Resultados (2ª parte)	72
Tabela 25 - Análise Descritiva dos Resultados	74
Tabela 26 - Medidas Estatísticas por <i>Cluster</i>	80
Tabela 27 - Cenários de análise árvores de decisão	80
Tabela 28 - Variáveis qualitativas dos cenários de exemplo	81
Tabela 29 – Síntese Custo por <i>Clusters</i>	88
Tabela 30 - Cenários simulação em Bragança e em Faro	90
Tabela 31 - Resumo dos parâmetros energéticos em Vila do Conde	91
Tabela 32 – Resumo dos parâmetros energéticos em Bragança	91
Tabela 33 - Resumo dos parâmetros energéticos em Faro	93

SÍMBOLOS E ACRÓNIMOS

AC – Ar Condicionado

ADENE – Agência para a Energia

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis

AQS – Água Quente Sanitária

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CE – Comissão Europeia

COP – *Coefficient of Performance*

DE – Diretiva Europeia

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DGS – Direção Geral de Saúde

DL – Decreto Lei

EER – *Energy Efficiency Ratio*

EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*

EPC – *Energy Performance Certificate*

ERLP – Estratégias de Renovação a Longo Prazo

GEE – Gases com Efeito de Estufa

INE – Instituto Nacional de Estatística

Itecons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LTRS – *Long Term Renovation Strategies*

Manual SCE – Manual de Sistema de Certificação Energética

nZEB – *near zero-emission building*

PCE – Pré-Certificado Energético

PNEC – Plano Nacional de Energia e clima

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação de Edifícios

UE – União Europeia

VRF – *Variable Refrigerant Flow*

ZEB – *zero emission Buildings*

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O consumo energético do setor residencial, a nível europeu, é responsável por 60% a 70% do consumo energético total do setor dos edifícios. Sendo o setor doméstico um dos principais responsáveis do consumo energético torna-se um campo interessante de exploração. A eficiência energética do edifício depende de vários fatores e medidas que tendenciam a reduções dos consumos, nunca desvalorizando o conforto dos utilizadores. Ao longo dos anos o mercado tem vindo a evoluir presenteando-nos com equipamentos mais sofisticados e eficientes. Como as instalações têm um impacto considerável na eficiência dos edifícios, bem como no seu balanço energético, considera-se relevante o tema da avaliação do impacto das instalações na classe energética dos edifícios de habitação.

1.2. OBJETIVOS

A 7 de dezembro de 2020 foi aprovado o Decreto-Lei nº 101-D/2020, legislação em vigor à data de conclusão da redação deste documento, que indica a forma como é calculada a eficiência energética dos edifícios de habitação que consequentemente resulta na atribuição de uma classe energética ao mesmo.

O principal objetivo desta dissertação de mestrado é compreender o impacto que as instalações, aquando integradas no edifício, tem na classe energética do mesmo. Para isto, é necessário adquirir conhecimento de como a legislação compreende a metodologia de cálculo e como esta, no final, se reflete na atribuição da classe.

Passa-se a enumerar os objetivos parciais para que se consiga atingir o objetivo global:

- Analisar e compreender como se processa a metodologia de certificação energética portuguesa, para edifícios de habitação, e a metodologia de cálculo utilizada;
- Reconhecer os principais parâmetros de influência do desempenho energético dos edifícios de habitação;
- Pesquisar e adquirir conhecimento das instalações de sistemas existentes no mercado, o seu funcionamento, valores de eficiência, potências associadas e custo dos equipamentos;
- Definição da base de dados dos cenários a simular referentes às diferentes combinações de equipamentos de preparação de AQS, aquecimento e arrefecimento ambiente, equipamentos renováveis e sistemas de ventilação;
- Analisar resultados através de métodos associados a *Data Mining*;
- Verificar a que equipamentos estão associados cenários mais eficientes;
- Verificar o impacto da alteração da localização geográfica em certos cenários;

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura deste documento procura adotar uma forma cuidada e harmoniosa para que a sua leitura seja de fácil interpretação e para que cumpra os objetivos previamente traçados. Para tal, o documento está dividido em 5 pontos principais, que aquando juntos revelam um encadeamento coerente e de fácil interpretação dos objetivos que se pretendem atingir e interpretação dos resultados obtidos.

Na Introdução, que corresponde ao capítulo 1, é exposto um enquadramento geral do tema que será desenvolvido e o objetivo global e parciais que se esperam atingir.

O segundo capítulo, referente ao Estado da Arte, tem como objetivo preparar o leitor para os diversos assuntos que serão retratados ao longo de todo o documento. Este capítulo pode, ainda, ser dividido em dois grandes grupos. Primeiro, é realizada uma revisão acerca de estudos dos padrões de consumo dos portugueses, e descrita a evolução da legislação de certificação tanto a nível europeu como a nível nacional. O segundo grande grupo apresentado consiste na descrição da metodologia atual de certificação energética portuguesa, bem como a metodologia de cálculo utilizada. Termina-se com a apresentação dos requisitos a cumprir e com a descrição dos diferentes equipamentos para cada um dos sistemas, como funcionam e eficiências individuais.

O capítulo 3, a Metodologia, é responsável por demonstrar qual a metodologia adotada ao longo do estudo. Inicia-se por caracterizar o edifício de estudo e apresentar o cumprimento das exigências regulamentares aplicáveis ao mesmo. São descritos intensivamente as instalações utilizadas para o estudo e como a ferramenta de cálculo, para obtenção da classe energética, funciona. Finalmente, são apresentados os cenários a simular e os métodos de análise a desenvolver no capítulo seguinte.

A Avaliação do Impacto é exposta no capítulo 4, e apresentam-se os resultados obtidos através da aplicação da metodologia de cálculo apresentada no capítulo 2. São apresentadas reflexões e discussões ao longo do capítulo através da análise dos resultados. No final é realizado o mesmo processo acima referido com a localização geográfica dos cenários alterada.

No último capítulo, Conclusão, obtém-se de uma forma resumida as conclusões retiradas com a realização deste trabalho. Tem como objetivo dar resposta aos objetivos apresentados, procurando apresentar os desenvolvimentos futuros possíveis dentro do tema.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. ENERGIA E HABITAÇÃO

Considera-se relevante a breve exposição do contexto em que Portugal se insere, quer em termos de consumos de energia, quer em termos de tendência de evolução ao longo dos anos. A análise dos resultados permite-nos, previamente, concluir que o forte impacto da legislação nacional, e a pressão positiva colocada pelas diretivas europeias, contribuíram para um balanço positivo.

A Figura 1 representa a distribuição do consumo de energia primária por formas de energia nos anos de 2002 e 2022. Nos últimos vinte anos a massiva fatia do petróleo e derivados desceu cerca de 33,6%, enquanto que o peso das energias renováveis e gás natural, no mesmo período, duplicaram (Observatório da Energia, 2024). O crescimento duplicado da forma de energia gás natural tomou proporção em conjunto com a forma de energias renováveis, o gás natural é considerado uma alternativa menos poluente face ao petróleo. A Figura 1 evidencia o crescimento das energias renováveis e a sua tendência natural é continuar a aumentar.

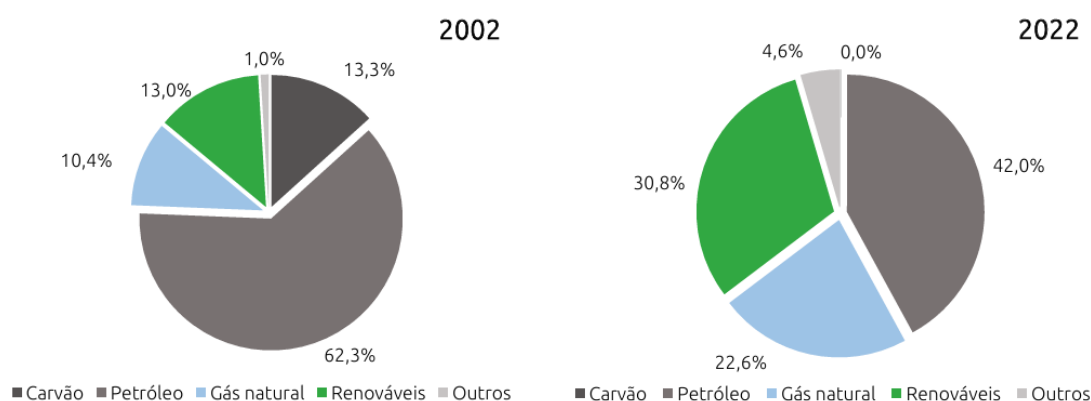


Figura 1- Consumo de energia primária por formas de energia 2002 e 2022 (Observatório da Energia, 2024)

Na figura seguinte, Figura 2, é possível compreender o peso do setor doméstico (habitação) face aos demais. Através da análise escalonada a oscilação anual entre os setores é praticamente inexistente. Conclui-se que existe uma forte possibilidade de otimizar o setor doméstico, em termos de melhoria dos consumos de energia, uma vez que o seu peso, referente ao global das atividades, é preponderante (Observatório da Energia, 2024).

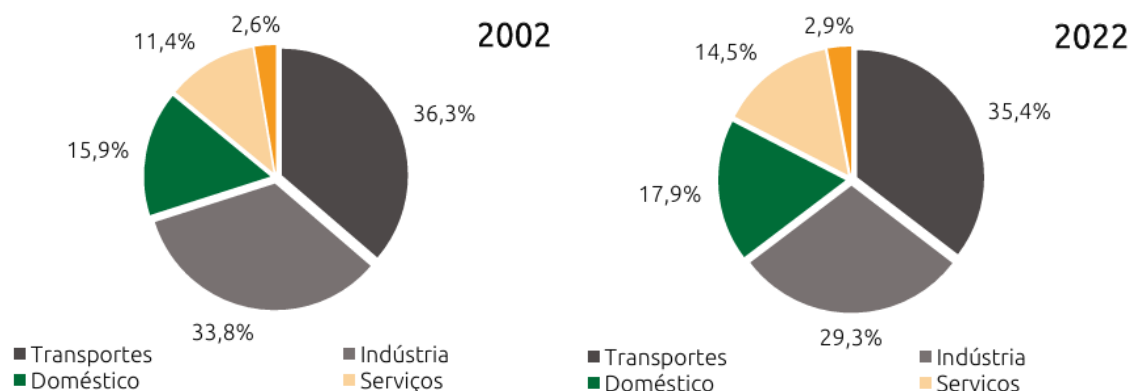


Figura 2 - Consumo de energia final por setor em 2002 e 2022 (Observatório da Energia, 2024)

Na Figura 3 os dados referentes ao ano de 2020, mostram a preferência pela eletricidade como origem de energia, em seguida verifica-se que a biomassa adquire uma percentagem de 18,4%. Apesar de o gás natural resultar de uma energia não renovável, esta é menos poluente que as fontes de energia derivadas do petróleo. Refira-se que no inquérito realizado 10 anos antes, em 2010, foram obtidas preferências idênticas às expostas no gráfico abaixo.

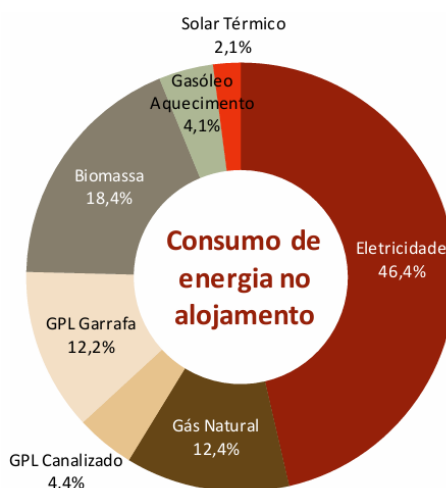


Figura 3 - Distribuição do consumo de energia na habitação por tipo de energia (INE, 2021b)

A maior parte da eletricidade gerada, em Portugal, através da captação de energia de forças naturais como o sol, o vento ou a água em movimento. O aproveitamento do calor na queima de combustíveis ou a energia térmica resultante de reações nucleares, também são formas de produção de eletricidade. Embora se considere a energia nuclear uma fonte limpa, esta tese continua a decair devido ao risco de desastres nucleares associados. Em 2020, a fonte de produção de eletricidade privilegiada era a produção hidroelétrica e de seguida a eólica. Aos dados de 2023, sobressai o crescimento de produção de eletricidade através de energia solar fotovoltaica e hidroelétrica (IEA, 2023).

A Associação de Energias Renováveis (APREN) apontou que, no decorrer do ano de 2024, 80,4% da eletricidade gerada em Portugal Continental teve origem renovável. A estes estudos complementa-se o potencial que o país tem em descarbonizar o setor dos edifícios face aos recursos existentes (APREN, 2024).

As metas da união europeia passam essencialmente pela produção de energia através de fontes renováveis, com o objetivo de atingir a neutralidade carbônica e realizar a transição energética. Em 2019 foi desenhado um plano governamental, Estratégia Portugal 2030, que tem como objetivo que o setor da habitação consiga atingir a neutralidade carbônica até 2050. O investimento na eficiência energética,

isolamento térmico, reabilitação de imóveis, eletrificação, e a aposta na energia solar e bombas de calor são os principais objetivos do plano (Governo Português, 2019).

A Figura 4 representa a distribuição do consumo de energia na habitação por fonte de energia e por tipo de uso. Numa forma de análise rápida destacam-se os usos de aquecimento do ambiente, cozinha e aquecimento de águas por terem uma elevada distribuição das diversas fontes de energia.

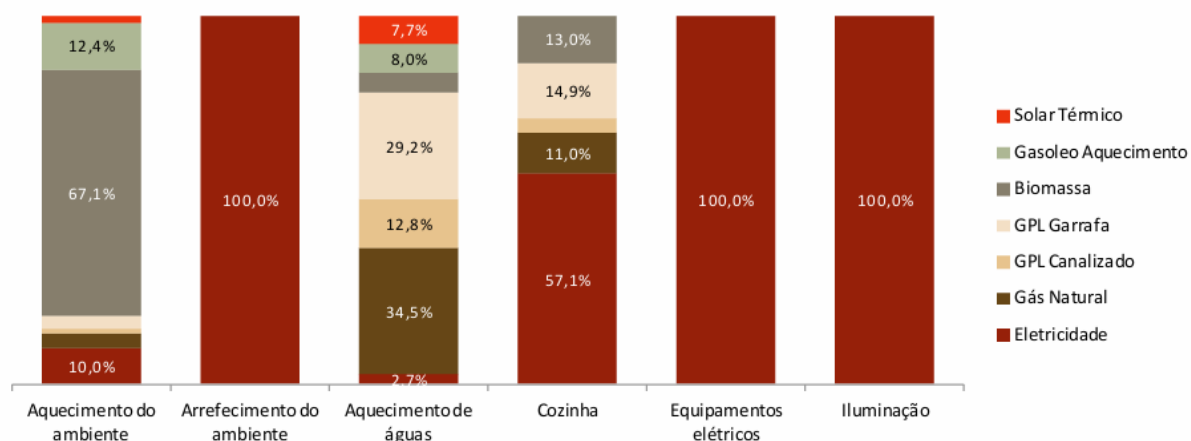


Figura 4 - Distribuição do consumo de energia na habitação por fonte de energia e por tipo de uso (INE, 2021a)

Com o exposto acima, no aquecimento do ambiente destaca-se, claramente, a biomassa o que revela a dependência que a habitação portuguesa tem por este tipo de fonte de energia quando se trata de satisfazer este uso. O arrefecimento ambiente é realizado com recurso a equipamentos que utilizam inequivocamente a eletricidade para a função assim como para a iluminação, e como esperar para os equipamentos elétricos. O aquecimento de águas é o uso que mais se revela diverso no tipo de fonte de energia usado, destaca-se entre os demais as fontes de energia a gás. Também é possível refletir o privilégio que a habitação tem por este tipo de fonte para satisfazer o uso de preparação de AQS, contudo, esta opção torna os edifícios menos sustentáveis e menos descarbonizados.

2.2. LEGISLAÇÃO NO ÂMBITO DA CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA

2.2.1. ENQUADRAMENTO DA UNIÃO EUROPEIA

A Comissão Europeia (CE) publicou num dos seus relatórios anuais, ao abrigo da Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios, que aproximadamente 40% da energia consumida na União Europeia (UE) é utilizada nos edifícios; mais de um terço das emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) estão relacionadas com energia que advém para os edifícios; e cerca de 80% da energia utilizada nas habitações da UE destinam-se à preparação de AQS e aquecimento e arrefecimento do ambiente. Face à informação apresentada a CE conclui que os edifícios possuem um elevado potencial associado à economia de energia.

Seguindo uma ordem cronológica, nas décadas de 1970 e 1980 as políticas energéticas começaram a ganhar ênfase depois do embargo da crise do petróleo. Antes da introdução de regulamentação, por parte da UE, países do norte da Europa como a Alemanha e a Dinamarca sentiram a necessidade de implementar a nível nacional normas de construção obrigatórias destinadas a melhorar o desempenho térmico e a eficiência energética da construção. O pioneirismo da implementação de medidas por partes dos países do norte da Europa influenciou os restantes países, pertencentes à UE, a desenvolver regulamentos semelhantes (Economidou et al., 2020a).

A primeira norma a ser estabelecida foi a Diretiva Europeia 2002/91/CE, *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), que definiu disposições específicas para a criação de certificados nacionais de desempenho energético (EPC - *Energy Performance Certificate*) e estabeleceu requisitos mínimos para novos edifícios e para grandes renovações relativamente ao desempenho energético destes. Na metodologia de cálculo do desempenho térmico foram consideradas necessidades associadas a um uso padrão dos edifícios tendo em conta: orientação do edifício, sistemas solares passivos, proteções solares, estratégia de ventilação, instalações de aquecimento, produção de água quente, entre outros. O artigo 7º da diretiva considera ser uma medida obrigatória a certificação do desempenho energético criada pelos estados-membros para que, não só possibilite a potencialidade de compradores do imóvel, mas também para que se pudesse impulsionar mais reabilitações energéticas. (Europeu e Europeia, 2003).

A Diretiva Europeia 2010/31/UE veio substituir a Diretiva Europeia 2002/91/CE. A norma potenciava a redução do custo utilizado para operar os edifícios e a promoção da eficiência energética. O compromisso de substituição dos combustíveis fósseis por fontes de energias renováveis e uso de equipamentos de elevada eficiência energética foram medidas apontadas. A nova EPBD introduziu requisitos de desempenho energético para os sistemas técnicos dos edifícios, estando entre estes, sistemas de aquecimento e arrefecimento, produção de água quente, ventilação, entre outros. A implementação deste requisito em sistemas permitia que a construção destes atendessem a padrões implementados pela diretiva.

O Conselho da União Europeia 2010, apresentou perspetivas em relação aos edifícios *near zero-emission building* (nZEB). Segundo o artigo 9º da Diretiva Europeia mencionada acima, são edifícios com um desempenho energético muito elevado e onde as necessidades reduzidas deverão ser supridas por energia proveniente de fontes renováveis. Esta norma definia que a 31 de dezembro de 2020 todos os edifícios novos e que após 31 de dezembro de 2018 os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas deviam ser edifícios do tipo nZEB (Economidou et al., 2020b).

Em 2018 recebeu aprovação a Diretiva Europeia 2018/844 EPBD que estabelecia que os estados-membros deveriam implementar *Long Term Renovation Strategies* (LTRS). As estratégias estariam subdivididas em períodos com metas a curto, médio e longo prazo (2030, 2040 e 2050 respetivamente) com o intuito de renovar e promover a descarbonização dos edifícios, reduzir emissões de carbono e digitalizar o setor da construção (Europeu e Europeia, 2018).

Pesquisas mais recentes debruçam-se sobre a Diretiva Europeia UE/2024/1275, em vigor desde 28 de maio de 2024, que resulta da revisão da legislação anterior e surge como um pacote de medidas intitulado por *Fit for 55* proposto pela CE. A diretiva promove a eliminação de instalações que utilizem combustíveis fósseis até 2040 e incita os estados-membros a criarem estratégias para assegurar a redução

da utilização de energia primária em 16% face a 2020 até 2030 e redução em 22% até 2035. Os países pertencentes à UE têm até 29 de maio de 2026 para transitar a legislação europeia para a legislação pertencente a cada estado membro (Europeu e Europeia, 2024).

Na Figura 5 está representada, de forma cronológica, a evolução da legislação publicada pela UE.

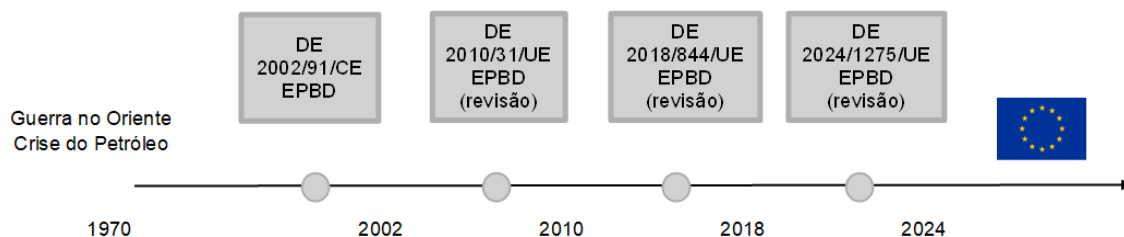


Figura 5 - Cronograma Legislação União Europeia

2.2.2. ENQUADRAMENTO DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA

Portugal tornou-se estado-membro da União Europeia em 1986. Como país pertencente à UE, foi obrigado a transpor as diretivas europeias para a legislação nacional, adaptando-as. A primeira regulamentação portuguesa relativa à eficiência energética data o ano de 1990 e surgiu da necessidade de dotar os edifícios de condições de salubridade, higiene e conforto. O Decreto de Lei (DL) nº 40/90 para além de ter sido desenvolvido para melhorar condições sociais, tinha também como objetivo garantir condições de conforto térmico dos utilizadores sem que existisse consumo excessivo de energia. Para isto, o regulamento impôs requisitos de projeto para novos edifícios e grandes intervenções (Governo Português, 1990).

A Diretiva Europeia 2002/91/CE (EPDB) deu origem a três Decretos de Lei. O primeiro, DL nº 78/2006, aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios. As principais metas atingidas foram a criação do Sistema de Certificação Energética (SCE) para a avaliação do desempenho e eficiência do edifício em termos energéticos e a implementação de medidas e requisitos para a otimização da qualidade do ar interior nos edifícios. A obrigatoriedade de certificação energética, passou a ser transversal a edifícios novos e grandes intervenções em edifícios existentes (Governo Português, 2006a).

O DL nº 79/2006 aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Em complementaridade o DL Nº 78/2006, o RSECE estabelecia requisitos relativamente à instalação manutenção e inspeção dos sistemas do edifício. Os sistemas de climatização, para aquecimento, arrefecimento e ventilação começaram a ter requisitos mínimos de eficiência associados e obrigatoriedade de avaliação do desempenho térmico aquando associados ao edifício (Governo Português, 2006b).

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) foi aprovado pelo DL nº 80/2006. Este documento servia de metodologia para o cálculo do desempenho térmico do edifício e, os objetivos principais eram a promoção de uso de fontes de energia renovável e a redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento. Em 2006, foi imitado a obrigatoriedade de uso de instalações de sistemas solares térmicos para aquecimento de água e, o incentivo de recorrer a sistemas solares fotovoltaicos (Governo Português, 2006c).

De forma a acompanhar as diretivas implementadas pela UE a DE 2010/31/UE foi convertida nacionalmente para o DL nº 118/2013. O Decreto-Lei visava a melhoria do desempenho energético dos edifícios com o SCE e com isto aprovou o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço (RECS). O conceito de edifícios nZEB foi pela primeira vez referenciado a nível nacional, e foi emitida a obrigatoriedade de edifícios públicos a partir de 1 de janeiro de 2019 e edifícios novos a partir de 1 de

janeiro de 2021 serem considerados edifícios nZEB. Entende-se por edifícios com necessidades quase nulas de energia, edifícios com elevado desempenho energético e que as necessidades de energia sejam supridas através de fontes de energia renováveis produzidas no local ou nas iminências. Segundo a legislação portuguesa, a publicação deste Decreto veio revogar as temáticas vigentes nos Decretos-Lei aprovados em 2006 (Governo Português, 2013).

À data de escrita deste documento a legislação que se encontra em vigor é o DL n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro e estabelece os requisitos aplicáveis aos edifícios para aprimorar o desempenho energético dos mesmos. Neste Decreto-Lei é estabelecido os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios, promovendo a melhoria do desempenho energético e estabelecendo os requisitos regidos pelo SCE (Governo Português, 2020a).

O Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC 2030) foi desenvolvido por Portugal, em 2020. As principais metas apresentadas, para implementar até 2030, foram: incorporação para 47% da energia renovável no consumo final bruto e redução de 35% do consumo de energia primária para obter uma melhor eficiência energética (Governo Português, 2020b).

Na Figura 6 está representada a evolução da legislação portuguesa, nos seus atos mais relevantes, consoante as publicações da UE.

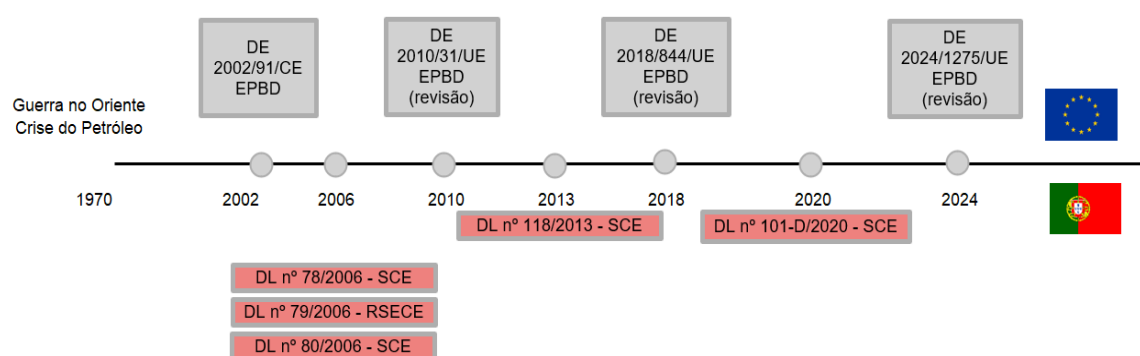


Figura 6 – Cronograma Legislação Portuguesa e Europeia [adaptado de (SCE, 2025)]

É evidente que tanto a nível europeu como a nível nacional a constante evolução está a ocorrer no sentido positivo. Apesar de ser um processo moroso de mudança, as novidades futuras apontadas para o SCE sintetizam-se, segundo o Diretor de Edifícios e Eficiência dos Recursos da ADENE, em doze medidas.

Das medidas apresentadas destacam-se a harmonização das classes energéticas a nível europeu (classe energética de A a G), a definição dos futuros edifícios nZEB, e a criação de uma métrica para que todos os edifícios se tornem classe A até 2050. A criação de uma base para implementação regulamentar de forma a medir o contributo dos edifícios para raziar as alterações climáticas, e a criação de um indicador que contabiliza o contributo para o potencial de aquecimento global ao longo da sua vida útil são objetivos que se estimam ser cumpridos com a nova EPBD publicada pela Comissão Europeia (Fragoso, 2023).

Com a implementação dos desafios futuros apresentados espera-se que a metodologia de certificação entre os vários países da união europeia se aproxime. A nível nacional considera-se que o processo de transformação dos edifícios torne o parque imobiliário mais eficiente, descarbonizado e confortável (Fragoso, 2023).

2.2.3. CONCEÇÃO ECOLÓGICA - *ECODESIGN*

A atual Portaria nº 138-I/2021 refere que, os elementos que constituem um sistema devem ser caracterizados por documentação técnica e devem possuir uma etiqueta energética que respeite o sistema de emissão de etiquetas das diretivas europeias ou da regulamentação nacional (Governo Português, 2020a). Neste subcapítulo será apresentado as políticas atualmente utilizadas para fazer esta referência dos sistemas.

A melhoria constante da eficiência energética, a preocupação com o consumo de energia e a redução das emissões de GEE são grandes motores que movem a conceção de novas políticas na União Europeia. A resposta a todas as questões passou pela implementação de instrumentos regulamentares para garantir a conceção ecológica dos produtos que consumiam energia. A política *Ecodesign* obriga os fabricantes a conceberem e a disponibilizar, no mercado, produtos mais eficientes, menos poluentes, com uma vida útil mais prolongada e que a sua reparação e reciclagem seja possível. Um desafio enfrentado pela regulação destas medidas foi como a informação passaria para o consumidor, para que este pudesse estar informado sobre o desempenho energético e pudesse fundamentar a sua opção de compra.

Em 2005 estabeleceu-se a Diretiva 2005/32/CE, a diretiva de Conceção Ecológica, que estabelecia requisitos ecológicos de eficiência energética e desempenho dos equipamentos que consumiam energia. A DE promovia, ainda, o uso sustentável dos recursos. Passado 4 anos, em 2009, a diretiva foi revogada dando origem à Diretiva 2009/125/CE, expandiu os requisitos para todos os produtos que utilizassem energia, para que fosse mais vasto o leque de aplicação da diretiva referida. (Barkhausen, Durand e Fick, 2022).

Atualmente, o regulamento UE 2024/1781 do Parlamento Europeu e do Conselho revogam a última diretiva apresentada, e surge um pilar fundamental na estratégia do Pacto Ecológico Europeu. Os objetivos destacados são a melhoria da eficiência energética, a promoção da durabilidade e reparação dos produtos, a redução de emissões poluentes e o incentivo à inovação. A inovação refere forçosamente o recurso ao conceito de economia circular, a transposição da legislação trouxe o passaporte digital do produto, este permite consultar de forma detalhada a composição, durabilidade, eficiência, reciclagem e reparação do produto (Comissão Europeia, 2024a).

Em Portugal o DL nº 12/2011, até à data atual, é a legislação que se encontra em vigor referente à conceção ecológica dos produtos. Não obstante da política de produto europeia, a marcação CE, a política de conceção ecológica tem vindo a contribuir de forma positiva para o quadro da indústria ao estabelecer uniformização da forma como é exposta a eficiência energética dos produtos. A preocupação desta iniciativa estende-se no decorrer da vida útil do produto, começado na escolha das matérias-primas, fabrico, embalagem, transporte, instalação e manutenção, até à sua possível utilização em fim de vida (DGEG, 2021).

Relativamente à etiquetagem energética, a certificação energética dos equipamentos é obrigatória em toda a UE desde 1992. O cerne fundamental desta medida é identificar os aparelhos mais eficientes e que resultam numa poupança de energia, ou seja, um menor custo de utilização. A escala energética, mais recente, define-se de A a G sendo A nível mais eficiente e G o nível menos eficiente. As classes definidas acima estão em vigor desde março de 2021 para equipamentos como máquinas de secar, máquinas de lavar a louça, lâmpadas, entre outros. A escala antiga ainda é as classes utilizadas para classificar a eficiência energética dos aparelhos como é exemplo as unidades de ar condicionado, caldeiras e ventiladores. O pressuposto futuro é que todos os equipamentos se classifiquem com a escala de A a G para uma maior harmonização da legislação. Valores relativos à eficiência do equipamento, referências acústicas e valores de intervalo de eficiência consoante a região que integra são informações obrigatórias no certificado (DGEG, 2021).

2.3. EDIFÍCIOS NZEB

No final dos anos 70 e início dos anos 80, coincidente com a guerra no Oriente, começaram a aparecer documentos publicados onde enfatizavam o conceito de “*energy independent house*” e “*zero energy house*”. Datada as primeiras menções do conceito, evidencia-se que não se trata de um conceito recente. A prioridade do conceito era a tentativa de alcançar um balanço nulo na energia com a utilização de novas tecnologias e métodos passivos (Jaysawal et al., 2022).

O conceito de edifícios nZEB, atualmente, é transversal às várias entidades políticas face à preocupação com o aquecimento global e às elevadas emissões de carbono. Esta definição ganha mais influência no setor dos edifícios por este ser um dos maiores consumidores de energia primária no setor energético mundial (Jaysawal et al., 2022).

A DE 2010/31/EU introduziu o conceito a nível europeu e estipulou datas para a obrigatoriedade de novos edifícios satisfazerem os requisitos dos edifícios nZEB, como referido no subcapítulo anterior. Em Portugal o conceito de edifícios nZEB foi introduzido pelo DL n° 118/2013. Resumidamente, define-se como um edifício de desempenho energético muito elevado e que deve obedecer a limites numéricos e requisitos quantitativos (Governo Português, 2013).

Para a obtenção de um saldo líquido zero é necessário existir um equilíbrio energético entre a energia produzida e a energia recebida ao longo de um determinado período de tempo.

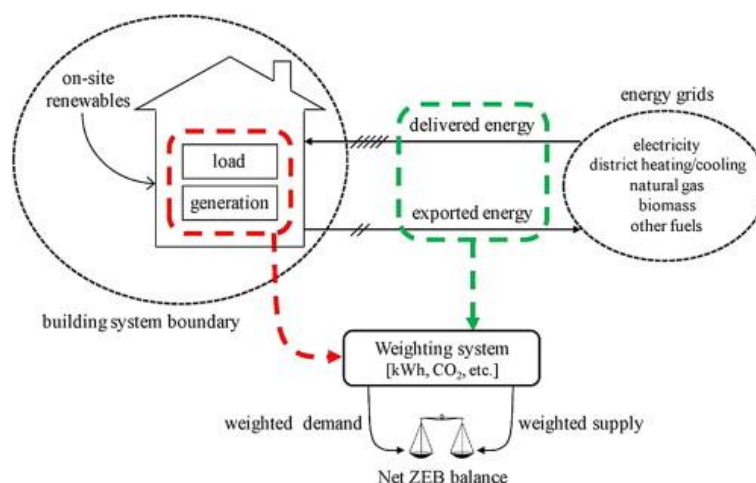


Figura 7 - Estrutura operacional de um edifício nZEB (Deng, Wang e Dai, 2014)

Os edifícios de habitação, para além dos restantes requisitos aplicáveis a nova habitação, devem verificar os seguintes pontos, mediante a zona climática onde se inserem, para receber o estatuto de edifício nZEB. O documento mais recente que estabelece as medidas a cumprir é o Despacho n° 6476 – H/2021 (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024).

- $N_{ic}/N_i \leq 0,75$ e $N_{vc}/N_v \leq 1,00$.
- $N_{tc}/N_t \leq 0,50$, classe energética igual ou superior a A.
- $Ren_{Hab} \geq 0,50$, pelo menos metade do parâmetro N_{tc} terá de ser suprido por fontes de energia renovável.

A obrigação da integração de sistemas com fonte de energia renovável é uma forma de contemplar e atingir a neutralidade carbónica no edifício. Recentemente, a última EPBD de maio de 2024 exige que a partir de 1 de janeiro de 2030 todos os edifícios novos sejam edifícios *zero emission building* (ZEB). A diretiva europeia define-o como sendo um edifício que não tem emissões de carbono no local proveniente de combustíveis fósseis e que possua um desempenho energético muito elevado. Esta medida implementada pela CE tem como objetivo principal forçar os estados-membros a alcançarem a neutralidade carbónica (Comissão Europeia, 2024b).

2.4. EVOLUÇÃO DA CERTIFICAÇÃO EM PORTUGAL

Desde 1 de janeiro de 2009 que a certificação energética é obrigatória, quer seja o edifício novo ou existente. Os certificados emitidos entre o período de 2008 a 2013 receberam a designação de SCE-I e com a entrada, em vigor, do DL n.º 118/2013 de 20 de agosto passaram a ser designados por SCE-II. Em 2023 foi atingido um novo recorde de número de certificados emitidos, sendo que, 89% destes eram referentes a edifícios de habitação. Na Figura 8 pode ser analisada a evolução da certificação energética em Portugal até 2023. A quebra de emissões de certificados em edifícios novos em 2022 é suportada pela alteração da legislação, passando a construção nova a ser emitida como edifício existente ao abrigo da anterior legislação praticada (Observatório da Energia, DGEG e ADENE, 2024).

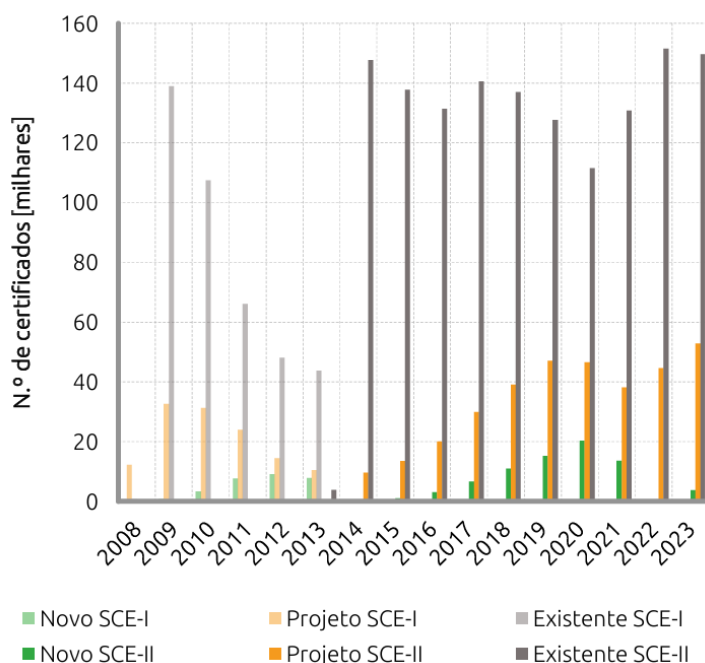


Figura 8 - Certificados energéticos emitidos para habitação entre 2008 e 2023 (Observatório da Energia, DGEG e ADENE, 2024)

A evolução associada à percentagem de cada uma das classes energéticas é interessante de ser analisada, bem como a diferença entre as restantes classes num mesmo ano. A Figura 9 retrata a evolução positiva do parque habitacional certificado, destacando-se o crescimento das duas classes energéticas que representam maior eficiência. No ano de 2023 a percentagem de edifícios certificados com a classe A ou A+ correspondiam a cerca de 35% do total de certificados desse mesmo ano.

A partir de 1 de julho de 2021 o atual DL n.º 101-D/2020, em vigor, tinha como requisito que os edifícios de nova construção tivessem como classe energética A ou A+, ou seja que fossem considerados edifícios nZEB. No gráfico de barras percentuais podemos, desta forma, justificar o incremento que estas classes tiveram nos anos seguintes, nomeadamente 2022 e 2023. O anterior DL n.º 118/2013 permitia que edifícios de construção nova tivesse como classe energética B-, B, A e A+ (Observatório da Energia, DGEG e ADENE, 2024).

Sendo os edifícios existentes os que possuem pior classe energética associadas, é importante referir algumas conclusões referentes a esta tipologia. A elevada quantidade de certificados emitidos a edifícios existentes é notória, as ilações que se podem retirar desta informação é, a capacidade e a quantidade de imobiliário que pode ser reabilitado e melhorado, com o intuito de aumentar a eficiência do parque habitacional português e melhorar o conforto dos seus habitantes. Existe um elevado potencial na incrementação deste tipo de edifícios e a legislação persiste em implementar medidas para que futuramente possuam classes energéticas mais elevadas.

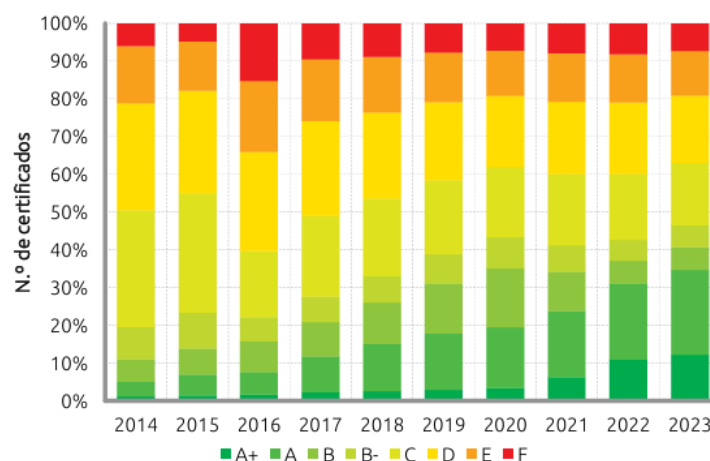


Figura 9 – Evolução classe energética na habitação entre 2014 e 2023 (Observatório da Energia, DGEG e ADENE, 2024)

O Sistema de Certificação Energética desenvolveu medidas de melhoria e poupança estimada para que estas pudessem apoiar os proprietários, na eventualidade de melhoria de soluções. A apresentação das melhorias tem como intuito potenciar a diminuição dos consumos de energia, este tipo de informação encontra-se no final do certificado de desempenho energético. A linguagem praticada é adaptada ao utilizador e cada uma das melhorias apresenta um valor estimado de investimento e, eventual retorno em poupança estimada resultante da intervenção. As medidas de melhoria, para a habitação, estão divididas em: paredes, coberturas, pavimentos, vãos envidraçados, energias renováveis, AQS e Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) (Observatório da Energia, DGEG e ADENE, 2024).

Nos edifícios novos certificados destacam-se, como medidas de melhoria, intervenções necessárias ao nível das paredes, coberturas, mas mais relevante para a escrita deste documento, medidas de melhoria nos sistemas de energia renovável, AVAC e AQS. Na Figura 10 podem ser observadas as percentagens associadas a cada tipo de intervenção. As entidades estimariam uma poupança de 62% de energia primária caso as implementações da totalidade das medidas de melhoria proposta fossem efetivadas.

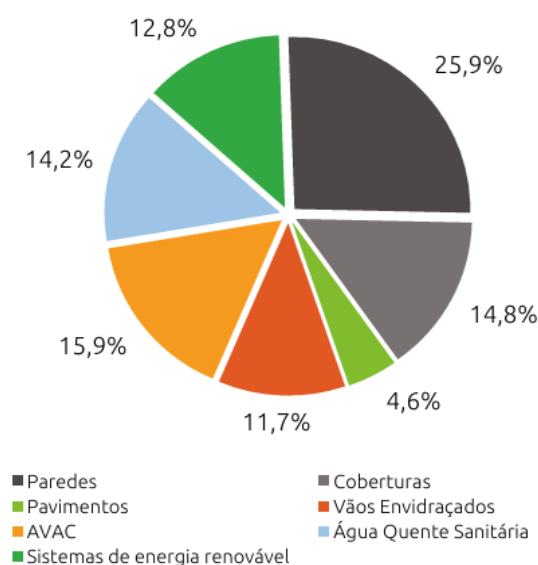


Figura 10 – Medidas de melhoria por tipo de intervenção entre 2014 e 2023 (Observatório da Energia, DGEG e ADENE, 2024)

2.5. METODOLOGIA ATUAL DE CERTIFICAÇÃO EM PORTUGAL

2.5.1. ENQUADRAMENTO

A metodologia de cálculo do desempenho energético é estabelecida pelo Despacho n° 6476-H/2021 – Manual de Certificação Energética (Manual SCE) na sequência de publicação do Decreto-Lei em vigor, DL n° 101-D/2020. Este documento foi elaborado tendo em conta a transposição da DE 2018/844 e contém um conjunto de regras e orientações para a instrução, condução e conclusão dos processos de avaliação do desempenho energético dos edifícios, tendo em conta as especificidades dos edifícios abrangidos.

O objetivo da certificação energética é resumir de uma forma simples o desempenho que um edifício apresenta no âmbito da sua compra, venda ou arrendamento (Economidou et al., 2020b). No caso da nova construção a certificação permite obter uma informação fidedigna sobre potenciais consumos de energia e, em edifícios existentes relatam medidas de melhoria do desempenho energético e evidenciam consumos típicos (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024).

O Manual SCE apresenta duas metodologias de cálculo de avaliação do desempenho energético distintas, uma para edifícios de habitação e outra para edifícios de comércio e serviço. A elaboração do primeiro documento passa pela emissão do Pré-Certificado Energético (PCE) e tem o intuito de verificar se o projeto cumpre os requisitos em vigor. O PCE é emitido durante a fase de licenciamento às entidades municipais para aprovação. Após a conclusão da obra a certificação energética é realizada por um perito qualificado no qual este relata a situação real da *performance* energética através de um método de cálculo que resulta numa classe energética atribuída ao edifício. A escala é designada por letras (A+, A, B, B-, C, D, E e F), sendo A+ a classe que representa maior desempenho térmico e F a classe que representa menor desempenho térmico (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024).

As classes anteriormente enunciadas são determinadas em função do rácio de classe energética em edifícios de habitação, R_{Nt} , a Equação 1 representa a relação entre as necessidades nominais de energia primária previstas e as de referência. A Tabela 1 refere os intervalos de classe energética.

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (Eq. 1)$$

Em que:

R_{Nt} – Rácio de classe energética em edifícios de habitação;

N_{tc} – Necessidades nominais anuais de energia primária [kWh_{EP}/(m².ano)];

N_t – Necessidades nominais anuais de energia primária de referência [kWh_{EP}/(m².ano)];

Tabela 1 - Intervalos de valores do rácio de classe energética em edifícios de habitação

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	$R_{Nt} > 2,50$

2.5.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO

Como foi apresentado no capítulo anterior a legislação portuguesa foi altamente influenciada pelas diretivas europeias. A certificação de edifícios tem crescido e tomado grande relevância com o passar dos anos, atualmente o Despacho nº 6476-H/2021 – Manual SCE é o documento, suportado pelo DL nº 101-D/2020, que estabelece a metodologia de cálculo do desempenho energético do edifício e obtenção da respetiva classe energética. A um bom desempenho de um edifício está sempre associado um menor consumo de energia e à implementação de estratégias de redução dos custos associados a esta otimização.

A metodologia de cálculo do Manual SCE debruça-se, essencialmente, sobre dois grandes alicerces no que toca à classificação energética de edifícios de habitação: a componente passiva do edifício e a componente ativa. Como a elaboração desta dissertação recai sobre o impacto das instalações na classe energética dos edifícios o foco principal será a componente ativa, ou seja, a eficiência dos sistemas.

2.5.2.1. DEFINIÇÃO DE N_{tc}

As necessidades nominais anuais de energia primária, N_{tc} , representam o total de energia necessária para satisfazer anualmente os usos regulados (aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}) ambiente, sistemas de ventilação mecânica e de preparação de AQS), subtraindo a contribuição das fontes de energia renováveis utilizada para esses usos. Na equação abaixo as necessidades de energia útil são convertidas para consumos de energia final, sendo afetados pela eficiência dos sistemas técnicos e convertidos em energia primária através dos respetivos fatores de conversão (DGEG, 2021).

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot \delta_i \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot \delta_v \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad (Eq. 2)$$

Para o cálculo de cada termo associado ao valor das necessidades anuais de energia primária, a Tabela 2 indica as respetivas unidades e a descrição de cada uma das parcelas.

Tabela 2 – Descrição das componentes para cálculo N_{tc} [adaptado do (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024)]

Sigla	Descrição	Unidade
N_{tc}	Necessidades nominais anuais de energia primária	kWh _{EP} /(m ² .ano)
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	kWh/(m ² .ano)
$f_{i,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j	-
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	kWh/(m ² .ano)
$f_{v,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j	-
Q_a	Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS	kWh/ano
$f_{a,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j	-

Tabela 2 – Descrição das componentes para cálculo N_{ic} [adaptado do (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024)]

Sigla	Descrição	Unidade
η_k	Eficiência do sistema k para a fonte de energia j , que corresponde ao respetivo valor de E_{DEF} , assumindo o valor de 1 no caso de sistemas de cogeração ou trigeração e de sistemas que recorram a fontes de energia renovável, com exceção de sistemas de queima a biomassa sólida. Na ausência de isolamento térmico na rede de distribuição de água quente para aquecimento ambiente ou para preparação de AQS que assegure uma resistência térmica de, pelo menos, $0,25 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$, a eficiência dos respetivos sistemas técnicos deve ser multiplicada por 0,9	-
$W_{vm,j}$	Consumo de energia elétrica j do funcionamento do ventilador	kWh/ano
$E_{ren,p}$	Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício	kWh/ano
A_p	Área interior útil de pavimento	m ²
δ_i	Fator de anulação do consumo de energia para aquecimento, igual a 0 quando a relação N_{ic}/N_i é menor ou igual a 0,6 e o produto $g_{tot} \cdot F_o \cdot F_f$ é menor ou igual a 0,15 em todos os vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior, excluindo desta condição os situados no quadrante norte e aqueles em que a soma da sua área por espaço é igual ou inferior a 5% da área de pavimento desse mesmo espaço, tomando um valor igual a 1 nas restantes situações	-
δ_v	Fator de anulação do consumo de energia para arrefecimento, igual a 1, exceto quando existem condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado, isto é, quando o fator de utilização de ganhos térmicos (ηv) é superior ao respetivo fator de referência (ηv_{ref}), assumindo nesta situação o valor 0	-
$F_{pu,j}$	Fator de conversão de energia final para energia primária para fonte de energia j , incluindo renovável	kWh _{EP} /kWh
$F_{pu,p}$	Fator de conversão de energia final para energia primária para fonte de energia renovável p .	kWh _{EP} /kWh

2.5.2.2. DEFINIÇÃO DE N_t

As necessidades nominais anuais de energia primária de referência, N_t , estabelecem o total de energia primária necessária para cobrir anualmente as necessidades de aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS no edifício de referência. O cálculo parte do pressuposto que:

- Não existem consumos de energia associados a ventilação mecânica.
- Não existem sistemas de aproveitamento de energias renováveis.
- O cálculo é efetuado com valores de referência alusivos ao sistema utilizado.

A Equação 3 representa o cálculo de N_t e a Tabela 3 a descrição de cada um dos componentes da mesma.

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (Eq. 3)$$

Tabela 3 - Descrição das componentes para cálculo do N_t [adaptado do (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024)]

Sigla	Descrição	Unidade
N_t	Necessidades nominais anuais de energia primária de referência	kWh _{EP} /(m ² .ano)
N_i	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência	kWh/(m ² .ano)
$f_{i,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j	-
N_v	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência	kWh/(m ² .ano)
$f_{v,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j	-
Q_{aref}	Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS de referência	kWh/ano
$f_{a,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j	-
$\eta_{ref,k}$	Eficiência de referência do sistema k	-
A_p	Área interior útil de pavimento	m ²
$F_{pu,j}$	Fator de conversão de energia final para energia primária para fonte de energia j , incluindo renovável	kWh _{EP} /kWh

2.5.2.3. FATOR DE CONVERSÃO DE ENERGIA

As definições de alguns conceitos, segundo o Manual SCE, tornam-se essenciais para entender a representatividade do fator de conversão de energia. Entende-se por energia primária a “energia proveniente de fontes renováveis ou não renováveis não transformada ou convertida”. A energia consumida pelos sistemas técnicos é definida por energia final. Já a energia que provém da combustão de combustíveis fósseis é designada por energia fóssil (República Portuguesa, 2019).

A definição de valores para o fator de conversão de energia não é consensual em toda a Europa. As diretivas europeias não definem uma implementação unificada, deixando ao critério das diretivas nacionais de cada país. A preferência ou a predominância de fontes de energia divergentes, em cada país, levam a adoção de valores diferentes para um mesmo parâmetro.

A realização de uma comparação entre os diversos estados da UE, no que compete à determinação do desempenho energético do edifício, é difícil por consequente da não existência de uma harmonização abrangente a todos os estados membro (Economidou et al., 2020b).

Na Tabela 4 constam os valores dos fatores de conversão de energia final em energia primária apresentados no Manual SCE.

Tabela 4 – Fatores de conversão de energia final para energia primária, F_{pu} [adaptado do (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024)]

Tipo de Energia	F_{pu} [kWh _{EP} /kWh]
Eletricidade, independente da origem (renovável ou não renovável)	2,50
Combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não renováveis	1,00
Energia térmica de origem renovável	1,00
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 trigeriação no edifício de referência	1,70

2.5.2.4. EFICIÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS

O Despacho nº 6476-H/2021 menciona o tipo de eficiência que deve ser utilizada para o cálculo dos parâmetros de acordo com o tipo de equipamento utilizado. Existem dois tipos de eficiência a ponderar, a eficiência nominal e a eficiência sazonal. O documento possuiu, igualmente, uma tabela que refere as eficiências e os sistemas a considerar quando aplicado o cenário por defeito, ou seja, para contabilização dos parâmetros do edifício de referência.

A Diretiva Europeia *Ecodesign* definiu o novo método de classificação da eficiência energética dos equipamentos onde, principalmente, as máquinas térmicas seriam classificadas pela eficiência sazonal. Este tipo de eficiência permite medir a real eficiência energética da tecnologia ao longo de todo o ano, representando uma indicação fidedigna do impacto ambiental do sistema. Na Tabela 5, abaixo, podem ser visualizadas o tipo de eficiências a considerar em função do equipamento utilizado.

Tabela 5 – Eficiências a considerar em função do equipamento e função [adaptado do (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024)]

Função	Eficiência, E		Exemplo de equipamentos
AQS	η_{nom}	Eficiência nominal	Esquentador, caldeira, termoacumulador, recuperador de calor e salamandra
	$SCOP_{DWH}$ ou COP_{DWH}	Eficiência sazonal, ou na sua ausência, eficiência nominal	Bomba de calor
Aquecimento ambiente	η_{nom}	Eficiência nominal	Caldeira, termoacumulador, recuperador de calor e salamandra
	SCOP ou COP	Eficiência sazonal, ou na sua ausência, eficiência nominal	Bomba de calor, <i>split</i> , <i>Multisplit</i> , VRF, chiller e Rooftop
	$SPER_h$ ou PER_h	Eficiência sazonal, ou na sua ausência, eficiência nominal	
Arrefecimento ambiente	SEER ou EER	Eficiência sazonal, ou na sua ausência, eficiência nominal	<i>Split</i> , <i>Multisplit</i> , VRF, <i>chiller</i> e Rooftop
	$SPER_c$ ou PER_c	Eficiência sazonal, ou na sua ausência, eficiência nominal	

O dimensionamento realizado, através da metodologia de cálculo apresentada no Manual SCE, considera que o comportamento dos utilizadores segue um padrão definido e que a instalação dos sistemas é realizada de forma a retirar a máxima eficiência deles. O que se espera é que o utilizador tenha conhecimento da gestão que deve ser efetuada para que o dimensionamento corresponda ao que se passará no decorrer da vida útil do sistema. Face ao exposto, a Equação 4 representa o cálculo que deve ser efetuado para os valores da eficiência nominal previstos na tabela anterior. Ressalvando que, deve ser privilegiado, caso exista, o valor da eficiência sazonal dos sistemas.

$$E_{nom} = \frac{P_n}{Q_n} \quad (Eq. 4)$$

Em que:

E_{nom} – Eficiência nominal do sistema (η_{nom});

P_n – Potência nominal ou capacidade nominal do sistema [kW];

Q_n – Caudal térmico nominal, consumo nominal ou potência absorvida do sistema [kW];

2.5.2.5. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQS

As necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de águas quentes sanitárias, Q_a , são calculadas de acordo com a Equação 5 e variam em função do consumo médio diário de referência, do número de dias de consumo no ano e do aumento da temperatura em relação à temperatura da água da rede de abastecimento.

$$Q_a = M_{AQS} \cdot 4,187 \cdot \Delta T \cdot n_d / 3600 \quad (Eq.5)$$

Em que:

Q_a – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano];

M_{AQS} – Consumo médio diário de referência [litros];

ΔT – Aumento de temperatura necessário para preparação de AQS, assume o valor de 35 [°C];

n_d – Número anual de dias de consumo de AQS, assume o valor de 365 [dias/ano];

O consumo médio diário de referência é determinado consoante o número de ocupantes do edifício e toma o valor de 40 litros diários por ocupante. Este valor pode ser minimizado caso os sistemas finais possuam certificação de eficiência hídrica.

$$M_{AQS} = 40 \cdot n_{oc} \cdot f_{eh} \quad (Eq.6)$$

Em que:

n_{oc} – Número de ocupantes convencionais do edifício em função da tipologia [ocupantes];

f_{eh} – Fator de eficiência hídrica, toma o valor de 0,9 para sistemas de duche ou chuveiros com rótulo A ou superior ou para sistemas de recuperação térmica de águas residuais para preparação de AQS e valor unitário nos restantes casos;

2.5.2.6. DEFINIÇÃO DE E_{ren}

A energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinadas a autoconsumo dos usos regulados é calculada através da folha de cálculo, SCE.ER – Cálculos regulamentares do sistema de certificação de edifícios relativos ao aproveitamento de energias renováveis, desenvolvida pela DGEG.

Os dados sobre os consumos de água quente sanitária e a zona climática onde se insere o edifício são a primeira informação a ser introduzidos. A caracterização do consumo do edifício é efetuada de acordo

com as Equações 5 e 6 deste documento. Ao ser selecionada a tecnologia que se pretende simular é necessário inserir as características técnicas dos equipamentos e a folha de cálculo aplica a metodologia de cálculo presente no Despacho nº 6476-H/2021. Serão utilizadas quatro tecnologias que utilizam fonte de energia renovável, pelo que apenas serão identificadas as etapas de cálculo referentes às mesmas.

A energia produzida por um sistema de queima de biomassa sólida que tenha a função exclusiva para aquecimento do ambiente é determinada de acordo com a seguinte equação.

$$E_{ren} = \frac{N_{ic} \cdot A_p}{\eta_k} \cdot f_{i,k} \quad (Eq. 7)$$

Em que:

E_{ren} – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano];

N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/ (m².ano)];

A_p – Área interior útil de pavimento [m²];

η_k – Eficiência do sistema k;

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k;

$$f_{i,k} = \frac{A_s}{A_p} \quad (Eq. 8)$$

Em que:

A_s – Área dos compartimentos servidos pelo sistema k [m²];

No caso de sistemas do tipo bomba de calor aerotérmica, ou seja, do tipo ar – ar a contribuição renovável deste sistema é determinada conforme a Equação 9. São considerados apenas os contributos no caso de a bomba de calor elétrica ter um valor de eficiência superior a 2,5 e no caso de bombas de calor térmicas eficiência superior a 1,15.

$$E_{ren} = Q_{usable} \left(1 - \frac{1}{SPF} \right) \quad (Eq. 9)$$

Em que:

Q_{usable} – Energia útil para o uso de aquecimento, arrefecimento ou preparação de AQS suprida por bombas de calor [kWh/ano];

SPF – Fator médio de desempenho sazonal estimado;

Os sistemas solares térmicos podem ser divididos em solares térmicos ou solares fotovoltaicos. Para o cálculo da energia produzida pelos solares térmicos são utilizadas as seguintes equações, que requerem o conhecimento das características do local e forma de como são instalados.

$$E_{ren} = E_{sola ref} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (Eq. 10)$$

$$E_{sola ref} = 0,44 \cdot A_c \cdot G_h \quad (Eq. 11)$$

Em que:

$E_{sola ref}$ – Valor de referência da contribuição anual de sistemas solares térmicos para AQS [kWh/ano];

f_1 – Fator de redução relativo ao posicionamento ótimo;

f_2 – Fator de redução relativo ao sombreamento;

f_3 – Fator de redução relativo à idade do equipamento;

A_C – Área total de captação dos coletores [m^2];

G_h – Radiação solar média anual recebida numa superfície horizontal [$kWh/(m^2 \cdot ano)$];

Para os sistemas solares fotovoltaicos o cálculo é mais extenso porque é necessário realizar uma simulação para cada uso regulado que a produção de energia dos fotovoltaicos satisfaça. Após a parametrização dos sistemas, de acordo com os dados técnicos, deve ser definido o perfil de consumo elétrico do edifício. Na definição do perfil de consumo elétrico do edifício devem apenas ser considerados os consumos de energia final dos usos regulados que utilizem eletricidade. A duração da estação de aquecimento é definida de acordo com a localização do edifício.

Conhecidos os consumos anuais de cada uso regulado, estes devem ser distribuídos pelos meses em que se verificam de acordo com a Equação 12.

$$C_{m,uso\ j} = \frac{C_{a,uso\ j}}{N_{uso\ j}} \quad (Eq. 12)$$

Em que:

$C_{m,uso\ j}$ – Consumo mensal do uso regulado j [$kWh/mês$];

$C_{a,uso\ j}$ – Consumo anual do uso regulado j [kWh/ano];

$N_{uso\ j}$ – Número de meses em que se verificam consumos do uso regulado j [meses/ano];

O consumo de energia final nos meses que correspondem a cada simulação é determinado através do somatório dos consumos de todos os usos regulados nos meses aplicáveis, o que corresponde à Equação 13.

$$C_{a,simulação\ i} = \sum_i \left(\sum_j C_{m,uso\ j} \right) \quad (Eq. 13)$$

Em que:

$C_{a,simulação\ i}$ – Consumo de energia final nos meses correspondentes à simulação i [kWh/ano];

Para o cálculo da potência a considerar no perfil de consumo elétrico da simulação é necessário dividir o consumo diário da simulação, $C_{d,simulação\ i}$, pelas 24 horas do dia conforme a Equação 15. Mediante a relação entre $C_{d,simulação\ i}$ e o número de dias da simulação obtém-se o consumo diário da simulação em causa.

$$C_{d,simulação\ i} = \frac{C_{a,simulação\ i} \cdot 1000}{N_{simulação\ i}} \quad (Eq. 14)$$

$$P_{simulação\ i} = \frac{C_{d,simulação\ i}}{24} \quad (Eq. 15)$$

Em que:

$C_{d,simulação\ i}$ – Consumo diário da simulação i [Wh/dia];

$N_{simulação\ i}$ – Número de dias da simulação i [dias/ano];

$P_{simulação\ i}$ – Potência a considerar no perfil de consumo elétrico da simulação i [W];

Estando em condições de calcular a produção total do sistema solar fotovoltaico, esta deve ser obtida pela soma das produções das várias simulações realizadas, conforme o indicado na seguinte equação.

$$E_{ren} = \sum_i E_{ren,simulação\ i} \quad (Eq. 16)$$

Em que:

E_{ren} – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano];

$E_{ren, simulação\ i}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício na simulação i [kWh/ano];

A energia produzida pelos painéis fotovoltaicos tem de ser desagregada para cada simulação efetuada, para tal utilizam-se as seguintes equações.

$$E_{ren, uso\ j, i} = E_{ren, simulação\ i} \cdot \frac{C_{a, simulação\ j, i}}{C_{a, simulação\ i}} \quad (Eq. 17)$$

$$E_{ren, uso\ j} = \sum_i E_{ren, uso\ j, i} \quad (Eq. 18)$$

Em que:

$E_{ren, uso\ j, i}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo no uso regulado j do edifício e na simulação i [kWh/ano];

$E_{ren, simulação\ i}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício na simulação i [kWh/ano];

$C_{a, simulação\ j, i}$ – Consumo de energia final do uso regulado j nos meses correspondentes à simulação i [kWh/ano];

$C_{a, simulação\ i}$ – Consumo de energia final nos meses correspondentes à simulação i [kWh/ano];

$E_{ren, uso\ j}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo no uso regulado j do edifício [kWh/ano];

2.5.2.7. DEFINIÇÃO DE Ren_{Hab}

Os requisitos regulamentares, impostos à data de elaboração desta dissertação, implicam que pelo menos 50% da energia primária consumida provenha de fontes renováveis. Esta medida tem como objetivo a redução da dependência de combustíveis fósseis que está alinhado com as metas europeias de descarbonização dos edifícios.

O valor deste indicador é obtido pela relação entre a energia primária total renovável para autoconsumo nos usos regulados do edifício e a energia primária total para o uso de AQS.

$$Ren_{Hab} = \frac{\sum_p \frac{E_{ren, p}}{A_p} \cdot F_{pu, p}}{\sum_j \left(\frac{f_{a, k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu, j}} \quad (Eq. 19)$$

Tabela 6 Descrição das componentes para cálculo do Ren_{Hab} [adaptado do (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024)]

Sigla	Descrição	Unidade
Ren_{Hab}	Indicador de energia primária renovável em edifícios de habitação	-
$E_{ren,p}$	Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p destinadas a autoconsumo nos usos regulados do edifício	kWh/ano
A_p	Área interior útil de pavimento	m ²
$f_{a,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j	-
Q_a	Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS	kWh/ano
η_k	Eficiência do sistema k para a fonte de energia j , que corresponde ao respetivo valor de E_{DEF} , assumindo o valor de 1 no caso de sistemas de cogeração ou trigeriação e de sistemas que recorram a fontes de energia renovável, com exceção de sistemas de queima a biomassa sólida. Na ausência de isolamento térmico na rede de distribuição de água quente para aquecimento ambiente ou para preparação de AQS que assegure uma resistência térmica de, pelo menos, $0,25 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$, a eficiência dos respetivos sistemas técnicos deve ser multiplicada por 0,9	-
$F_{pu,j}$	Fator de conversão de energia final para energia primária para fonte de energia j , incluindo renovável	kWh _{EP} /kWh
$F_{pu,p}$	Fator de conversão de energia final para energia primária para fonte de energia renovável p .	kWh _{EP} /kWh

2.5.2.8. VENTILAÇÃO

Os sistemas de ventilação, segundo a Portaria 138-I/2021, podem ser classificados como naturais, mecânicos ou mistos. O documento legislativo prioriza que a ventilação do edifício seja realizada de forma natural e quando necessária complementada com soluções de ventilação mecânica, para assegurar a renovação do ar de forma correta (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024).

A ventilação natural ocorre por efeitos de diferença de temperatura e ação do vento, sem auxílio de sistemas mecânicos. Este tipo de sistemas é constituído por aberturas, passagens de ar interiores, condutas e grelhas que por si só garantem a renovação do ar. A norma que rege o dimensionamento do edifício por meios naturais é a Norma Portuguesa NP 1037-1.

Intitula-se por ventilação mecânica o processo em que as renovações de ar são realizadas através de meios mecânicos. Comercialmente a ventilação mecânica recebe o nome de Ventilação Mecânica Controlada (VMC) e pode ser dividida em dois tipos: ventilação mecânica controlada de fluxo simples e ventilação mecânica controlada de duplo fluxo. Na primeira a extração é realizada por meios mecânicos nos compartimentos de serviço e o controlo da distribuição do ar não é efetuado. No duplo fluxo existe o controlo do ar extraído e do ar admitido, de uma forma simultânea, existindo duas redes distintas. A este sistema pode ser adicionado um recuperador de calor que permite o aquecimento do ar insuflado nos compartimentos principais.

O sistema misto de ventilação procura combinar as vantagens de ambos os sistemas referidos acima. Segue o princípio de ventilação natural, contudo, dispõe de extração mecânica nos compartimentos de serviço para intensificar a ventilação, se necessário.

O DL n° 101-D/2020 estabelece que a taxa de renovações horárias de ar que deve ser respeitada, nos edifícios de habitação, tem de ser igual ou superior a 0,50 renovações de ar por hora.

A ventilação resulta de um conjunto de características do edifício tanto da vertente passiva como da vertente ativa. Como o tema deste documento se debruça, essencialmente, pela vertente ativa do edifício, neste caso os sistemas, a importância recairá no cálculo associado aos mesmos.

Segundo o Despacho em que debruça o Manual SCE, os ventiladores devem satisfazer os requisitos de conceção ecológica e ter informação qualificada sobre os caudais, pressão de funcionamento, consumo de energia e consumos específicos. A caracterização do componente é realizada através da potência elétrica absorvida que pode ser obtida mediante a Equação 20.

$$SFP = \frac{P_{abs}}{q_v} = \frac{\Delta P_{tot}}{3600 \times \eta_{tot}} = \frac{\Delta P_{stat}}{3600 \times \eta_{stat}} \quad (Eq.20)$$

Em que:

SFP – Potência específica da unidade de ventilação [$W/(m^3/h)$];

P_{abs} – Potência elétrica absorvida pela unidade de ventilação [W];

q_v – Caudal de ar da unidade de ventilação [m^3/h];

ΔP_{tot} – Diferença de pressão total no ventilador [Pa];

η_{tot} – Eficiência da unidade de ventilação baseada na pressão total;

ΔP_{stat} – Diferença de pressão estática no ventilador [Pa];

η_{stat} – Eficiência da unidade de ventilação baseada na pressão estática;

Nos edifícios de habitação apenas os ventiladores de funcionamento contínuo ou que não dependem da ação do utilizador, devem ser considerados para verificação dos requisitos e entrada no dimensionamento do desempenho energético (República Portuguesa, DGEG e ADENE, 2024).

Na casualidade de o sistema de ventilação possuir um sistema de recuperação de calor deve ser obtido, através da Equação 21, o valor da respetiva eficiência de recuperação.

$$\eta_t = \frac{T_{ins} - T_{ext}}{T_{ret} - T_{ext}} \quad (Eq.21)$$

Em que:

η_t – Eficiência da recuperação de calor;

T_{ins} – Temperatura do ar insuflado [$^{\circ}C$];

T_{ext} – Temperatura do ar exterior [$^{\circ}C$];

T_{ret} – Temperatura do ar de retorno [$^{\circ}C$];

No caso de o sistema de ventilação do edifício for ventilação mista, o caudal de ar novo admitido tem de ser calculado com base no contributo das duas formas de ventilação considerando as horas de funcionamento de cada uma.

$$Rph = \frac{t_{mecânica} \cdot R_{ph,mecânico} + t_{natural} \cdot R_{ph,natural}}{24} \quad (Eq.22)$$

Em que:

R_{ph} – Taxa de renovações de ar horaria [h^{-1}];

$R_{ph, mecânico}$ – Taxa de renovação de ar por ventilação mecânica [h^{-1}];

$t_{mecânica}$ – Horas de funcionamento diário da ventilação mecânica no período de ocupação [h];

$t_{natural}$ – Horas de funcionamento diário da ventilação natural no período de ocupação [h];

$R_{ph, natural}$ – Taxa de renovação de ar por ventilação natural [h^{-1}];

2.6. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES

2.6.1. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO NOVOS

Os edifícios de habitação novos abrangidos pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 dezembro devem ser avaliados e sujeitos a requisitos por forma a alcançarem níveis de desempenho energético elevados e, por consequência, níveis ótimos de rentabilidade, sendo estes níveis revistos periodicamente em função dos resultados de análises de custo ótimo, a realizar com intervalos não superiores a cinco anos.

Assim sendo, os edifícios novos devem ser edifícios com necessidades quase nulas de energia e cumprir os seguintes requisitos sintetizados na Tabela 7.

Tabela 7 - Requisitos regulamentares edifícios de habitação novos [adaptado de (Governo Português, 2021)]

Tipo de Requisito	Zona climática		
	I1	I2	I3
Conforto térmico			
Necessidades de aquecimento	$N_{ic}/N_i \leq 0,75$	$N_{ic}/N_i \leq 0,85$	$N_{ic}/N_i \leq 0,90$
Necessidades de arrefecimento	$N_{vc}/N_v \leq 1,00$		
Desempenho energético			
Classe energética	Igual ou superior a A		
Energia primária total	$R_{Nt} \leq 0,50$		
Energia primária renovável	$Ren_{Hab} \geq 0,50$		

2.6.2. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES DA COMPONENTE PASSIVA

Os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios, estabelecidos pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 dezembro e regulamentados pela Portaria n.º 138-I/2021 de 1 de julho, visam, em particular, minimizar a ocorrência de patologias e limitar as necessidades de energia com vista à obtenção de condições interiores de conforto.

2.6.2.1 ENVOLVENTE OPACA

Para efeitos do disposto nos artigos 6.º a 8.º do Decreto-Lei n.º 101 -D/2020, de 7 de dezembro, a envolvente opaca dos edifícios novos deve obedecer a Requisitos Gerais, Requisitos de Desempenho Energético Geral e Requisitos de Instalação Correta, que se consistem no seguinte:

- As características técnicas dos elementos da envolvente opaca devem ser evidenciadas por marcação CE ou etiqueta energética, ou outra documentação técnica oficial;
- O coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca localizados em Portugal Continental não pode ser superior aos valores indicados na Tabela 8;
- A instalação dos componentes da envolvente opaca deve ser realizada por pessoas devidamente

habilitadas para o efeito e que assegurem a conformidade com a legislação e regulamentação aplicável em vigor. Esses componentes devem, ainda, cumprir com as normas, a legislação em vigor e, sempre que aplicável, o especificado no projeto, as instruções de montagem definidas pelos fabricantes e a arte de boa execução;

Tabela 8 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação — Portugal Continental, $U_{\text{máx}}$ [W/(m².°C)] [adaptado de (Governo Português, 2021)]

Elementos da envolvente em zona corrente			Zona Climática		
Tipo de Elemento		Condição Fronteira	I1	I2	I3
Zona Corrente	Verticais	Exterior ou interior com $b_{\text{ztu}} > 0,70$	0,50	0,40	0,35
		Interior com $b_{\text{ztu}} \leq 0,70$	2,00	2,00	1,90
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{\text{ztu}} > 0,70$	0,40	0,35	0,30
		Interior com $b_{\text{ztu}} \leq 0,70$	1,65	1,30	1,20
Zona PTP	Verticais	Exterior	0,90		
		Interior com $b_{\text{ztu}} > 0,70$	1,75	1,60	1,45
		Interior com $b_{\text{ztu}} \leq 0,70$	2,00	2,00	1,90
	Horizontais	Exterior	0,90		
		Interior com $b_{\text{ztu}} > 0,70$	1,25	1,00	0,90
		Interior com $b_{\text{ztu}} \leq 0,70$	1,65	1,30	1,20

2.6.2.2 ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA

Para efeitos do disposto nos artigos 6.º a 8.º do Decreto-Lei n.º 101 -D/2020, de 7 de dezembro, a envolvente envidraçada dos edifícios novos deve obedecer a Requisitos Gerais, Requisitos de Desempenho Energético Geral e Requisitos de Instalação Correta, que se consistem no seguinte:

- As características técnicas dos elementos da envolvente envidraçada devem ser evidenciadas por marcação CE ou etiqueta energética, ou outra documentação técnica oficial;
- O coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente envidraçada dos edifícios de habitação sujeitos a grandes renovações, não pode ser superior aos valores indicados na Tabela 9;

Tabela 9 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada, $U_{\text{w,máx}}$ [W/(m².°C)] [adaptado de (Governo Português, 2021)]

Região	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Portugal Continental	2,80	2,40	2,20

No caso de edifícios de habitação ou de espaços com dormida em edifícios de comércio e serviços, o cumprimento dos requisitos previstos na tabela anterior pode ser avaliado tendo em conta o contributo dos dispositivos de proteção solar, considerando o valor de U_{WDN} .

- Excetuando os vãos envidraçados localizados no quadrante Norte, o fator solar dos vãos

envidraçados com todas as proteções solares ativadas deve obedecer a uma das seguintes condições:

$$\text{a) Se } A_{\text{env,espaço}} \leq 15\% A_{\text{pav}} \quad g_{\text{tot}} \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{\text{tot,max}}$$

$$\text{b) Se } A_{\text{env,espaço}} > 15\% A_{\text{pav}} \quad g_{\text{tot}} \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{\text{tot,max}} \cdot \frac{0,15}{\frac{A_{\text{env,espaço}}}{A_{\text{pav}}}}$$

em que:

g_{tot} – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes do edifício;

$g_{\text{tot,max}}$ – Fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados, obtido na Tabela 10;

$A_{\text{env,espaço}}$ – Soma das áreas de vãos envidraçados que servem o compartimento [m^2];

A_{pav} – Área do pavimento do compartimento servido pelo(s) vão(s) envidraçado(s) [m^2];

Tabela 10 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares, $g_{\text{tot,máx}}$

Tipo de Edifício	Inércia do Espaço	Zona Climática		
		V1	V2	V3
Edifícios de Habitação	Fraca	0,15	0,10	0,10
	Média ou Forte	0,56	0,56	0,50

- A instalação dos componentes da envolvente envidraçada deve ser realizada por pessoas devidamente habilitadas para o efeito e que assegurem a conformidade com a legislação e regulamentação aplicável em vigor. Esses componentes devem, ainda, cumprir com as normas, a legislação em vigor e, sempre que aplicável, o especificado no projeto, as instruções de montagem definidas pelos fabricantes e a arte de boa execução;

2.6.3. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES DA COMPONENTE ATIVA

Os requisitos relativos aos sistemas técnicos, estabelecidos pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 dezembro e regulamentados pela Portaria n.º 138-I/2021 de 1 de julho são variáveis em função de cada sistema técnico em concreto, que incidem, designadamente, no seguinte:

- Desempenho energético geral, que avalia ou afeta o desempenho de um sistema técnico no seu todo;
- Dimensionamento adequado, com vista a garantir que os sistemas técnicos são adequados às necessidades e características do edifício, bem como às condições de utilização esperadas;
- Instalação correta, que incide na forma de instalar os sistemas para que estes funcionem do modo para que foram concebidos;
- Ajustamento adequado, que contempla as tarefas de teste e ajustamento aos sistemas técnicos,

depois de instalados, para que funcionem em conformidade com as especificações definidas;

- Controlo adequado, a fim de garantir que as capacidades de controlo exigidas aos sistemas técnicos estejam em conformidade com as especificações definidas;

2.7. EQUIPAMENTOS

2.7.1. CALDEIRAS E ESQUENTADORES

As caldeiras e esquentadores são dispositivos que transferem energia química, contida nos combustíveis, em energia térmica para um fluido de trabalho. Estes equipamentos são destinados ao aquecimento de águas para aquecimento ambiente e para preparação de AQS. Geralmente, a caldeira e esquentador diferenciam-se no uso a que se destina e no volume necessário de fluido de trabalho. As caldeiras estão, usualmente, associadas a climatização e a preparação de AQS, enquanto os esquentadores estão frequentemente associados apenas à produção de águas quentes sanitárias.

A caldeira possui um queimador que, por meio de uma fonte de combustível, realiza uma fonte de ignição que liberta produtos de combustão a elevada temperatura. Estes gases de combustão são direcionados para um permutador, capacitado para a realização da troca térmica, que realiza o aquecimento da água usando como energia os produtos provenientes da combustão. Comercialmente este tipo de equipamentos denominam-se por caldeiras de condensação. Efetivada a transferência de calor presente no ar aquecido para a água fria, o fluido está pronto para sair da caldeira e circular na rede, tendo como último destino os equipamentos de aquecimento e de AQS. Os esquentadores têm o mesmo processo de aquecimento da água circulante, apenas não aproveitam os gases derivados da combustão resultantes do processo de ignição.

As caldeiras e os esquentadores, como aparelhos que utilizam combustível gasoso, podem ser tipificados consoante o modo de evacuação dos produtos de combustão. Sistemas do tipo A recebem ar do compartimento e libertam os produtos de combustão para o lugar onde se encontram. Aparelhos do tipo B recebem ar de admissão do compartimento, mas a exaustão é realizada por meio de conduta. Por fim, tipo C, são considerados estanques por não existir mistura do ar do compartimento com o sistema. Neste tipo de dispositivo o ar é extraído por meio de um ventilador e admitido ar do exterior por meio de uma conduta (Governo Português, 2017).

As caldeiras mais comuns, utilizadas para habitação, são as caldeiras murais com fonte de energia a gás. Existem, também, caldeiras de chão que permitem satisfazer maiores necessidades e adequando-se melhor quando existe a necessidade de satisfazer os dois usos regulados, aquecimento do ambiente e preparação de AQS.

Como apresentado na Tabela 5, a eficiência dos esquentadores e caldeiras são calculados através da Equação 4 referente à eficiência nominal.

2.7.2. TERMOACUMULADORES

Os termoacumuladores são equipamentos que proporcionam água quente sanitária por meio de acumulação. Este tipo de equipamento é bastante utilizado em edifícios existentes, aquando da inexistência de gás, mas podem ser integrados em outros sistemas como meio de auxílio. A capacidade do aparelho é escolhida de acordo com as necessidades de produção de água quente sanitária da habitação.

Ao contrário dos esquentadores e das caldeiras o termoacumulador não é um sistema imediato de produção de água quente sanitária, pode demorar algumas horas até atingir a temperatura ideal de consumo. O aquecimento da água, presente no reservatório, é realizado por uma fonte de energia elétrica usualmente uma resistência. Uma vez aquecida a água, o cilindro é capaz de armazenar energia térmica na forma de água quente e suprir os usos regulados.

2.7.3. MÁQUINAS TÉRMICAS – BOMBAS DE CALOR E MÁQUINAS FRIGORÍFICAS

Atualmente as máquinas térmicas podem satisfazer as necessidades dos três usos regulados aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS consoante o tipo de sistema. Tipicamente as bombas de calor fornecem calor ao reservatório de alta temperatura, quando ocorre o processo inverso o dispositivo é designado por máquina frigorífica e tem o objetivo de arrefecer. Existem diferentes tipos de bombas de calor e podem ser classificadas das duas seguintes formas:

Por tipo de fonte de calor:

- Solo (geotérmica) – fonte mais estável;
- Água – Em climas frios pode congelar;
- Ar (aerotérmica) – Adequada para climas moderados;

Por relação entre fonte de calor e fluido de permuta:

- Água – Água;
- Água – Ar;
- Ar – Água;
- Ar – Ar;
- Solo – Água;
- Solo – Ar;

As máquinas térmicas, pelo princípio teórico, regem-se pelo *Ciclo de Carnot* que é considerado o ciclo termodinâmico ideal. Estando adaptado o funcionamento deste ciclo a equipamentos, é natural que existam perdas associadas não representando o ciclo perfeito, de seguida passa-se a explicar o funcionamento real destes aparelhos.

Através de um compressor o fluido intermédio, geralmente vapor, é comprimido, aumentando a temperatura do fluido circulante e a pressão deste. No condensador o fluido, que passa de estado gasoso ao estado líquido, cede calor para o ambiente a aquecer. O líquido a alta pressão passa por uma válvula de descompressão, que faz expandir o fluido, diminuindo a pressão e a temperatura. Já do lado oposto, o fluido intermédio entra no evaporador e, ao absorver calor da fonte fria, passa novamente ao estado gasoso e a sua pressão baixa. Equipamentos que realizem o ciclo descrito são cognominados por bombas de calor, o ciclo inverso é referente às máquinas frigoríficas.

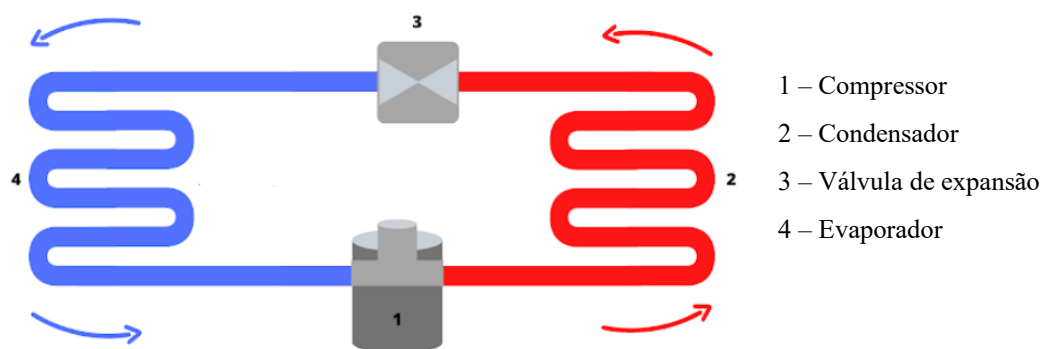


Figura 11 - Ciclo Bomba de Calor

No âmbito da terminologia do SCE existem vários tipos de equipamentos de climatização que tem como suporte unidades exteriores que são máquinas térmicas, de uma forma breve serão explicados cada um desses aparelhos.

- *Split* – sistema que é munido de uma unidade externa que contém o condensador, e de uma unidade interior que incorpora o evaporador;
- *Multisplit* – sistema que contém uma unidade exterior e várias unidades interiores;
- *Compacto* – sistemas que funcionam de forma independente sem necessitar de outras unidades;

- VRF (*Variable Refrigerant Flow*) – sistema de uma unidade exterior com capacidade de satisfazer um elevado número de unidades interiores, geralmente designado por AVAC centralizado;
- Rooftop – sistema em que a unidade exterior é colocada na cobertura, pode ter função de aquecimento ou arrefecimento e pode servir várias unidades interiores;
- *Chiller* – sistema constituído por uma unidade exterior e um reservatório interior onde se situa a água aquecida para uso doméstico;

É de referir que os sistemas Rooftop e VRF são adequados para espaços em edifícios com maiores necessidades de aquecimento/arrefecimento, como por exemplo os edifícios de comércio e/ou serviços.

A eficiência de uma bomba de calor é designada pelo *Coefficient of Performance (COP)*. No caso das máquinas frigoríficas o parâmetro é dado pelo valor do *Energy Efficiency Ratio (EER)*. Abaixo são apresentadas as equações de cálculo destes dois parâmetros.

$$COP = \eta_h \frac{T_h}{T_h - T_{ext}} \quad (Eq. 23)$$

Em que:

η_h - Rendimento do motor elétrico da bomba de calor;

T_{ext} - Temperatura exterior [K];

T_h - Temperatura interior *hot* [K];

$$EER = \eta_c \frac{T_c}{T_{ext} - T_c} \quad (Eq. 24)$$

Em que:

η_c - Rendimento do motor elétrico da bomba de calor;

T_{ext} - Temperatura exterior [K];

T_c - Temperatura interior *cold* [K];

Estes aparelhos são, geralmente, bastante eficientes onde o valor da eficiência varia entre os 2,5 e os 5, isto significa que por uma unidade de energia consumida o equipamento é capacitado de produzir 2,5 a 5 unidades de energia sob a forma de calor. A eficiência deste tipo de máquinas térmicas é altamente influenciada pela temperatura do fluido de entrada e com a temperatura do ambiente que pretendemos atingir. Relativamente às bombas de calor, quanto mais alta é a temperatura do ambiente que quero aquecer menor é o *COP* do equipamento e, o mesmo acontece quanto menor é a temperatura do fluido de entrada.

2.7.4. SISTEMAS A BIOMASSA

Entende-se por biomassa toda a matéria orgânica e de origem vegetal ou animal usada com a finalidade de produzir energia. O Manual SCE refere três sistemas que tem como fonte de energia a biomassa, são estes: caldeiras a *pellets*, salamandras e recuperadores de calor. Estes equipamentos servem, essencialmente, para o aquecimento ambiente. A biomassa é considerada uma fonte de energia renovável, porém esta classificação tem levantado questões no que toca à utilização destes aparelhos. A metodologia regulamentar considera a biomassa uma fonte de energia renovável contudo, a combustão dá origem a emissões de gases com efeito de estufa. Para que seja considerada uma fonte limpa tem de existir a compensação dessas emissões, ou seja, teria de haver a reposição das árvores suprimidas e o aumento da captação de dióxido de carbono. A gestão da floresta de uma forma mais sustentável é ainda um entrave para a mensura do equilíbrio entre os gases produtos de combustão e a reposição da floresta, daí a controvérsia levantada pelos peritos.

Nas caldeiras a *pellets* a ignição é realizada eletricamente, com a queima do granulado há geração de calor que é transferido para a água, através de um permutador de calor. Estes dispositivos tem um ventilador acoplado que controla a entrada do ar e realiza a queima da biomassa de uma forma mais eficiente. O aquecimento ambiente é realizado através das unidades finais que utilizam a água quente como fonte de calor. A libertação de calor direta para o ambiente, neste tipo de aparelho, geralmente não ocorre. São exemplos de unidades finais compatíveis com caldeiras a *pellets* os radiadores, pisos radiantes, ventiloconvectores, entre outros.

O funcionamento das salamandras é semelhante ao das caldeiras a *pellets* e consiste no aproveitamento do calor, derivado da combustão de matéria vegetal, para o aquecimento ambiente do compartimento onde se encontra o equipamento. Existem modelos mais recentes que conseguem realizar o aquecimento de água e a distribuição de ar quente para outros compartimentos.

O recuperador de calor tem como função principal aquecer o ambiente, através da combustão de biomassa é possível a libertação de calor através do vidro vitrocerâmico e da estrutura envolvente. A ventilação do compartimento, onde se localiza o aparelho, é essencial para que possa ocorrer a combustão e para que ocorram as renovações de ar necessárias. O transporte do ar aquecido pode ser realizado por meio de uma rede de condutas que administra o ar em outros compartimentos do edifício, porém, não se considera muito usual.

2.7.5. INSTALAÇÕES SOLARES

Neste subcapítulo será dado ênfase a dois sistemas que tem como fonte de energia o sol, que é considerado uma fonte renovável. Os coletores solares térmicos são sistemas que captam energia solar e transformam essa energia em calor, já os coletores solares fotovoltaicos captam energia solar e transformam em energia elétrica. Os coletores solares térmicos foram de uso obrigatório nos edifícios de habitação entre 2006 e 2013. A partir de 2013 foi implementada a obrigatoriedade de adoção de um sistema de produção de energia renovável que produzisse, no mínimo, o equivalente à produção de um coletor solar padrão por habitante. Desde 2021 que a componente renovável é contabilizada através do cumprimento do valor percentual mínimo de 50% associado ao Ren_{Hab} .

Segundo a Portaria nº 138-I/2021, que refere os requisitos de eficiência dos sistemas, esta enuncia que os sistemas devem ser certificados por laboratórios credenciados para o efeito e devem cumprir as normas EN 12976 e EN 12975. A eficiência do sistema toma valor de 1 caso este recorra a fontes de energia renovável, que é o caso de ambas as instalações apresentadas (DGEG, ADENE e Portuguesa, 2024).

Os sistemas solares térmicos são, usualmente, aplicados em habitação para a produção de água quente sanitária. Primeiro, a componente de captação, designado por painel, revestido por um material plástico absorve a radiação solar incidente. Dentro do elemento de captação existem tubos metálicos onde circula o fluido térmico que absorve o calor resultante da radiação incidente. O transporte de energia térmica até o elemento de acumulação é realizado pelo sistema de circulação, o fluido térmico é transferido para a água presente no depósito através de um permutador de calor. Poderá existir um sistema de controlo, munido de sensores que permitem a monitorização de temperatura e admissão de caudal. Este tipo de sistema, geralmente, tem um sistema de auxílio associado que garante o abastecimento de água quente com o apoio de energia convencional aquando a inexistência de energia solar.

Dentro deste princípio de funcionamento os sistemas solares térmicos mais comuns em habitações podem ser divididos em dois: sistemas termossifão e sistemas de circulação forçada. O sistema de termossifão, apresentado na Figura 12.a) é considerado um sistema mais simples por não necessitar de bomba elétrica para a realização da circulação do fluido térmico. O depósito localiza-se no exterior, a uma altura superior à dos painéis, o que representa um inconveniente deste tipo de sistema.

O sistema de circulação forçada, representado na Figura 12.b), realiza a circulação do fluido térmico através de uma bomba de circulação que recebe informação do sistema de controlo. As vantagens deste sistema são o facto de o depósito acumulador se situar no interior da habitação, podendo ter diversas capacidades, e do sistema de controlo permitir monitorizar a temperatura da água.



Figura 12 - Sistemas Solares Térmicos: a) Sistema Solar Termossifão, b) Sistema Solar de Circulação Forçada (Térmico, 2013)

A conversão de energia solar em energia elétrica, nos painéis fotovoltaicos, é realizada através do efeito fotovoltaico. O efeito é realizado por meio das células fotovoltaicas que são formadas por materiais semicondutores. A estas células estão associadas duas diferentes camadas, uma que contém excesso de eletrões e outra que apresenta défice de eletrões, criando uma diferença de potencial. A camada que apresenta excesso de eletrões, ao captar a energia dos fotões, transfere os eletrões para a barreira de potencial criando-se uma corrente contínua. Criada a corrente contínua é necessário que esta passe através do inversor para ser convertida em corrente alternada, de modo a ser utilizada no edifício.

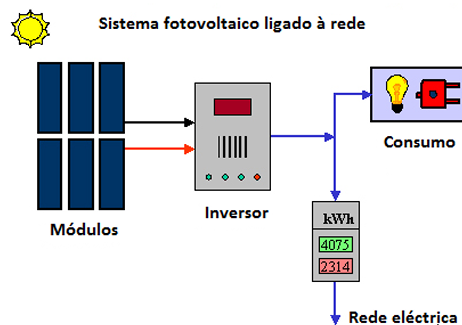


Figura 13 - Esquema Sistema Fotovoltaico ligado à rede (Mariano Sidrach de Cardona Ortín, 2008)

Existem sistemas que se a energia que o sistema produz é superior à consumida, a energia sobranete é enviada para a rede pública e o medidor realiza o registo dos créditos para serem abatidos na cobrança final imposta pela entidade. Podem, ainda, certos sistemas acoplar baterias de armazenamento de energia elétrica, para que se possa debitar o seu uso de acordo com as flutuações das necessidades do edifício.

2.7.6. SISTEMAS DE EMISSÃO

Os sistemas de emissão são as unidades finais dos sistemas de climatização que criam condições de conforto interior emitindo calor ou frio. Atualmente existem diversas variedades de unidades terminais das quais se destacam as quatro seguintes que serão abordadas.

Os radiadores são sistemas que emitem calor por convecção ou radiação, funcionando apenas para aquecimento. O fluido que circula dentro destes aparelhos é água e exige-se que a temperatura desta seja

elevada, geralmente superior a 60 °C, para garantir a potência necessária. Os sistemas são, tipicamente, alimentados por caldeiras murais, recuperadores de calor ou bombas de calor com elevado desempenho a altas temperaturas (Dias, 2015).

As instalações com ar, comumente designadas por ar condicionado, permitem climatizar e controlar a humidade do ar interior. É possível realizar aquecimento e arrefecimento ambiente, contudo, o aquecimento por estes meios é menos eficaz. Este tipo de sistema de emissão está normalmente associado a unidades externas que se denominam por bombas de calor, onde o fluido de permuta é o ar. A seleção deste tipo de equipamentos deve ter em conta o nível de ruído emitido.

Os ventiloconvectores funcionam de modo semelhante às unidades de ar condicionado no aquecimento e arrefecimento do espaço, contudo, são alimentados por água proveniente do sistema central. Podem ser combinados com bombas de calor, com fluido de permuta água, funcionando a baixas temperaturas (entre 40 °C e 45 °C) para aquecimento. Esta solução pode ser embutida no teto, fixada nas paredes ou simplesmente em contacto com o chão. É necessário ter em consideração o nível de ruído emitido por este tipo de equipamentos durante a sua seleção (Dias, 2015).



Figura 14 - Sistemas de emissão: a) Ar condicionado, b) Ventiloconvector

Por último, os pisos radiantes emitem calor, através do pavimento, que será distribuído criando uma diferença de temperatura entre o próprio piso e o teto. Este tipo de sistema pode ser hidráulico ou elétrico, sendo que, o último consiste numa rede de cabos no pavimento da habitação que é alimentada por energia elétrica. A solução de piso radiante elétrico é bastante cara e pouco sustentável. O sistema hidráulico representa uma rede de tubos distribuídos no pavimento, onde circula água a uma temperatura que varia entre os 35 °C e os 45 °C. A unidade terminal piso radiante pode realizar aquecimento e arrefecimento e estão, geralmente, associadas a bombas de calor por estas serem eficientes a baixas temperaturas. Podem também estar ligadas a recuperadores de calor ou caldeiras (Daikin).

3

METODOLOGIA

3.1. ENQUADRAMENTO

No capítulo 3 será abordada a metodologia que foi seguida no decorrer desta dissertação de mestrado, que possui como objetivo final avaliar o impacto que as instalações têm na classe energética de um edifício de habitação. Na Figura 15 é possível visualizar, através de um fluxograma, a ligação entre as diferentes ações desenvolvidas até atingir o objetivo. A metodologia da presente tese consiste na seleção de um edifício de habitação para o caso de estudo, com determinada arquitetura e localização, e na definição de diferentes cenários conjugando vários tipos de sistemas de ventilação, aquecimento e arrefecimento ambiente, preparação de AQS e sistemas de produção de energias renováveis, na simulação desses cenários, através da aplicação da metodologia de cálculo energético apresentada no capítulo anterior, bem como, na comparação e análise dos resultados obtidos nos diferentes cenários.

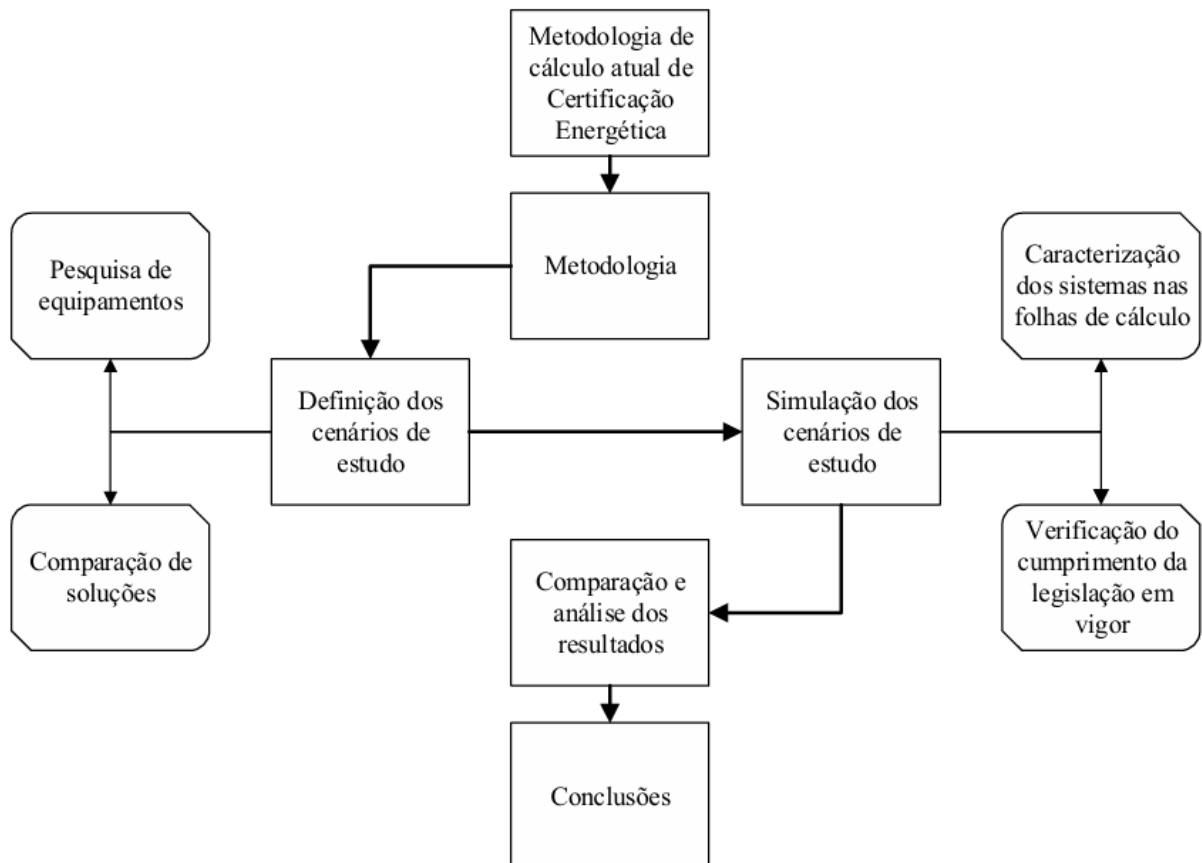


Figura 15 - Fluxograma da metodologia

Assim sendo, este capítulo incluirá uma breve descrição do edifício, da sua localização e zonas climáticas onde se insere. Uma vez apresentado o edifício, são identificadas as principais exigências regulamentares aplicáveis, nomeadamente as exigências referentes à componente passiva do edifício, ou seja, os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente opaca e envidraçada. De seguida, apresenta-se a caracterização construtiva da envolvente opaca e envidraçada do edifício, bem como a verificação dos respetivos requisitos regulamentares aplicáveis.

Após ser apresentada e caracterizada a componente passiva do edifício, o foco recai sobre a componente ativa, ou seja, sobre os sistemas técnicos do edifício. Para uma melhor compreensão é possível subdividir os dois pontos centrais em subcapítulos.

Para a definição dos cenários foi necessário efetuar uma pesquisa dos equipamentos disponíveis no mercado, para isto, compararam-se as fichas técnicas e avaliou-se a adequabilidade ao presente caso de estudo. Para cada equipamento foi avaliada a potência e a eficiência do seu desempenho. Refira-se um equipamento com uma potência elevada irá resultar num consumo de energia igualmente elevado. Selecionados os equipamentos a utilizar na simulação dos cenários, recolheu-se dos documentos técnicos as características necessárias para a metodologia de cálculo.

Após a recolha de toda a informação necessária para o cálculo, apresenta-se uma breve explicação de como se procede à introdução dessa informação na ferramenta de cálculo. A folha de cálculo utilizada para simulação dos cenários é a desenvolvida pelo Itecons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade – Folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios de habitação, de acordo com o Decreto-Lei nº 101-D/2020 de 7 de dezembro, versão V1.09 de 11 de junho de 2024. Esta ferramenta aplica diretamente a metodologia de cálculo exposta no capítulo anterior, que está de acordo com a legislação em vigor. Para o cálculo da ventilação, esta integra a metodologia de cálculo definida pelo LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. A contribuição dos equipamentos de fonte de energia renovável é obtida através de outra folha de cálculo, neste caso a SCE.ER, desenvolvida pela DGEG.

Finalmente, antes de apresentar os resultados do estudo apresenta-se uma breve explicação dos métodos de análise que serão utilizados na comparação e análise dos resultados, apresentada no capítulo seguinte.

3.2. DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O caso de estudo consistiu num edifício de habitação unifamiliar do tipo moradia isolada de tipologia T3, localizada na cidade de Vila do Conde a uma altitude de 123 m. Tendo em conta a altitude e localização geográfica, a moradia insere-se na zona climática de inverno II e na zona climática de verão V2.

A habitação é constituída por dois pisos, no piso térreo existem duas entradas em alçados opostos, uma com acesso à cozinha, passando pela lavandaria, outra com acesso ao *hall*. A cozinha possui acesso direto à sala comum e ao corredor. Posteriormente, o corredor tem entrada para uma casa de banho, um quarto e um *hall*. O *hall* tem acesso direto à sala comum e à porta de entrada referida acima. O segundo piso é constituído por uma casa de banho, um escritório, um quarto e uma *suite* que inclui um corredor, um quarto de vestir e uma casa de banho privativa. O corredor da *suite* e o escritório tem acesso à cobertura de terraço.

Nas figuras seguintes estão representadas as plantas da habitação, bem como o alçado principal e um corte longitudinal do edifício.

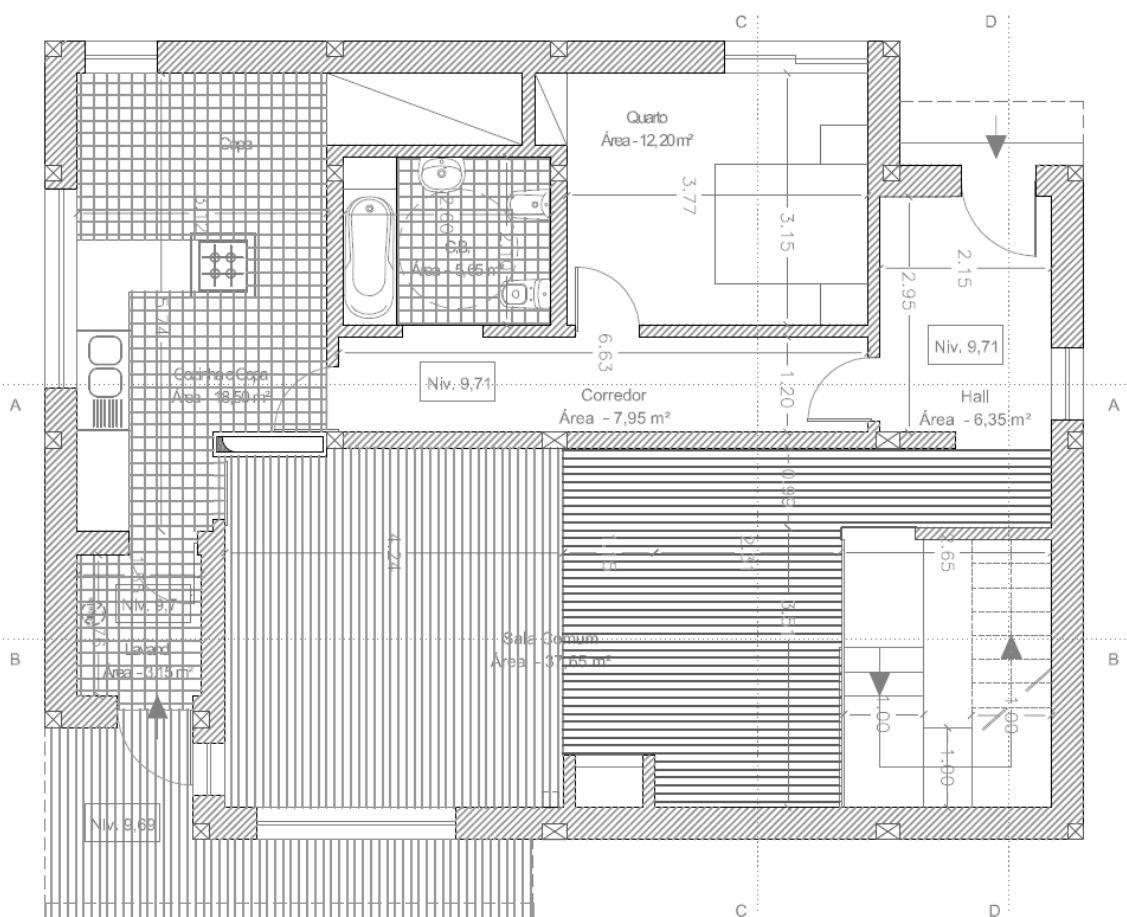


Figura 16 - Planta Piso 0, escala 1/100

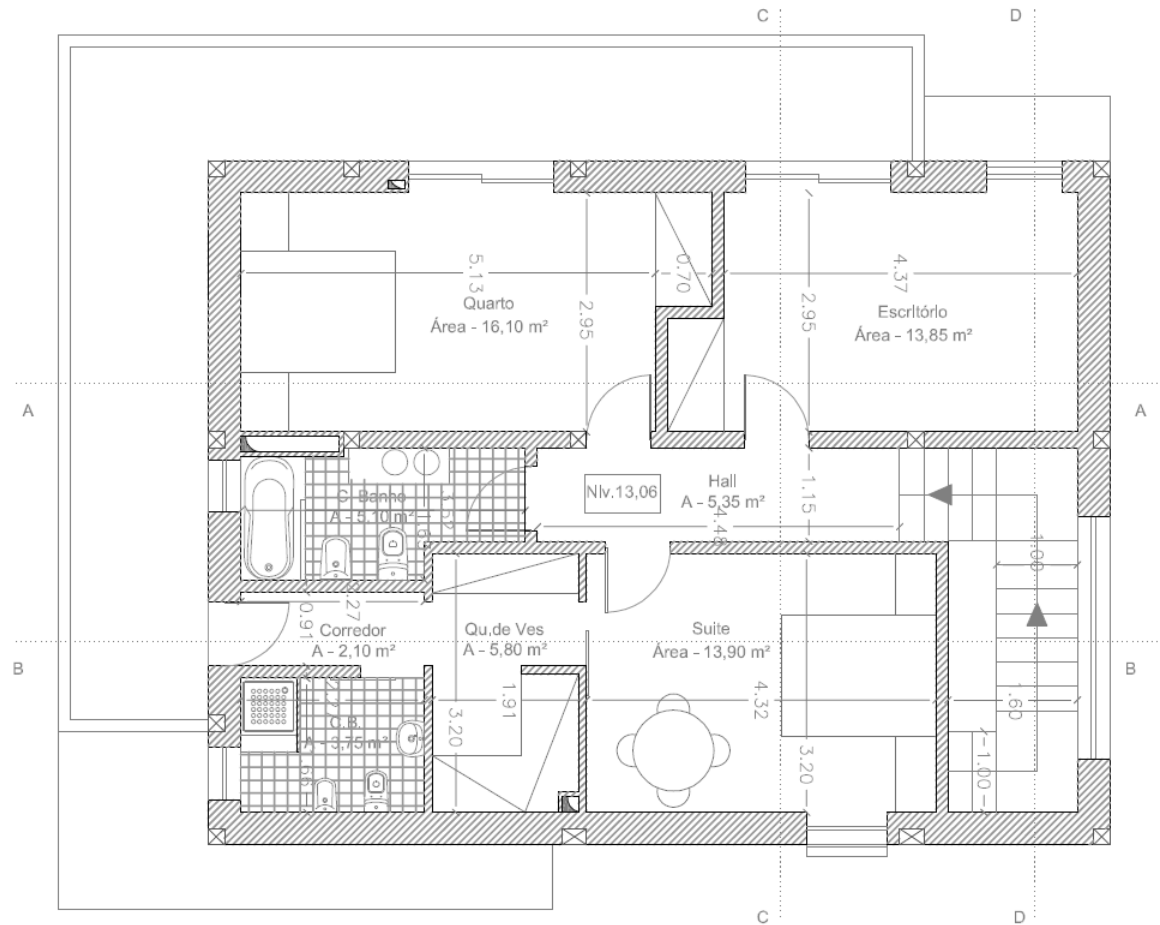


Figura 17 – Planta Piso 1, escala 1/100



Figura 18 - Alçado Principal, escala 1/100

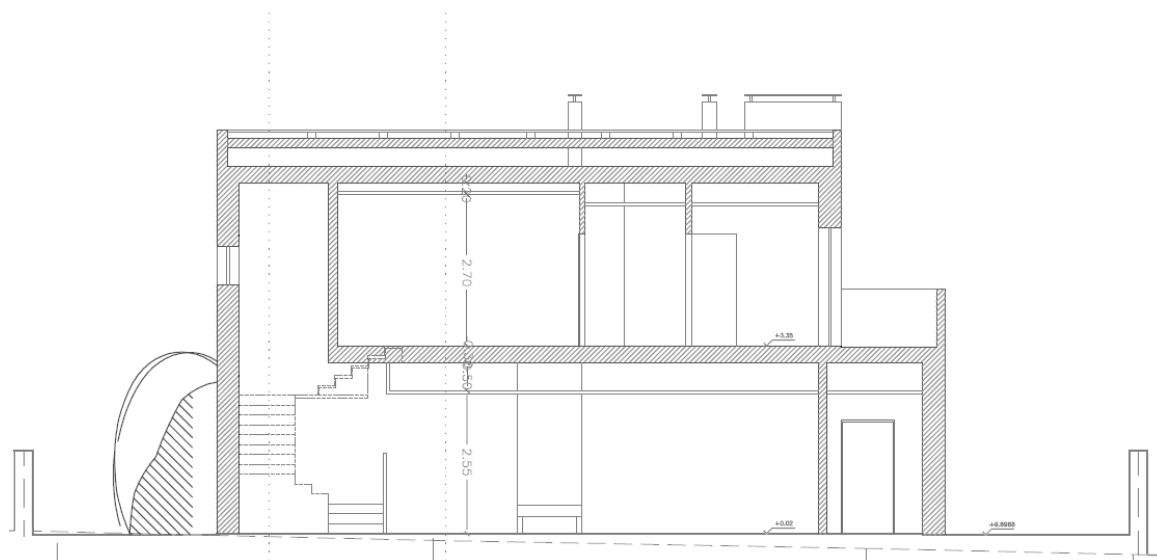


Figura 19 - Corte Longitudinal, escala 1/100

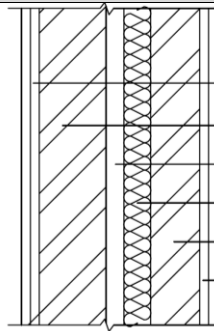
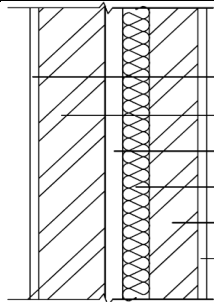
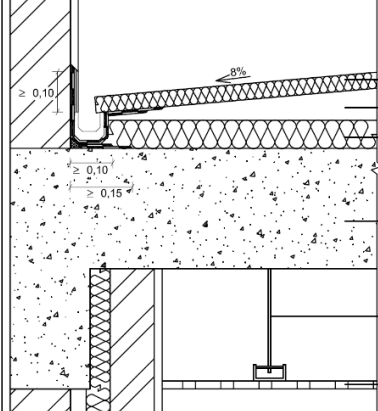
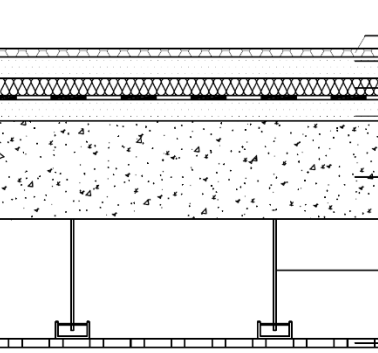
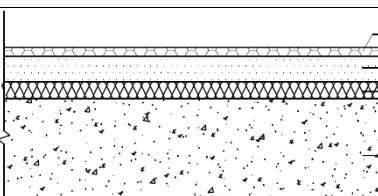
3.3. CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE E VERIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES

3.3.1. ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA

A legislação subdivide os espaços interiores em espaços úteis e espaços não úteis para posteriores cálculos e identificação da envolvente. O pressuposto desta divisão é a não contabilização dos espaços não úteis para o cálculo do desempenho térmico dos edifícios. Os espaços não úteis, neste edifício, identificados são a lavandaria, o desvão da cobertura e o desvão sanitário.

Definidos os espaços úteis e não úteis considerados pela metodologia, a caracterização da envolvente exterior é quantificada pelo coeficiente de transmissão térmica, U , que cada solução apresenta. Os cálculos e os valores utilizados estão de acordo com os pressupostos de cálculo do DL n.º 101 – D/2020 e do ITE50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. Na Tabela 11 estão identificadas as diferentes soluções da envolvente opaca, através de cortes construtivos e os respetivos valores dos coeficientes de transmissão térmica. Após a análise da tabela e, com o auxílio da Tabela 8, é possível concluir que todas as soluções cumprem os máximos estabelecidos.

Tabela 11 - Coeficientes de Transmissão Térmica da envolvente opaca

Solução	U ((W/m.°C))	Corte construtivo
PE1 - Parede Exterior revestida a granito	0,37	 Rev. Exterior: Granito e Reboco (e = 0,02 + 0,02 m) Pano de Alvenaria de Tijolo Furado (e = 0,15 m) Espaço de ar (e = 0,04 m) Poliestireno Extrudido (e = 0,06 m) Pano de Alvenaria de Tijolo Furado (e = 0,11 m) Revestimento Interior: Reboco (e = 0,02 m)
PE2 - Parede Exterior rebocada e pintada	0,37	 Revestimento Exterior: Reboco (e = 0,02 m) Pano de Alvenaria de Tijolo Furado (e = 0,15 m) Espaço de ar (e = 0,04 m) Poliestireno Extrudido (e = 0,06 m) Pano de Alvenaria de Tijolo Furado (e = 0,11 m) Revestimento Interior: Reboco (e = 0,02 m)
CBE1 - Cobertura em painel "sandwich"	Fluxo Ascendente 0,32 Fluxo Descendente 0,30	 Painel Sandwich Espaço de ar fortemente ventilado Poliestireno Extrudido (e = 0,10 m) Laje aligeirada (e = 0,23 m) Varão de suporte do tecto falso Tecto Falso: Gesso Cartonado (e = 0,013 m)
CBE2 - Cobertura em terraço	Fluxo Ascendente 0,37 Fluxo Descendente 0,35	 Revestimento Exterior: Cerâmica (e = 0,02 m) Betonilha Armada (e = 0,05 m) Poliestireno Extrudido (e = 0,08 m) Camada de Forma (e = 0,05 m) Laje aligeirada (e = 0,23 m) Varão de suporte do tecto falso Tecto Falso: Gesso Cartonado (e = 0,013 m)
Pav1 - Pavimento sobre espaço não útil	Fluxo Descendente 0,61	 Revestimento de piso: Cerâmica (e = 0,02 m) Camada de regularização armada (e = 0,06 m) Poliestireno Extrudido (e = 0,04 m) Laje aligeirada (e = 0,23 m)

A diversidade de propriedades térmicas dos materiais e geometrias de construção afetam a transferência de calor que ocorre através do interior e do exterior, comparativamente à troca térmica da envolvente corrente. Para o cálculo destas heterogeneidades o DL n.º 101 – D/2020 indica os valores a utilizar, consoante o tipo de ligação, dos coeficientes de transmissão térmica linear. Estes coeficientes têm de ser, posteriormente, multiplicados pelo valor do desenvolvimento da ponte térmica, expresso em metros. A título exemplificativo a Tabela 12 representa os tipos de ligações, que existem no edifício, de pontes térmicas lineares.

Tabela 12 - Coeficientes de Transmissão Térmica Lineares

Tipo de Ligação		Ψ (W/m.°C)		
		Isolamento da parede		
		Int.	Ext.	Outro
Fachada com pavimento sobre o exterior ou espaço não útil	Isolamento sobre o pavimento	0,10	0,50	0,35
Fachada com pavimento intermédio		0,60	0,15	0,50
Fachada com cobertura	Isolamento sobre a laje	1,00	0,80	1,00
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,10	0,40	0,50
Fachada com caixilharia	Isolamento da parede contacta com a caixilharia	0,10	0,10	0,10
Zona de caixa de estores		0,30	0,30	0,30

3.3.2. ENVOLVENTE EXTERIOR ENVIDRAÇADA

Relativamente aos vãos envidraçados, estes podem ser divididos em vãos envidraçados ou vãos opacos. O edifício contém treze vãos envidraçados e dois vãos opacos, as portas são consideradas vãos opacos e estão localizadas, uma no alçado principal e outra no piso superior que resulta de acesso à cobertura de terraço. As disposições de todas as aberturas podem ser visualizadas na Figura 16 e na Figura 17. Na folha de cálculo é necessário introduzir uma série de parâmetros relativos às características do vidro que integra o vão envidraçado, alguns destes valores tem de cumprir, igualmente, máximos e mínimos legislados. A Tabela 10 indica o máximo valor que o fator solar do vão pode possuir, para a habitação em causa o valor do fator solar do vão com todos os dispositivos de proteção solar ativados, g_{tot} , é de 0,04, pelo que se conclui que cumpre a exigência regulamentar. Na Tabela 13 sintetizou-se as características dos dois tipos de vãos envidraçados existentes na habitação, que verificam os pressupostos máximos indicados na Tabela 9.

Tabela 13 - Caracterização e Coeficiente de Transmissão Térmica dos vãos

Solução	Descrição	U ((W/m.°C)
Vãos Envidraçados Exterior	Vão envidraçado simples de vidro duplo, espessura de lâmina 6mm com dispositivo de oclusão noturna exterior com permeabilidade ao ar baixa.	2,40
Vãos Opaco Exterior	Caixilharia em plástico PVC cinzento	2,50

Nas plantas e alçado disponibilizados é possível observar algumas das palas de sombreamento que o edifício possui. Para ambos os tipos de envolvente, opaca e envidraçada, é necessário ter em conta o sombreamento que as palas transferem para a envolvente. Existem palas horizontais, palas verticais e obstruções de horizonte que, dependendo da trajetória solar e da estação do ano, atuam de forma positiva na diminuição de N_{ic} e N_{vc} . Estes elementos são igualmente importantes para controlar o risco de sobreaquecimento dos compartimentos, atuando como medida otimizadora do conforto dos

utilizadores. A metodologia indica que, qualquer dispositivo de proteção solar e palas devem ser desconsiderados do cálculo do edifício de referência.

Um último parâmetro que se considera importante referir para a caracterização do edifício é a inércia térmica que o mesmo apresenta. A inércia térmica, I_t , é a capacidade de armazenamento e de restituição de calor que o edifício possui e depende da massa útil por unidade de área útil de pavimento, expresso em kg/m^3 , de cada um dos elementos de construção que estão em contacto com o espaço interior. A inércia térmica do edifício é forte, contudo pode apresentar classificação de fraca, média ou forte.

3.4. SISTEMAS TÉCNICOS

No capítulo 2 procedeu-se ao estudo do funcionamento dos equipamentos de preparação de AQS, aquecimento, arrefecimento, equipamentos com fonte de energia renovável e ventilação. Neste subcapítulo, após a introdução da caracterização do edifício, pretende-se apresentar os equipamentos que serão utilizados nos cenários a simular. A escolha dos equipamentos incidiu, essencialmente, na adequabilidade à habitação e em equipamentos que revelassem elevada eficiência comparativamente aos demais no mercado. As informações técnicas foram obtidas através da consulta de fornecedores e fichas técnicas correspondentes.

No final deste subcapítulo estará terminada a apresentação da informação necessária para a elaboração dos diversos cenários. A representação das combinações far-se-á por meio de um esquema em árvore, com o intuito de, no capítulo seguinte, se realizar a análise para concluir de que forma a integração destes equipamentos na habitação influenciam a determinação da classe energética do edifício.

3.4.1. VENTILAÇÃO

Uma circulação de ar eficiente garante o conforto, a saúde e a qualidade do ar dentro da habitação. A renovação do ar interior pelo ar exterior tem de ser realizada de uma forma controlada, para isto a legislação prevê essa mesma troca impondo a taxa mínima de renovações horárias de ar de $R_{ph}=0,50 \text{ h}^{-1}$. Para o estudo da influência da ventilação na classe energética foram tidos em conta três tipos de sistemas diferentes e dois valores de taxas de renovação horária de ar. Os primeiros dois cenários dizem respeito a sistemas de ventilação natural em que as taxas de renovação horária são, respetivamente, $0,50$ e $0,70 \text{ h}^{-1}$. Para os cenários de ventilação mecânica foram considerados dois tipos de sistemas de ventilação mecânica centralizada, um de fluxo simples e um de duplo fluxo com permutador de calor. Cada uma das soluções foram simuladas para os dois valores de taxas de renovação horária acima indicadas, o que totaliza um somatório de seis formas/tipos de ventilação.

O modo e o princípio de funcionamento dos diferentes sistemas de ventilação foram descritos e apresentados no segundo capítulo. De forma a assegurar as renovações horárias pretendidas no sistema de ventilação natural, a admissão será realizada através da permeabilidade da envolvente e de grelhas autorreguláveis, localizadas na parte superior das caixilharias, a exaustão será realizada por condutas, sem recurso a ventiladores, localizadas na cozinha e nas casas de banho da habitação. No caso em que se pretende garantir uma renovação de ar igual a $0,70 \text{ h}^{-1}$, o que difere é apenas o caudal de admissão. A síntese do considerado em cada uma das duas soluções encontra-se retratada na Tabela 14, bem como os caudais de admissão de ar novo considerado.

Tabela 14 - Características do sistema de ventilação natural

Solução	Características	Valor Glob.
$R_{ph} = 0,50 \text{ h}^{-1}$		
Admissão – Grelha autorregulável 10 Pa	Caudal – $414,50 \text{ (m}^3/\text{h)}$	3 737,00 €

Exaustão – Conduitas de ventilação natural	2 conduitas de 4,95m e 2 conduitas de 1,50m com perda de carga média	
Solução	Características	Valor Glob.
Rph = 0,70 h ⁻¹		
Admissão – Grelha autorregulável 10 Pa	Caudal – 616,80 (m ³ /h)	5 561,10 €
Exaustão – Conduitas de ventilação natural	2 conduitas de 4,95m e 2 conduitas de 1,50m com perda de carga média	

No que à ventilação mecânica se refere, optou-se por definir quatro casos com ventilação mecânica centralizada, duas de fluxo simples e duas de duplo fluxo com permutador de calor. Os princípios e a forma de como o processo de ventilação ocorre com recurso a ventiladores também já foi abordado no capítulo 2. No sistema de ventilação mecânica com fluxo simples manteve-se localização das conduitas de extração — na cozinha e casas de banho, bem como grelhas autorreguláveis de admissão de ar com um caudal de 414,50 m³/h.

O sistema de duplo fluxo efetua a admissão e exaustão de ar através de duas redes distintas. A insuflação é realizada nos compartimentos principais e a extração é efetuada nos compartimentos de serviço. A esta solução está associada um recuperador de calor que transfere o calor do circuito de exaustão para o circuito de fornecimento de ar limpo exterior. O sistema funciona em regime permanente e o caudal pode ser regulado de acordo com as necessidades de funcionamento.

Na Tabela 15 estão apresentadas as características técnicas dos ventiladores, necessárias de introduzir na folha de cálculo, para a satisfação das taxas de renovação horária de ar pretendidas.

Tabela 15 - Características do sistema de ventilação mecânica

Equipamento	Admissão			Exaustão			Rend. recup. de calor (%)	Custo Glob.
	Q. nom. (m ³ /h)	Pressão (Pa)	Rend (%)	Q. nom. (m ³ /h)	Pressão (Pa)	Rend (%)		
VMC Fluxo Simples Rph = 0,50h ⁻¹	—	—	—	130	85	77,00	—	5 088,00 €
VMC Fluxo Simples Rph = 0,70h ⁻¹	—	—	—	260	160	82,00	—	
VMC Duplo Fluxo Rph = 0,50h ⁻¹	205	100	93,00	225	100	92,50	92,00	3 481,00 €
VMC Duplo Fluxo Rph = 0,70h ⁻¹	286	100	81,00	200	100	84,00	92,00	

3.4.2. AQUECIMENTO

Os fatores considerados na seleção dos equipamentos de aquecimento foram a capacidade de disponibilidade praticamente instantânea do uso e a adequabilidade às necessidades de aquecimento. A solução caldeira de condensação a gás pode satisfazer as necessidades de aquecimento ambiente, devido

ao facto de possuir um pequeno reservatório que abastece água quente às unidades finais e que ao mesmo tempo pode ser utilizada na preparação de AQS. As bombas de calor são equipamentos que podem realizar aquecimento ambiente mediante o tipo de unidades finais que tem associadas e, de acordo com o fluido de permuta. Para um conjunto de cenários foi considerada uma bomba de calor do tipo ar – água que assegura a satisfação dos usos regulados de aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS. O equipamento que se segue, do mesmo tipo, é uma bomba de calor apenas para climatização. Outro tipo de aparelho considerado para aquecimento, dos apresentados no capítulo anterior, foram o *Split* e o *Multisplit* que podem desempenhar a função de aquecimento e arrefecimento do espaço, a estes estão associadas unidades interiores finais de ar condicionado. Como se trata de uma habitação que necessita de mais que uma unidade interior o equipamento usado é o *Multisplit*. As unidades exteriores destes equipamentos também podem ser designadas por bombas de calor aerotérmicas (ar – ar).

O número das unidades finais interiores serão função do número de compartimentos a servir, ou seja, seis unidades: três para os quartos, uma para o escritório, uma para a cozinha e uma para a sala comum. A escolha da potência necessária para o ar condicionado utilizará os critérios referidos pela EDP Portugal. Para a seleção do equipamento a tabela seguinte indica a potência a admitir nas unidades finais, segundo o clima praticado no país.

Tabela 16 - Potência a admitir no ar condicionado em função da área a servir (EDP, 2024)

Área a servir (m ²)	Potência a admitir (kW)
< 18	2,60
20 – 30	3,50
> 30	Duas unidades de 2,60 kW ou uma unidade de 5,30 kW

Referida a informação acima, disponibilizada pela EDP, conclui-se que é necessária uma unidade interior com 2,60 kW de potência para cada um dos quartos, escritório e cozinha e na sala optou-se por uma unidade final de 5,30 kW. Com as diversas soluções que o mercado oferece, e capacidade de serviço restrita da unidade exterior a um número de unidades interiores do sistema de ar condicionado, concluiu-se a seguinte solução: uma única unidade exterior que consegue cobrir até seis unidades interiores, sendo que para os quartos, escritório e cozinha a potência associada às unidades de mural é a menor apresentada e para a sala comum contabilizou-se uma unidade interior de 5,40 kW, de acordo com o fabricante selecionado.

O último equipamento de aquecimento, da Tabela 17, é a caldeira de chão a *pellets* que utiliza a queima de combustível sólido para o aquecimento da habitação. Como referido no capítulo 2 a dependência pela biomassa para aquecimento ambiente no país é bastante relevante, o uso de lenha para satisfazer os usos regulados em estudo continua a ser preferencial. Os recuperadores de calor, as lareiras e as salamandras produzem matéria particulada que são libertadas na atmosfera interior e poluem o ar respirável. O material particulado é inalado pelos utilizadores do espaço e são a causa de doenças respiratórias que causam morbilidade e mortalidade (Seiça, 2024)

Apesar do laço vinculativo que o povo português tem com a biomassa, os equipamentos referidos acima não serão alvo de estudo desta dissertação. Privilegiou-se a utilização de equipamentos com recurso a energias renováveis que enfatizam a descarbonização do edifício e a reposição consciente dos recursos utilizados. Na Tabela 17 apresentam-se as características dos equipamentos para aquecimento ambiente considerados no presente estudo.

Tabela 17 - Características dos equipamentos para Aquecimento

Equipamento	Fonte de energia	Potência (kW)	Eficiência	$\eta_{ref, k}$	$F_{pu,j}$ (kWh _{EP} /kWh)	Valor Unit.
Caldeira mural de condensação (+AQS)	Gás Natural	23,90	0,94	0,89	1,00	2 583,00 €
Bomba de calor (ar – água) (+ AQS e climatização)	Eletricidade	14,00	4,45	3,00	2,50	7 350,00 €
Bomba de calor (ar – água) (só climatização)	Eletricidade	10,60	4,10	3,00	2,50	9 264,40 €
Ar condicionado <i>Multisplit</i> 1 unidade exterior (ar – ar)	Eletricidade	14,00	4,23	3,40	2,50	4 360,00 €
Caldeira de chão a <i>pellets</i>	Biomassa	20,00	0,94	0,89	1,00	2 808,57 €

3.4.3. ARREFECIMENTO

O Manual SCE refere cinco equipamentos para a realização do arrefecimento ambiente, contudo considerou-se que os mais adequados para habitação, tendo em conta as necessidades e custo associado, seriam apenas os apresentados na Tabela 18. O primeiro equipamento apresentado, a bomba de calor ar – água repete-se em mais dois tipos de sistemas devido à sua versatilidade. Esta bomba de calor permite satisfazer três usos regulados diferentes, aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS. A segunda bomba de calor, do mesmo tipo ar – água, permite somente aquecer e arrefecer o ambiente. O *Multisplit* apresentado para aquecimento do ambiente foi o mesmo considerado para arrefecimento, considerando as duas vertentes de funcionamento. Na tabela seguinte ficam sintetizadas as características essenciais para o cálculo da classe energética do edifício, com o uso da folha de cálculo referida.

Tabela 18 - Características dos equipamentos para Arrefecimento

Equipamento	Fonte de energia	Potência (kW)	Eficiência	$\eta_{ref, k}$	$F_{pu,j}$ (kWh _{EP} /kWh)	Valor Unit.
Bomba de calor (ar – água) (+ AQS e climatização)	Eletricidade	14,00	5,35	3,00	2,50	7 350,00 €
Bomba de calor (ar – água) (só climatização)	Eletricidade	11,20	4,70	2,90	2,50	9 264,40 €
Ar condicionado <i>Multisplit</i> 1 unidade exterior (ar – ar)	Eletricidade	12,20	3,33	3,40	2,50	4 360,00 €

Recordando a parcela da fórmula de N_{tc} , referente ao arrefecimento, o fator de anulação, δ_v , é quem rege se existe ou não o contributo do equipamento de arrefecimento para o cálculo. O fator pode tomar valores 1 ou 0. O fator adota valor nulo quando o fator de utilização de ganhos térmicos (η_v) é superior ao respetivo fator de referência (η_{vref}).

$$N_{tcArrefecimento} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot \delta_v \cdot F_{pu,j} \quad (Eq. 25)$$

3.4.4. PREPARAÇÃO DE AQS

Para a preparação de águas quentes sanitárias foi tida em conta a capacidade de disponibilidade praticamente instantânea do uso e adequabilidade ao longo de todo o ano decorrente. Para o estudo foram consideradas cinco soluções para satisfazer o uso regulado de preparação de AQS cujas características, essenciais para as simulações e que foram retiradas de fichas técnicas de aparelhos comercializados no mercado existente, se apresentam de seguida.

Os aparelhos selecionados, que utilizam como fonte de energia gás natural, foram o esquentador e a caldeira mural de condensação. Como já foi referido existem equipamentos que permitem satisfazer mais do que um uso regulado, consoante as unidades finais que se utilizam. As caldeiras de condensação, e as bombas de calor são exemplos de equipamentos que servem mais do que um sistema. Escolheu-se estudar duas soluções de bombas de calor do tipo ar – água. Os dois últimos equipamentos, da Tabela 19, são os que carecem de apresentação visto que os restantes foram apresentados nos anteriores sistemas. O quarto equipamento trata-se de uma bomba de calor do tipo ar – água apenas com a função de preparação de AQS e o último equipamento apresentado aquece a água através de uma resistência elétrica e armazena-a num cilindro, denomina-se por termoacumulador. Na Tabela 19 referem-se as características dos equipamentos comerciais para preparação de AQS.

Tabela 19 – Características dos equipamentos para preparação de AQS

Equipamento	Fonte de energia	Potência (kW)	Eficiência	$\eta_{ref, k}$	$F_{pu, j}$ (kWh _{FP} /kWh)	Valor Unit.
Esquentador	Gás Natural	24,10	0,86	0,89	1,00	420,88 €
Caldeira mural de condensação a gás (+ aquecimento)	Gás Natural	22,00	0,94	0,89	1,00	2 583,00 €
Bomba de calor (ar-água) (+ climatização)	Eletricidade	14,00	3,30	2,80	2,50	7 350,00 €
Bomba de calor (ar-água) (só AQS)	Eletricidade	21,50	3,48	2,80	2,50	3 213,00 €
Termoacumulador	Eletricidade	2,20	0,38	0,95	2,50	470,99 €

3.4.5. EQUIPAMENTOS DE FONTE RENOVÁVEL

O Despacho nº 6476-H/2021 tipifica os sistemas renováveis em função da fonte que utilizam, destacando-se os sistemas a biomassa, eólicos, fotovoltaicos, solares térmicos, geotérmicos, mini-hídricas e aerotérmicos. A caldeira a *pellets*, outrora apresentada para aquecimento ambiente, é reconhecida como um equipamento de fonte de energia renovável. Contudo, neste ponto apenas serão apresentados os dois sistemas de fonte de energia renovável que utilizam como fonte de energia o sol: o solar térmico e o solar fotovoltaico.

Para a simulação dos cenários foi selecionado um sistema solar fotovoltaico que prioriza, segundo a legislação apresentada, os usos regulados tendo em conta a quantidade produzida e quantidade consumida mensalmente. Nas situações que se considera este tipo de sistema é possível cobrir autoconsumos, porém, a prioridade é satisfazer os usos regulados. Se todos os consumos forem aferidos e existir produção de energia superior à consumida, estes sistemas podem incorporar uma bateria solar que permite armazenar a energia em excesso para utilizar quando necessário.

A área dos coletores solares fotovoltaicos a considerar varia de acordo com as necessidades a suprir. Como indicativo da dimensão necessária, para o tipo de habitação em estudo, foi utilizado como

referência o documento publicado pela ADENE onde indica que uma habitação de tipologia T3 prevê cerca de 15 m² de painel para satisfação dos consumos. Para dar seguimento ao critério apresentado, foram utilizados para simulação 6 painéis solares fotovoltaicos e 7 painéis para o sistema com recurso a bateria solar (CEAIE, 2016).

Os sistemas solares térmicos conseguem realizar a preparação de AQS, através da energia solar, e aquecimento ambiente quando as unidades finais utilizam água para realizar a troca térmica. Para o caso de estudo o solar térmico apenas servirá para colmatar as necessidades de produção de águas quentes sanitárias porque, não se considera consistente o fornecimento para climatização durante o período de aquecimento. Existem dois tipos de sistemas solares térmicos, como apresentado no capítulo 2, e torna-se importante selecionar um equipamento de cada tipo para estudar a influência de cada um na classe energética. Por serem sistemas que dependem do fator radiação solar para funcionarem, geralmente, têm sempre integrados um sistema de apoio que recorre a energia convencional para assegurar o fornecimento de água quente na impossibilidade de realizar a função por meios solares.

Para os coletores solares térmicos o ponto de partida de área a considerar, para um pré-dimensionamento, é mais consensual entre os peritos qualificados e entidades competentes de certificação. A legislação anterior, DL nº 118/2013, baseava-se no pressuposto base de 1 m² de coletor por ocupante do edifício. O princípio indicado foi o utilizado para a simulação dos coletores solares térmicos, resultando em 2 painéis para o sistema solar térmico tradicional e 2 painéis para o sistema solar térmico termossifão (Governo Português, 2013).

Quando se utiliza a folha de cálculo SCE.ER para a contabilização do contributo do sistema solar térmico é necessário dimensionar o reservatório. A capacidade deste dispositivo tem de ser capaz de suprir o consumo médio de referência, determinado em função no número de ocupantes do edifício e da eficiência hídrica nos chuveiros e sistemas de duche. Todos estes fatores foram tidos em conta e a metodologia de cálculo aplicada foi a descrita no capítulo 2, de acordo com a legislação atual em vigor. Na tabela seguinte encontra-se a totalização das áreas das diferentes soluções consideradas.

Tabela 20 - Características do Solar Térmico e Solar Fotovoltaico

Equipamento	Fonte de energia	Área total de coletores (m ²)	$F_{pu,j}$ (kWh _{EP} /kWh)	Valor Unit.
Solar Fotovoltaico s/ bateria	Solar	15,50	1,00	1 047,82 €
Solar Fotovoltaico c/ bateria	Solar	15,15	1,00	6 547,46 €
Solar Térmico Tradicional	Solar	5,10	1,00	1 918,80 €
Solar Térmico Termossifão	Solar	4,17	1,00	2 792,10 €

O cálculo da contribuição dos sistemas de energia renovável é efetuado através da folha de cálculo SCE.ER, desenvolvida pela DGEG, onde são introduzidos os dados técnicos do equipamento. O cálculo utilizado para cada sistema, consoante o tipo de energia, foi abordado no capítulo 2 do presente documento referenciando o processo efetuado pela ferramenta. O resultado indicativo obtido na folha de cálculo SCE.ER é o valor de energia produzida, destinada ao uso regulado que lhe compete, e é expresso em kWh/ano. Este valor, por sua vez, é transferido para a folha de cálculo Itecons – Folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios de habitação, para a realização do balanço energético. Os contributos deste tipo de sistemas representam um benefício para a melhoria do desempenho energético da habitação porque reduzem o parâmetro N_{tc} e consequentemente o parâmetro R_{Nt} , resultando numa classe energética mais favorável.

3.5. UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA DE CÁLCULO

Apresentada toda a informação necessária ao preenchimento da folha de cálculo do Itecons, apresenta-se de seguida uma breve descrição e exposição de como é utilizada a ferramenta de cálculo e de como se extrai os resultados necessários para a análise.

Devido ao facto de a componente passiva do edifício ser igual em todos os cenários, neste ponto apenas será descrita a introdução dos dados e utilização da ferramenta de cálculo no que compete à componente ativa.

Como nota introdutória, na folha de entrada são representadas as alterações realizadas nas várias versões a que a folha de cálculo foi sujeita, assim como a legislação aplicável a cada alteração. A título de exemplo foi utilizado o cenário que combina a bomba de calor (ar – água) apenas com função de climatização para aquecimento e arrefecimento, painel solar térmico do tipo tradicional como equipamento renovável e, sistema de ventilação natural com renovação horária de ar igual à taxa mínima admissível por lei. Sendo o painel solar térmico tradicional o equipamento que assegura a preparação de AQS, neste cenário foi considerado o esquentador como sistema de apoio.

Ventilação			
Método de cálculo	Segundo a EN 15242 e Manual do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)		Efetuar o cálculo no separador "CalculoVentilacao" ➤
Sistema de Ventilação	De acordo com a norma 1037-1		
Arrefecimento noturno com abertura das janelas? ☐			
Rph Estimada (h^{-1})	Rph mínimo (h^{-1})	Rph. i (h^{-1})	Rph. v (h^{-1})
0.50	0.50	0.74	0.74
Descrição da Solução de Ventilação			Caract. restantes 512

Figura 20 - Output Cálculo da Ventilação

O primeiro campo que surge após a introdução da informação relacionada com a envolvente é o campo da Ventilação. Assim sendo, levanta-se a questão se pretendemos utilizar o método de cálculo segundo a EN 15242 e Manual SCE ou outro, e se o sistema de ventilação cumpre ou não a norma NP 1037-1. Em geral pretendemos que o método de cálculo seja segundo a EN 15242 e Manual SCE, assim como os sistemas de ventilação de acordo com a norma. Após o preenchimento destes dois campos é necessário clicar na seta “Efetuar o cálculo no separador “CalculoVentilacao” que nos mostra um novo separador onde se irá inserir mais informações relacionadas com o sistema de ventilação.

Alguma informação já se encontra preenchida pois foi obtida dos campos preenchidos no separador “Introdução de Dados”. A informação já preenchida está relacionada com a localização, com as dimensões e com a permeabilidade ao ar da envolvente envidraçada. Os campos a preencher são a velocidade do vento, as alturas do edifício e da fração e a existência ou não de obstáculos ao redor do edifício de estudo. No que se refere aos restantes campos, para caracterizar o sistema de ventilação deste cenário, ventilação natural, é necessário introduzir a existência de grelhas autorreguláveis como aberturas de admissão de ar na envolvente, o tipo de abertura e o respetivo caudal por elas admitido. Relativamente à exaustão, esta é realizada por meios de diferenças de pressão, pelo que tem de ser preenchidos os campos relacionados com “Condutas de ventilação natural, condutas sem exaustores/ventax que não obstruam o escoamento de ar pela conduta”. No caso de um cenário com sistema de ventilação mecânica teria de ser preenchido o campo relacionado com a “Exaustão e insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado”.

Na Figura 21 pode-se observar para o cenário descrito os campos “Aberturas de admissão de ar na envolvente” e “Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obstruam o escoamento” preenchidos, bem como o campo dos resultados obtidos para o cenário descrito,

nomeadamente o Rph estimado em condições nominais, o Rph,i obtido para a estação de aquecimento e o Rph,v obtido para a estação de arrefecimento.

Aberturas de admissão de ar na envolvente

Existem aberturas de admissão de ar nas fachadas? ☒

Abertura	Tipo de abertura	Área livre (cm ²) / Caudal (m ³ /h)	Designação
Abertura 1	Auto-regulável a 10 Pa	414.50	
Abertura 2			

Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta

Existem condutas de ventilação natural? ☒

Conduta	Tipo de escoamento	Exaustores tipo ventax?	Perda de carga	Tipo de cobertura	Número de condutas semelhantes	Altura da conduta conhecida?	Altura da conduta (m)	Designação
Conduta V_N 1	Exaustão	Não	Média	Terraço, inclinada (<10°)	2	Sim	4.95	
Conduta V_N 2	Exaustão	Não	Média	Terraço, inclinada (<10°)	2	Sim	1.50	
Conduta V_N 3								

Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado

Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)? ☐

Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)

Existem meios híbridos? ☐

RESULTADOS

RPH estimada condições nominais (h-1)	0.50	Req. mínimo de ventilação (h-1)	0.50
Rph,i (h-1) - Aquecimento	0.74	Rph,i REF (h-1)	0.60
bve,i (1-recuperação de calor)	0.0%		
Rph,v (h-1) - Arrefecimento	0.74	Wm (kWh/ano)	0.00
bve,v (1-recuperação de calor)	0.0%		

A taxa de renovação horária satisfaz os requisitos mínimos

Ver esquema da Ventilação (Método simplificado)

Figura 21 - Separador Cálculo Ventilação

Na Figura 22, no separador “Sistemas Técnicos” é onde se tem de introduzir a informação relacionada com os equipamentos que suprirão as necessidades dos utilizadores do edifício. Primeiro, como mencionado no capítulo 2, os edifícios novos têm obrigatoriamente de possuir isolamento térmico na rede de tubagens de distribuição de AQS e, caso exista na rede de tubagens de distribuição de água quente para aquecimento ambiente. Esses campos serão ativados apenas nos casos em que a resistência térmica do isolamento for maior ou igual a 0,25 m².°C/W.

Passando para a identificação dos sistemas que serão utilizados, estes são descritos em função da fonte de energia utilizada e do tipo de equipamento. No caso dos equipamentos que utilizam fonte de energia renovável tem de ser introduzido o somatório da produção total de energia, obtida do cálculo efetuado através da folha de cálculo SCE.ER. Note-se que o equipamento esquentador não foi introduzido na identificação dos equipamentos por se tratar de um sistema auxiliar, tendo sido considerado no cálculo efetuado pela folha de cálculo SCE.ER quando do cálculo da contribuição do sistema renovável painel solar térmico tradicional.

itecons  Versão V1.09 de 11 de junho de 2024 

Sistemas Técnicos

Existem Sistemas Técnicos? ☒

O edifício dispõe de abastecimento de combustível líquido ou gasoso? ☐

Isolamento térmico na tubagem de distribuição de AQS com resistência térmica $\geq 0,25 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$? ☒ Obrigatório nos edifícios novos

Possui chuveiros com elevada eficiência hídrica? ☐ Isolamento térmico na rede de distribuição de água quente para aquecimento ambiente com resistência térmica $\geq 0,25 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$? ☒

Identificação do Sistema	Fonte de Energia	Tipo de Equipamento	Nº de unidades iguais	Marcas	Gama	Modelo	Foi possível aceder ao equipamento?	Descrição Específica do Equipamento	Produção Total de Energia (kWh/ano)
Sistema 1	Electricidade	Bomba de Calor (ar-água)							6712.73
Sistema 2	Solar	Painel Solar Térmico							2241.00

Sistema por Defeito	
Consumo Energia Final (kWh/ano)	
Aquecimento	0.00
Arrefecimento	0.00
AQS	483.46
Ventilação	0.00

Figura 22 - Separador Sistemas Técnicos

O SCE separa a introdução dos equipamentos consoante o tipo de energia que utilizam. No cenário que está a ser utilizado como exemplo a bomba de calor (ar – água) tem como fonte de energia a eletricidade, como é um equipamento que suprime duas necessidades em simultâneo o mesmo equipamento tem de ser introduzido duas vezes e, caracterizado para cada necessidade individualmente. A caracterização passa por atribuir a função a que está destinado, a potência, a eficiência do equipamento e a fração servida. A fração servida é sempre unitária porque, apenas temos um equipamento para cada função. O último parâmetro a ser inserido é a idade do sistema que, por se tratar de um edifício novo, é sempre inferior a um ano. Introduzidos os dados técnicos é imediato o *output* do valor da energia produzida por equipamentos de fonte renovável e o consumo de energia final.

itecons  Versão V1.09 de 11 de junho de 2024 

Electricidade, Gás (natural, propano, butano), Gasóleo, Biomassa (sólida, líquida, gasosa)

Identificação do Sistema	Função	Funcionamento (perfil de consumo)	Potência (kW)	Informação sobre eficiência?	Eficiência do Equipamento Nominal/Sazonal	Fração servida (0 a 1)	Idade do sistema	Eficiência do Equipamento (0 a 9)	Eficiência de referência	EREN (kWh/ano)	Consumo Energia Final (kWh/ano)	Parcela das necessidades (0 a 1)
Sistema 1	Aquecimento		10.6	Sim	4.10	1.00	idade ≤ 1 ano	4.10	3.00	5968.11	1925.20	1.00
Sistema 1	Arrefecimento		11.2	Sim	4.70	1.00	idade ≤ 1 ano	4.70	2.90	744.62	201.25	1.00
										-		-

Solar, Eólica, Hídrica, Geotérmica

Identificação do Sistema	Função	Potência (kW)	EREN (kWh/ano)	Parcela afectada à Função (0 a 1)	EREN ext (kWh/ano)	Área Total de Coletores (m ²)	Produtividade (kWh/m ²) Coletores	Produtividade (Wh/Wp)	Caudal Médio (m ³ /s)	Rendimento Nominal Turbina	Rendimento Nominal Gerador	Parcela das necessidades (0 a 1)	Parcela das necessidades de energia eléctrica (0 a 1)
Sistema 2	Águas Quentes Sanitárias		1918.00	0.86		5.10	439.41					0.81	-
				-								-	-

Figura 23 - Separador Sistemas Técnicos

O painel solar térmico tradicional entrará no separador dos equipamentos que utilizam fontes de energia renováveis, os dados que necessitam de ser introduzidos provêm da ferramenta de cálculo SCE.ER, nomeadamente a energia produzida pelo equipamento. A área total dos coletores é retirada diretamente da ficha técnica do fornecedor pelo qual se optou.

Uma vez inseridos todos os dados na ferramenta de cálculo, o cálculo dos parâmetros/indicadores que caracterizam o balanço energético são obtidos e mostrados de forma instantânea. No exemplo que se apresenta na Figura 24 podemos desde já concluir que este cenário seria aprovado para certificação uma vez que cumpre os requisitos estipulados pela regulamentação portuguesa. Quando algum dos indicadores não cumpre algum requisito, a célula do valor que se encontra em não cumprimento aparece com fundo vermelho. Acima da classe energética atribuída, é possível visualizar o rácio energético que definiu que o edifício se encontraria na classe A e, acima do rácio o valor percentual do indicador de energia primária renovável do edifício, que por sua vez tem de ser superior a 50%.

Balanço energético			
Descrição	Valor	Referência	Renovável Requisito Ren _{req} (%)
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	51.17	75.75	276.04
Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	6.13	9.13	
Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377	
Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0.00		Ntc/Nt
Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	8631	0	0.38
Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	1918	0	
Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0.00		Classe Energética
Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh _{EP} /m ² .ano)	42.30	111.55	A

Figura 24 - Balanço Energético

A ferramenta de cálculo permite gerar um ficheiro que sintetiza em nove separadores de cálculo todo o processo e metodologia de cálculo utilizada tanto para o edifício de referência como para o edifício real. Caso se pretenda perceber ou analisar algum cálculo intermédio ou resultado obtido, este ficheiro facilita bastante. As folhas de cálculo que resultaram deste cenário encontram-se no Anexo 1.

Termina-se este subcapítulo com a apresentação dos parâmetros mais relevantes, resultantes da simulação, para o cenário base. O cenário base, a nível de sistemas, consiste nos sistemas por defeito referidos pelo Despacho n.º 6476-H/2021 como sistemas por defeito. Para aquecimento é utilizada uma resistência elétrica com eficiência 1,00, para arrefecimento um *Split* com permuta de eficiência 3,00 e, por fim, para AQS um termoacumulador elétrico com 0,95 de eficiência. A contribuição de sistemas com fonte de energia renovável não é considerada para o balanço energético do edifício de referência. Face ao exposto na Tabela 21 ficam sintetizados os resultados obtidos.

Tabela 21 - Resultados Cenário Base Habitação

Cenário	N _{ic} kWh/(m ² .ano)	N _i kWh/(m ² .ano)	N _{vc} kWh/(m ² .ano)	N _v kWh/(m ² .ano)	N _{tc} kWh _{EP} /(m ² .ano)	N _t kWh _{EP} /(m ² .ano)	R _{Nt}	Classe Energ.
Base	49,85	75,75	6,33	9,13	174,97	237,53	0,69	B

Sabendo que, com a legislação em vigor, as classes energéticas admitidas para certificação de novos edifícios são classes iguais ou superiores a A, a habitação, com os sistemas por defeito considerados no cenário base, não cumpre a legislação em vigor.

3.6. CENÁRIOS SIMULADOS

Depois da seleção e apresentação dos equipamentos serão utilizados para que satisfazer as várias necessidades, é essencial explicar a estrutura das simulações que serão efetuadas. Iniciou-se o cálculo do número de cenários possíveis, sem a aplicação de qualquer restrição de combinações. Para isto, existem cinco tipos de sistemas – parâmetros (AQS, aquecimento, arrefecimento, renováveis e ventilação), que se subdividem nos diferentes equipamentos selecionados, e aos quais se dará o nome de variáveis. Na tabela abaixo, sintetizam-se as variáveis correspondentes a cada parâmetro.

Tabela 22 - Parâmetros e variáveis utilizados para simulação

AQS	Aquecimento	Arrefecimento	Renováveis	Ventilação
<i>Esquentador</i>	<i>Bomba de Calor + AQS + Climatização</i>	<i>Bomba de Calor + AQS + Climatização</i>	<i>Solar Fotovoltaico c/bateria</i>	<i>Ventilação Natural Rph = 0,50</i>
<i>Caldeira Mural de Condensação + Aquecimento</i>	<i>Bomba de Calor só Climatização</i>	<i>Bomba de Calor só Climatização</i>	<i>Solar Fotovoltaico s/bateria</i>	<i>Ventilação Natural Rph = 0,70</i>
<i>Bomba de Calor + Climatização</i>	<i>Caldeira Mural de Condensação + AQS</i>	<i>Multisplit</i>	<i>Solar Térmico Tradicional</i>	<i>VMC Fluxo Simples Rph = 0,50</i>
<i>Bomba de Calor só AQS</i>	<i>Multisplit</i>		<i>Solar Térmico Termossifão</i>	<i>VMC Fluxo Simples Rph = 0,70</i>
<i>Termoacumulador</i>	<i>Caldeira a pellets só Aquecimento</i>			<i>VMC Duplo Fluxo Rph = 0,50</i>
				<i>VMC Duplo Fluxo Rph = 0,70</i>

Como referido, o número inicial de cenários obtidos, sem aplicação de qualquer restrição, fez um total de $5 \times 5 \times 3 \times 4 \times 6 = 1800$ cenários. Depois de listados todos os casos possíveis procedeu-se à eliminação dos cenários que seriam inviáveis ou não faziam sentido. Os critérios considerados basearam-se no pressuposto de não ter mais do que um equipamento a suprir uma mesma necessidade, por exemplo: se optássemos por utilizar um esquentador para preparação de águas quentes sanitárias não faria sentido utilizar para aquecimento a caldeira mural de condensação, porque simultaneamente poderia suprir as necessidades de aquecimento e preparação de AQS. Esta premissa, que pressupõe a concentração da satisfação de várias necessidades com um só equipamento, permitiu a redução dos cenários a simular para um total de 264 simulações.

Nos cenários em que se utilizam os coletores solares térmicos como variável do parâmetro de renováveis, tem de ser considerado adicionalmente, por exemplo, o esquentador ou termoacumulador, como sistema de apoio. O tipo de apoio varia, naturalmente, quando se trata do esquentador e do termoacumulador, assim como os rendimentos associados. O esquentador trabalha como um sistema de apoio a gás natural e o termoacumulador como sistema de apoio elétrico. Quando combinados com solares térmicos fotovoltaicos estes equipamentos funcionam exclusivamente, e na íntegra, para suprir as necessidades de produção de água quente sanitária.

De forma a organizar e tipificar os vários cenários a simular apresenta-se, na Figura 25, através de gráficos de queijos, a distribuição em percentagem dos diversos equipamentos no total de cenários a simular. Para uma visão global foi realizada a representação das 264 simulações num esquema em árvore. Este esquema pode ser consultado no Anexo 2.

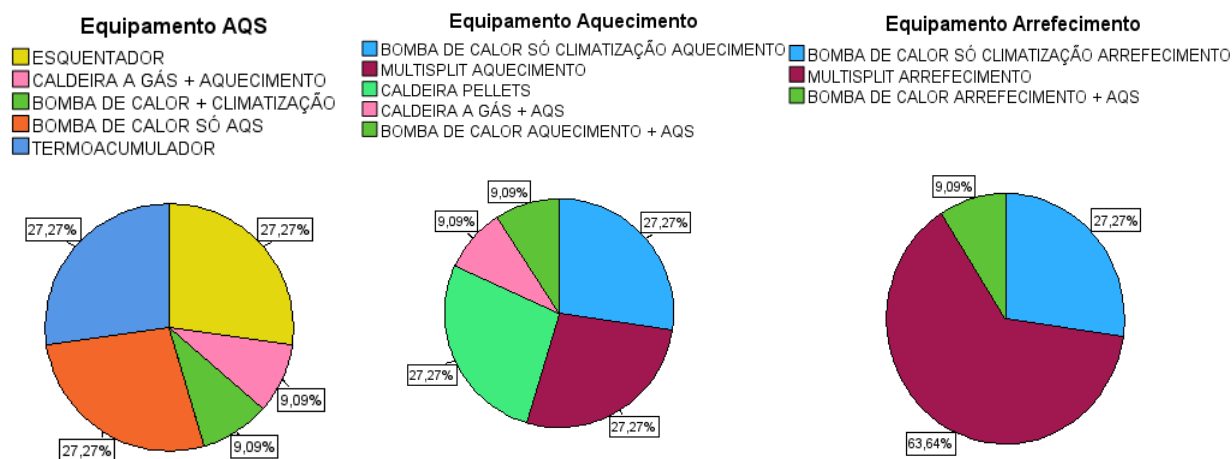


Figura 25 - Distribuição dos equipamentos pelo número total de cenários: a) AQS; b) Aquecimento; c) Arrefecimento

Na Figura 25.a), que mostra a distribuição dos equipamentos de AQS, é possível visualizar que o número de cenários que utilizam esquentador, termoacumulador e bomba de calor só para AQS é o mesmo, o que corresponde a um total de 216 cenários. Estes três equipamentos representam a maioria dos cenários porque são os únicos, entre os demais, que apenas desempenham a tarefa de produção de AQS sendo mais versáteis de combinar com os restantes equipamentos. Já a caldeira mural a gás e a bomba de calor para AQS e climatização permitem um menor número de combinações por conseguirem desempenhar mais do que uma função, como referido aquando da caracterização destes, limitando o número de combinações de cenários.

Nos equipamentos de aquecimento, Figura 25.b), a caldeira mural a gás e a bomba de calor que desempenha as três necessidades apresentadas, implicam uma redução no número de cenários. Isto acontece porque a caldeira mural a gás ao suprir as necessidades de AQS e de aquecimento ambiente apenas poderá ser combinada com uma bomba de calor do tipo *Multisplit* para arrefecimento ambiente e, a bomba de calor apenas pode ser combinada com ela própria nos parâmetros para os quais este equipamento é utilizado. A caldeira a *pellets*, como apenas desempenha a função de aquecimento ambiente apresenta uma maior versatilidade de ser combinada e, por isso, um maior número de cenários associados. Por fim, o *Multisplit* e a bomba de calor só climatização em conjunto asseguram o aquecimento e arrefecimento ambiente, o que iguala o seu número de cenários aos considerados nos equipamentos de AQS.

No arrefecimento, Figura 25.c), a bomba de calor permanece com as mesmas 24 simulações porque, apenas é combinada com ela própria por desempenhar as três necessidades. O *Multisplit* reflete um elevado peso no total de cenários porque, é a alternativa aquando na presença de equipamentos que só desempenham função de aquecimento ou aquecimento conjuntamente com a preparação de AQS.

A distribuição dos equipamentos renováveis e dos sistemas ventilação manifesta-se de forma semelhante, como era expectável. Para cada combinação de equipamentos de AQS, aquecimento e arrefecimento são associadas 24 combinações que refletem as variáveis dos parâmetros ventilação e renováveis.

Na Figura 26 é possível observar parte do esquema em árvore desenvolvido. Nesta parte do esquema encontram-se representados, tal como nos gráficos de queijos, os 24 cenários que utilizam para AQS, aquecimento e arrefecimento ambiente a bomba de calor capaz de suprir as três necessidades.

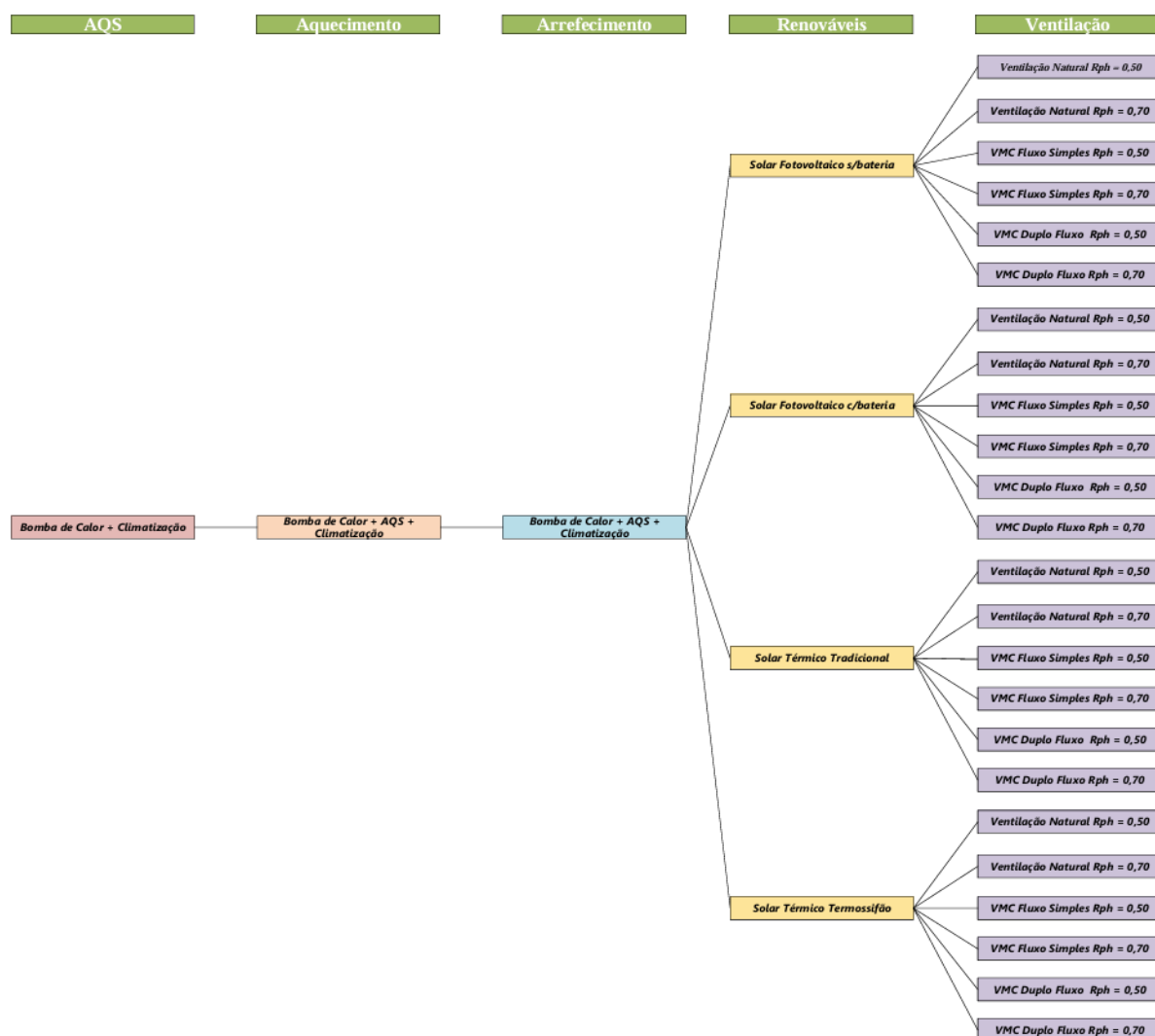


Figura 26 - Esquema em árvore das simulações

3.7. MÉTODOS DE ANÁLISE DE RESULTADOS

A título introdutório neste subcapítulo pretende-se apresentar dois exemplos de trabalhos desenvolvidos, que aproximam o setor da construção do processo de *Data Mining*, e que tiveram influência no método de análise dos dados simulados. De uma forma bastante breve, e adaptada ao caso de estudo, o processo de *Data Mining* tem como fase inicial a seleção de dados que se pretendem estudar. O dado específico deste caso de estudo tem como base a eficiência energética do edifício. A segunda fase passa pelo processamento dos dados, aqui são preparados os dados para análise e retiradas as primeiras conclusões após a uniformização dos dados no *software* escolhido. Em seguida, a fase mais importante do processo de *Data Mining*, onde são identificados padrões semelhantes e agrupados com base numa análise de *clusters*. Por fim, a metodologia termina com a interpretação dos resultados e das classificações obtidas para a discussão de conclusões.

3.7.1. DATA MINING NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO

Um trabalho levado a cabo por Ren, Yan e Hong (2015) teve como objetivo o uso de *Data Mining* para análise da eficiência do sistema de aquecimento de habitações sociais, onde foram retirados dos dados informações acerca de perfis de temperatura dos apartamentos, necessidades de aquecimento e sistemas

associados. A metodologia aplicada começou por realizar uma análise de *clusters* para o reconhecimento de tipo de padrões exigidos pelos utilizadores da habitação relativamente à temperatura de aquecimento. A medição da temperatura interior teve em consideração o tipo de equipamento utilizado, foram utilizados sistemas elétricos, sistemas a biomassa e sistemas a gás. Reunidas as informações e aplicada a análise de *clusters* aos dados, foi feita uma análise de previsão que, baseada na classe de eficiência, criou uma classificação permitiu identificar o modelo do equipamento. A forma de demonstração desta componente foi conseguida através da aplicação de uma árvore de decisão (Ren, Yan e Hong, 2015).

O trabalho desenvolvido permitiu concluir que o *Data Mining* é uma ferramenta útil e intuitiva para a avaliação do desempenho energético das construções e, que pode ser utilizado na avaliação de potenciais comportamentos padrões relativamente à temperatura exigida pelos utilizadores e classe energética a implementar.

Outro estudo baseou-se no uso da ferramenta de *Data Mining* para analisar fatores que afetavam os padrões de consumo de energia, das famílias americanas, no setor doméstico. Os *clusters* formados tinham como principal variável os consumos de energia. As análises de caracterização dos padrões de consumo dos habitantes americanos tiveram associados fatores como as características da envolvente externa, componente passiva do edifício, sistemas dos usos regulados e iluminação da habitação. As diferentes árvores de decisão construídas permitiram extrair informações relativas às causas para elevados consumos de energia do edifício. O estudo revelou-se conclusivo para a necessidade de isolar as habitações e para a relevância de utilizar equipamentos mais eficientes (Nazeriye et al., 2021).

O uso deste método revelou a capacidade de extrair informação e conhecimento com precisão e detalhe, apostando-se no seu uso em abordagens futuras.

Nesta tese, com o propósito de identificar padrões de desempenho energético num edifício e encontrar uma forma expedita de decisão acerca dos equipamentos a utilizar, a ferramenta de *Data Mining* foi usada na análise exploratória dos dados (resultados dos cenários simulados), incluindo a análise de *clusters* e árvores de decisão. Estas duas ferramentas serão descritas com mais detalhe de seguida.

O tratamento estatístico dos dados, assim como a análise de *clusters* foi realizada com recurso ao *software IBM SPSS Statistics*. Este *software* é um programa de análise estatística, não gratuito, criado em 1968, que permite a interpretação, análise e gestão dos dados nele introduzidos (Simon, 2014).

O *software RapidMiner* foi usado para criar as árvores de decisão. Este *software* trata-se de uma plataforma de análise de dados que permite retratar os dados de uma forma intuitiva. A utilização deste programa passa pela introdução da folha de dados no mesmo e pela necessidade de criar um código interligado que nos forneça o *output* desejado, neste caso a árvore de decisão (Ristoski, Bizer e Paulheim, 2015).

3.7.2. ANÁLISE DE CLUSTERS

A análise de *clusters* é reconhecida como uma ferramenta de *Data Mining* que se reflete na organização, separação, interpretação e compreensão dos dados. A este tipo de análise está associado o uso de métodos matemáticos. A análise de *clusters* é a denominação consensual para a formação de *clusters* (grupos), que faz a junção dos dados da amostra, criando grupos, que apresentam características semelhantes. Estando posteriormente definidos os diferentes grupos de elementos (cenários) semelhantes estes recebem a denominação de *cluster* (Han, Kamber e Pei, 2012).

Os métodos de análise de *clusters* podem ser divididos em hierárquicos, *Between-groups linkage*, *Within-groups linkage*, *Ward's*, entre outros, e não hierárquicos (como é exemplo o método *K-means*). Os métodos hierárquicos incluem métodos divisivos ou aglomerativos. O primeiro método inicia o processo com um único *cluster* com toda a amostra, que se vai dividindo em *clusters* mais pequenos até no fim só ficar um *cluster* para cada objeto. O método aglomerativo realiza um processo inverso, começa por cada objeto ter o seu próprio *cluster* que depois, iterativamente, agrupa-os em *clusters* semelhantes até se encontrar toda a amostra num único *cluster* (Witten, Frank e Hall, 2011).

3.7.3. ÁRVORES DE DECISÃO

As árvores de decisão são consideradas análises de previsão. Este tipo de representação gráfica é constituído por quatro membros que interligados formam um diagrama. A árvore começa a formar-se no nó raiz, geralmente no topo do fluxograma, depois são criados os ramos e nós internos, terminando com os nós terminais (Han, Kamber e Pei, 2012).

Este modelo de previsão é montado através da associação dos membros em que, os nós terminais afirmam a classificação pretendida e os nós internos ramificam consoante o atributo do teste lógico, partindo do nó inicial ou dos nós internos. A Figura 27 representa um exemplo de árvore de decisão em que o nó raiz é uma condição que obtém resposta através dos ramos, os nós internos são igualmente condições e os nós terminais são as respostas conclusivas do percurso.

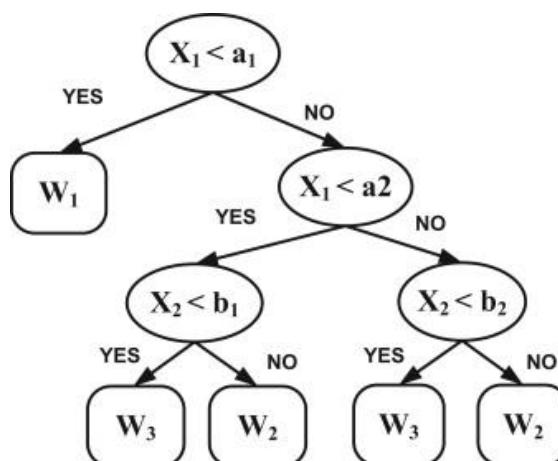


Figura 27 – Exemplo de árvore de Decisão (Heidari, Seifossadat e Razaz, 2013)

4

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS INSTALAÇÕES

4.1. RESULTADOS DOS CENÁRIOS SIMULADOS

Uma vez exposta a informação necessária acerca do estudo dos equipamentos de preparação de AQS, climatização, sistemas renováveis e ventilação no capítulo 3, e a caracterização da habitação de estudo no mesmo capítulo, no presente capítulo a junção destes dois pontos culmina nos resultados derivados das diversas simulações.

Neste subcapítulo apresenta-se os resultados obtidos das simulações efetuadas. Como a tabela, resultante da ferramenta de cálculo correspondente aos 264 cenários é extensa, optou-se por apresentar, neste capítulo, apenas um excerto dos primeiros 24 cenários. Os cenários apresentados correspondem às combinações de esquentador para preparação de AQS, bomba de calor apenas para climatização e os diferentes equipamentos de energia renovável e mecanismos de ventilação (Tabela 23). Nesta tabela, as primeiras duas colunas indicam a identificação do cenário e o valor da renovação de ar horária correspondente, as seis seguintes retratam os valores das necessidades nominais anuais, que foram descritas com mais detalhe no capítulo 2. As cinco colunas coloridas representam a repartição do parâmetro N_{tc} pelos diferentes usos regulados, que perfazem o valor global de N_{tc} . As três colunas seguintes representam a quantidade de energia produzida a partir de fontes de energia renováveis, o indicador de energia renovável percentual e o rácio que indica a classe energética a que pertence o cenário. As duas últimas colunas sintetizam a classe energética do edifício, aquando adotado o cenário em causa, e o custo associado a essa combinação.

Tabela 23 - Excerto da Tabela de Resultados (1ª parte)

Cenário	Rph	Ni	Nic	Nv	Nvc	Nt	Ntc	Aquec	Arref	AQS	Ventil	Renov	Eren	RenHAB	Ntc/Nt	Classe	Custo
1	0,50	75,75	51,17	9,13	6,13	88,31	40,29	31,20	3,26	17,92	-	12,09	7459	310,31	0,46	A	14 470,10 €
2	0,70	75,75	56,39	9,13	5,42	88,31	40,98	34,39	0,00	17,92	-	11,33	8026	301,14	0,46	A	16 294,20 €
3	0,50	75,75	50,80	9,13	6,19	88,31	40,50	30,98	3,29	17,92	0,57	12,25	7432	309,90	0,46	A	15 821,10 €
4	0,70	75,75	53,81	9,13	5,76	88,31	41,05	32,81	0,00	17,92	2,00	11,69	7793	292,24	0,46	A	15 821,10 €
5	0,50	75,75	38,32	9,13	8,35	88,31	21,20	0,00	4,44	17,92	1,83	2,99	6160	53,35	0,24	A+	14 214,10 €
6	0,70	75,75	35,01	9,13	9,06	88,31	21,67	0,00	4,82	17,92	2,33	3,40	5845	58,75	0,25	A+	14 214,10 €
7	0,50	75,75	51,17	9,13	6,13	88,31	34,10	31,20	3,26	17,92	-	18,28	7841	344,85	0,39	A	19 969,74 €
8	0,70	75,75	56,39	9,13	5,42	88,31	36,37	34,39	0,00	17,92	-	15,93	8396	326,83	0,41	A	21 793,84 €
9	0,50	75,75	50,80	9,13	6,19	88,31	34,20	30,98	3,29	17,92	0,57	18,56	7821	345,07	0,39	A	21 320,74 €
10	0,70	75,75	53,81	9,13	5,76	88,31	35,97	32,81	0,00	17,92	2,00	16,77	8194	320,59	0,41	A	21 320,74 €
11	0,50	75,75	38,32	9,13	8,35	88,31	18,81	0,00	4,44	17,92	1,83	5,38	6576	66,69	0,21	A+	19 713,74 €
12	0,70	75,75	35,01	9,13	9,06	88,31	19,07	0,00	4,82	17,92	2,33	6,00	6266	73,27	0,22	A+	19 713,74 €
13	0,50	75,75	51,17	9,13	6,13	111,55	42,30	31,20	3,26	20,27	-	12,43	8631	276,04	0,38	A	15 341,08 €
14	0,70	75,75	56,39	9,13	5,42	111,55	42,22	34,39	0,00	20,27	-	12,43	9153	271,70	0,38	A	17 165,18 €

Cenário	Rph	Ni	Nic	Nv	Nvc	Nt	Ntc	Aquec	Arref	AQS	Ventil	Renov	Eren	RenHAB	Ntc/Nt	Classe	Custo
15	0,50	75,75	50,80	9,13	6,19	111,55	42,67	30,98	3,29	20,27	0,57	12,43	8594	283,43	0,38	A	16 692,08 €
16	0,70	75,75	53,81	9,13	5,76	111,55	42,65	32,81	0,00	20,27	2,00	12,43	8893	262,06	0,38	A	16 692,08 €
17	0,50	75,75	38,32	9,13	8,35	111,55	14,11	0,00	4,44	20,27	1,83	12,43	7401	93,77	0,13	A+	15 085,08 €
18	0,70	75,75	35,01	9,13	9,06	111,55	14,98	0,00	4,82	20,27	2,33	12,43	7100	96,51	0,13	A+	15 085,08 €
19	0,50	75,75	51,17	9,13	6,13	105,74	44,85	31,20	3,26	21,21	-	10,83	8383	256,22	0,42	A	16 214,38 €
20	0,70	75,75	56,39	9,13	5,42	105,74	44,77	34,39	0,00	21,21	-	10,83	8905	252,07	0,42	A	18 038,48 €
21	0,50	75,75	50,80	9,13	6,19	105,74	45,22	30,98	3,29	21,21	0,57	10,83	8346	255,10	0,43	A	17 565,38 €
22	0,70	75,75	53,81	9,13	5,76	105,74	45,20	32,81	0,00	21,21	2,00	10,83	8645	242,86	0,43	A	17 565,38 €
23	0,50	75,75	38,32	9,13	8,35	105,74	16,65	0,00	4,44	21,21	1,83	10,83	7153	82,03	0,16	A+	15 958,38 €
24	0,70	75,75	35,01	9,13	9,06	105,74	17,53	0,00	4,82	21,21	2,33	10,83	6852	84,65	0,17	A+	15 958,38 €

Tabela 24 - Excerto da Tabela de Resultados (2ª parte)

Cenário	Condição	Nic/Ni	Nvc/Nv	NZEB?	AQS	Aquecimento	Arrefecimento	Renováveis	Ventilação
1	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico s/bateria	Ventilação Natural Rph=0,50
2	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico s/bateria	Ventilação Natural Rph=0,70
3	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Fluxo Simples Rph=0,50
4	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Fluxo Simples Rph=0,70
5	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,50
6	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,70
7	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico c/bateria	Ventilação Natural Rph=0,50
8	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico c/bateria	Ventilação Natural Rph=0,70
9	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico c/bateria	VMC Fluxo Simples Rph=0,50
10	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico c/bateria	VMC Fluxo Simples Rph=0,70
11	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico c/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,50
12	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Fotovoltaico c/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,70
13	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Tradicional	Ventilação Natural Rph=0,50
14	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Tradicional	Ventilação Natural Rph=0,70
15	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Tradicional	VMC Fluxo Simples Rph=0,50
16	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Tradicional	VMC Fluxo Simples Rph=0,70
17	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Tradicional	VMC Duplo Fluxo Rph=0,50
18	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Tradicional	VMC Duplo Fluxo Rph=0,70
19	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Termossifão	Ventilação Natural Rph=0,50
20	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Termossifão	Ventilação Natural Rph=0,70
21	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Termossifão	VMC Fluxo Simples Rph=0,50
22	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Termossifão	VMC Fluxo Simples Rph=0,70
23	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Termossifão	VMC Duplo Fluxo Rph=0,50
24	OK	OK	OK	SIM	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Solar Térmico Termossifão	VMC Duplo Fluxo Rph=0,70

Na Tabela 23 foi inserida, uma formatação condicional em três variáveis (N_{tc} , R_{Nt} e custo) com o intuito de revelar, através da gradação de cor, a avaliação de cada uma das variáveis individualmente, demonstrando os cenários que apresentavam melhores resultados. De referir que esta gradação de cor diz respeito à análise global dos cenários e não apenas aos 24 cenários que se encontram apresentados

neste excerto. Analisando esta tabela, consegue-se observar a diversidade de valores de N_{tc} entre os cenários, sabendo que a um menor valor de N_{tc} está relacionado um menor valor de necessidades nominais anuais de energia primária, logo um melhor desempenho energético. As classes energéticas existentes são duas, classe energética A e A+, nos cenários apresentados, o que se conclui que cumpriam as exigências em edifícios novos. A variação dos custos não é tão significativa, até porque se trata de um conjunto de cenários em que maioritariamente correspondem equipamentos iguais, correspondendo a investimentos iniciais semelhantes.

Devido à extensão da tabela completa dos dados, a descrição dos equipamentos utilizados nos cenários está representada na Tabela 24. Nesta tabela, a primeira coluna identifica o cenário em causa e as quatro colunas seguintes refletem a satisfação das exigências regulamentares apresentadas. A primeira condição é referente ao cumprimento da exigência de Ren_{Hab} maior ou igual a 50%. Através de uma simples fórmula de condição as respostas às condições impostas são automáticas. Nas colunas coloridas, as mesmas cores utilizadas na repartição do N_{tc} , indicam por extenso o equipamento utilizado em cada uso e em cada cenário.

Na Tabela 24 os pareceres, das diversas condições, são favoráveis cumprindo as exigências regulamentares necessárias para estar em consonância com a legislação atual em vigor. Em caso de não cumprimento a coloração da célula alterar-se-ia para tons de magenta, em harmonia com o caso de parecer desfavorável. A tabela completa de resultados pode ser visualizada na consulta do Anexo 3.

4.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

4.2.1. ANÁLISE DESCRITIVA

Neste subcapítulo é feita a análise estatística descritiva dos resultados obtidos a partir das simulações. Esta análise procura representar de uma forma intuitiva e simples, a elevada quantidade de dados resultantes da ferramenta de cálculo. Para isso, foram efetuadas representações gráficas das distribuições de algumas variáveis representativas do desempenho energético do edifício, assim como calculadas algumas medidas estatísticas descritivas.

Na Tabela 25 estão representados o máximo, o mínimo, a média e o desvio padrão de cada variável. O desvio padrão é essencial para entender o grau de dispersão dos dados e a distribuição natural das variáveis, pelo que se revela um fator importante para a interpretação dos valores. Os valores de N_{tc} apresentam uma dispersão razoável em torno da média o que reflete que existem cenários onde o consumo de energia é muito dispar entre si. Existem cenários onde as necessidades de energia primária são efetivamente baixas, o que é favorável, e noutros onde esse consumo é significativamente maior. Face à ao parâmetro E_{ren} , os dados demonstram uma grande heterogeneidade. Seria de esperar este tipo de resultado uma vez que se trata de um conjunto de equipamentos diferentes e, onde a legislação, como aprofundado no segundo capítulo, trata de forma diferente o cálculo dessa produção de energia consoante o tipo de fonte e o tipo de equipamento.

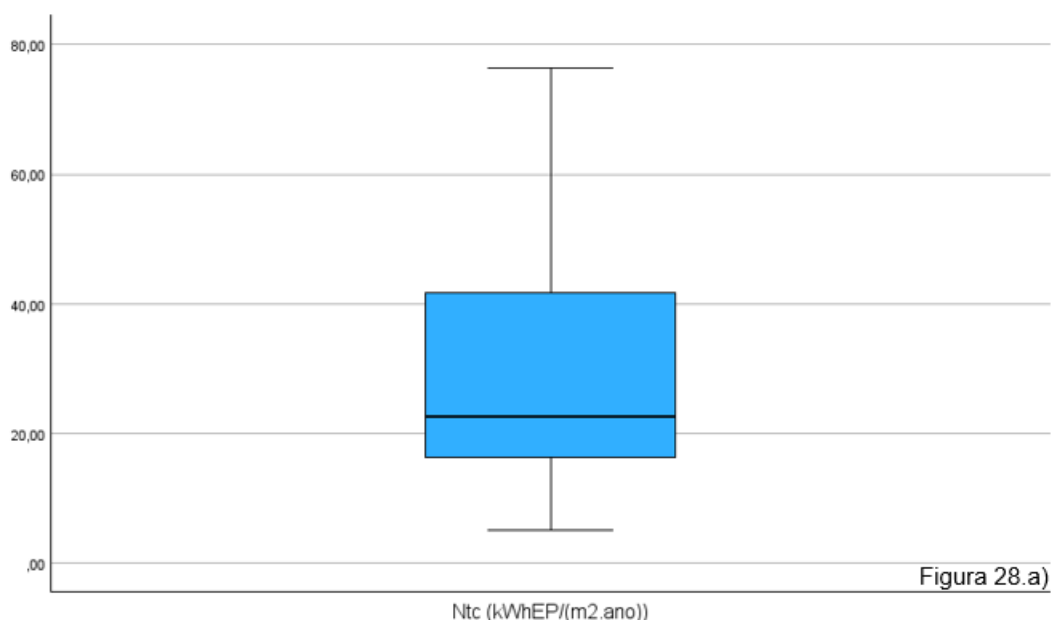
A análise rigorosa das duas primeiras variáveis, N_{tc} e E_{ren} , torna-se essencial, uma vez que a interpretação se debruçará sobre estas. A variável E_{ren} , está diretamente relacionada com o tipo de equipamentos usados, logo facilmente identifica o cenário em causa. Já a variável N_{tc} reflete todas as outras variáveis referentes às necessidades dos usos regulares pelo que será importante para determinar consumos e custos económicos relacionados.

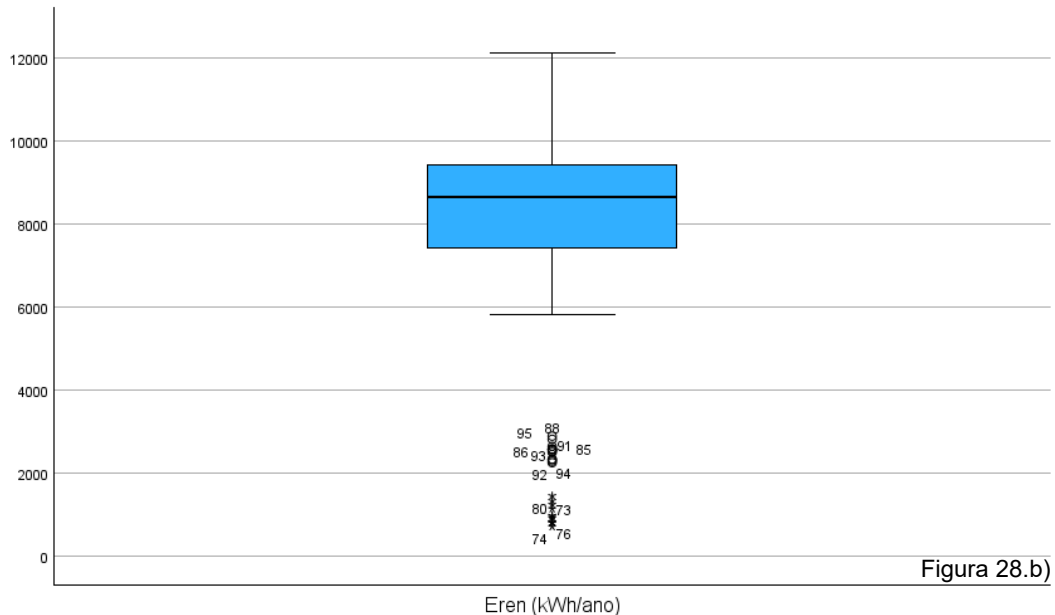
Tabela 25 - Análise Descritiva dos Resultados

Estatísticas Descritivas						
	N	Intervalo	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
N_{tc} (kWhEP/(m2.ano))	264	71,32	5,07	76,39	29,10	16,741
E_{ren} (kWh/ano)	264	11391	713	12104	8235	2447,929
Ren_{Hab} (%)	264	368,44	0,00	368,44	205,22	110,004
N_{ic} (kWh/(m2.ano))	264	21,38	35,01	56,39	47,58	8,009
N_{vc} (kWh/(m2.ano))	264	3,64	5,42	9,06	6,82	1,376
N_t (kWhEP/(m2.ano))	264	56,21	77,07	133,28	106,24	16,404
N_i (kWh/(m2.ano))	264	0,00	75,75	75,75	75,75	0,000
N_v (kWh/(m2.ano))	264	0,00	9,13	9,13	9,13	0,000
R_{Nt}	264	0,64	0,05	0,69	0,28	0,158
N válido (de lista)	264					

Uma forma gráfica de analisar a distribuição estatística de uma variável é através dos diagramas de caixa ou *boxplots*, este tipo de representação permite rapidamente visualizar a distribuição da variável e identificar valores extremos. Os valores extremos são, geralmente, denominados por *outliers* que são valores que se desviam da normalidade.

A Figura 28.a) representa o gráfico *boxplot* da variável N_{tc} e, pode-se observar que não existem *outliers* e que a mediana se encontra ligeiramente abaixo do centro da caixa, o que indica uma leve assimetria positiva. Os valores máximo e o mínimo da variável, os bigodes, encontram-se na Tabela 25 mas, a concentração dos resultados dá-se, aproximadamente, entre 15 e 45 kWhEP/(m2.ano) o que “empurra” a caixa ligeiramente para baixo. Recordar que a minimização do parâmetro N_{tc} encadeia a uma classe de energia mais favorável, como indica a metodologia de cálculo apresentada no segundo capítulo.

Figura 28 - Gráfico *Boxplot* da variável: a) N_{tc} ; b) E_{ren}

Figura 28 - Gráfico *Boxplot* da variável: a) N_{tc} ; b) E_{ren}

O facto da variável E_{ren} apresentar vários *outliers* inferiores, indica uma assimetria negativa na distribuição da variável. Foram identificados *outliers* tanto moderados como severos, sendo representados em forma de círculos os moderados e em forma de asterisco os severos no *boxplot* da Figura 28.b).

Recorda-se que a variável E_{ren} obtém um parecer favorável quanto mais elevado for o seu valor numérico. Os *outliers* revelam os cenários que tem esta variável com menor valor e, por consequência, pode-se referir que se trata dos cenários que utilizam o equipamento caldeira mural a gás para preparação de AQS e aquecimento ambiente. Seria previsível porque são casos que asseguram as necessidades de aquecimento e preparação de AQS com recurso à caldeira mural a gás, equipamento com fonte de energia não renovável.

Demonstrada a importância das variáveis N_{tc} e E_{ren} , para a análise de *clusters*, analisou-se a sua normalidade, tendo-se concluído que nenhuma das variáveis segue a distribuição Normal. No entanto, tendo por base o fundamento do Teorema do Limite Central, quando o tamanho da amostra é suficientemente grande ($N \geq 30$), independente da sua forma de distribuição original, assume-se que a distribuição das variáveis será aproximadamente normal.

Como exposto em capítulos anteriores o indicador de energia primária renovável em edifícios de habitação, Ren_{Hab} , tem de ser superior a 50% para que a certificação seja válida nos novos edifícios. Após uma contabilização identificaram-se 6 cenários simulados que não cumprem esta imposição (Figura 29), que correspondem às simulações em que é utilizado a caldeira mural para preparação de AQS e aquecimento ambiente e *Multisplit* para arrefecimento.

Consequentemente, é possível concluir que cenários que utilizem este tipo de equipamento para suprir as necessidades de AQS e aquecimento ambiente são os que produzem menos energia a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício.

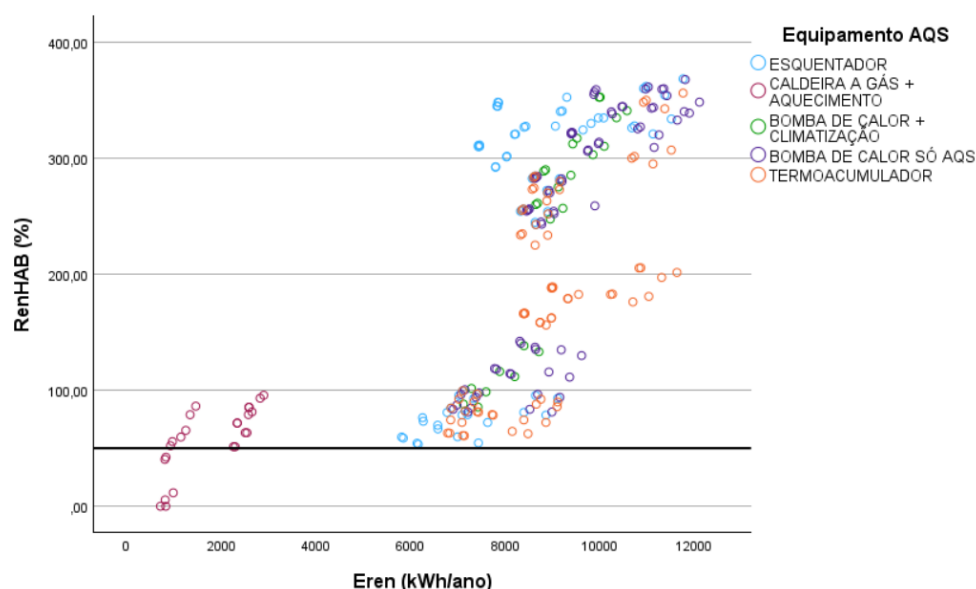


Figura 29 - Gráfico de Dispersão Eren e RenHab em função do Equipamento de AQS

As conclusões que se retiram, da análise da distribuição da variável Ren_{Hab} , é que se trata de uma variável bastante dispersa, o que nos remete para uma heterogeneidade dos resultados. Tanto na Figura 29 como na Tabela 25 é possível visualizar que o valor mínimo que a variável Ren_{Hab} tem, dentro do total da amostra, é zero. Os dois cenários que se refletem na descrição acima, conjugam a caldeira mural a gás para preparação de AQS e aquecimento ambiente, *Multisplit* para arrefecimento ambiente e ventilação natural com renovação de ar igual a $0,70 \text{ h}^{-1}$. Para equipamento renovável um dos cenários possui um painel fotovoltaico sem bateria e o outro cenário painel fotovoltaico com bateria. Como referido nos capítulos 2 e 3, o *Multisplit* possui uma bomba de calor, do tipo aerotérmica, que é considerado um equipamento com fonte de energia renovável. Nos dois cenários acima referidos, dada a taxa de renovação de ar de $0,70 \text{ h}^{-1}$ da ventilação natural, o parâmetro parcial de arrefecimento de N_{tc} é nulo. Como, nestas duas combinações o *Multisplit* é o único equipamento a eletricidade que pode utilizar a energia produzida pelos solares térmicos fotovoltaicos, não existe contribuição de qualquer equipamento para a produção de energia renovável porque o equipamento de arrefecimento não tem qualquer valor associado de N_{tc} .

Este tipo de ocorrência manifesta-se quando o risco de sobreaquecimento do espaço se encontra minimizado. A partir da Equação 2, do presente documento, e dos relatórios energéticos da ferramenta de cálculo, concluímos que nestes dois cenários o fator de anulação, δ_v , recebe a conotação de zero, pelo que a contribuição do único equipamento a eletricidade é nula. Comentando, agora com auxílio da Equação 19 não existindo equipamentos com fonte de energia eletricidade, a energia produzida pelos painéis solares fotovoltaicos não tem destino, visto que não existe contributo do *Multisplit* e o equipamento que resta, para os restantes usos regulados, é a caldeira mural com fonte de energia a gás.

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic} apresentam maior variabilidade face às necessidades anuais de arrefecimento, N_{vc} , o que está inteiramente relacionado com o tipo de ventilação e com a taxa de renovação horária implementado no edifício. A partir da Figura 30, podemos observar que os métodos de ventilação natural e VMC Fluxo Simples, que possuem uma taxa de renovação horária maior requerem mais energia no inverno para aquecimento e menor energia de arrefecimento no verão. Já a ventilação mecânica controlada de duplo fluxo apresenta melhor comportamento em termos de energia necessária para aquecimento, mesmo possuindo maiores necessidades de energia no verão. Comparativamente às restantes soluções, as suas necessidades de energia no inverno são cerca de 35% menores face à média dos restantes métodos de ventilação.

Em suma, a ventilação mecânica controlada de duplo fluxo mostra-se uma solução interessante do ponto de vista de minimização das necessidades nominais anuais de energia útil para climatização.

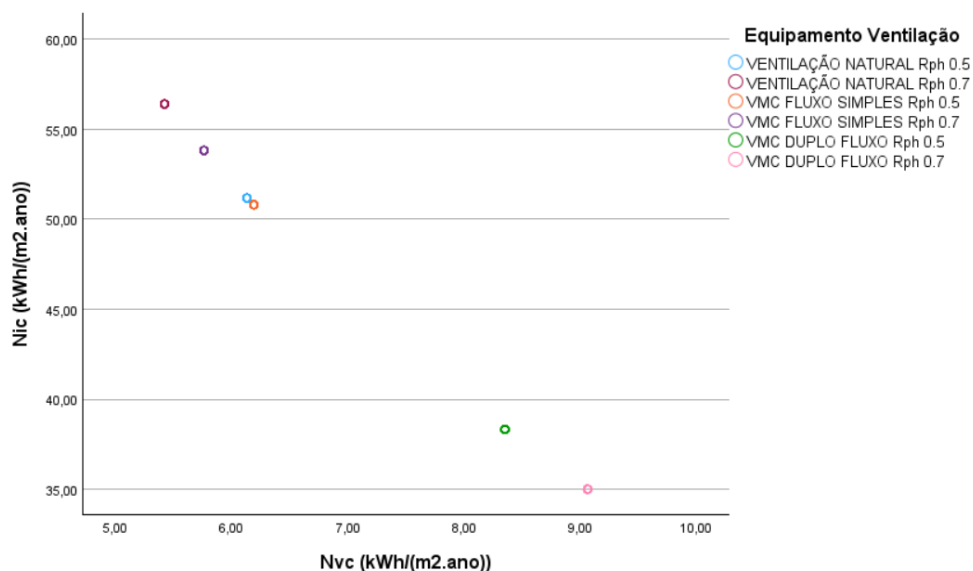


Figura 30 - Gráfico de Dispersão Nvc e Nic em função do tipo de ventilação

O parâmetro N_t reflete as necessidades nominais anuais de energia primária do edifício de referência, que varia consoante a eficiência de referência dos sistemas utilizados. Os valores numéricos das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e para arrefecimento de referência, respetivamente N_i e N_v , são constantes porque refletem a energia necessária para um edifício hipotético com as características iguais ao edifício real.

O parâmetro que reflete a classe energética do edifício é dado pelo rácio entre N_{tc} e N_t . As ilações que se podem retirar previamente são as de um parâmetro relativamente homogêneo, que apresenta pouca dispersão, uma vez que os dados se encontram concentrados próximos da média. Na Figura 31 apresenta-se a distribuição das classes energéticas e o seu peso no todo da amostra. Apenas 16 dos 264 cenários simulados não cumpririam os requisitos destinados a edifícios novos de habitação para certificação. Porém, dentro dos casos admitidos existem outros fatores, como por exemplo o custo e o tipo de fonte de energia, que têm um peso relevante na decisão do conjunto de equipamentos, assunto a discutir mais à frente neste capítulo.

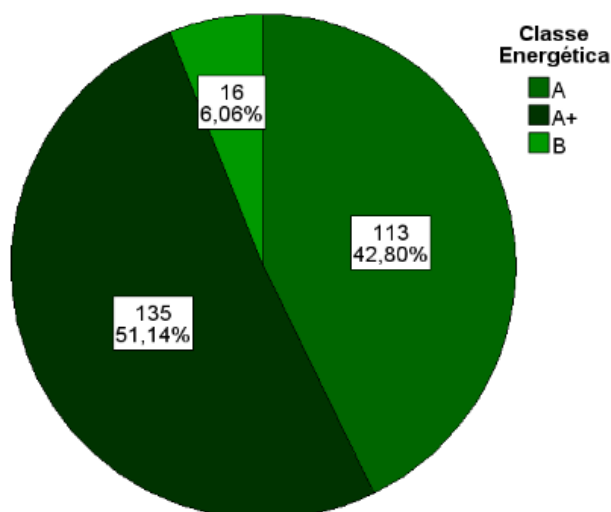


Figura 31 - Distribuição da Classe Energética da amostra

4.2.2. ANÁLISE DE CLUSTERS

Tendo por base o que anteriormente foi exposto, nos métodos de análise de resultados, o processo de *Data Mining* ganha relevância na aplicação da análise de *clusters*. Para a aplicação desta ferramenta estatística, a primeira questão com que nos deparamos é de qual será o número de *clusters* adequado. De forma a ultrapassar esta questão foram realizadas várias experiências até encontramos um resultado convergente em dois métodos hierárquicos diferentes. Com a aplicação dos métodos hierárquicos *Between-groups linkage* e *Within-groups linkage* chegou-se à formação ideal de um total de 4 *clusters* (grupos). Na Figura 32 mostra-se o dendrograma obtido através do método *Between-groups linkage*.

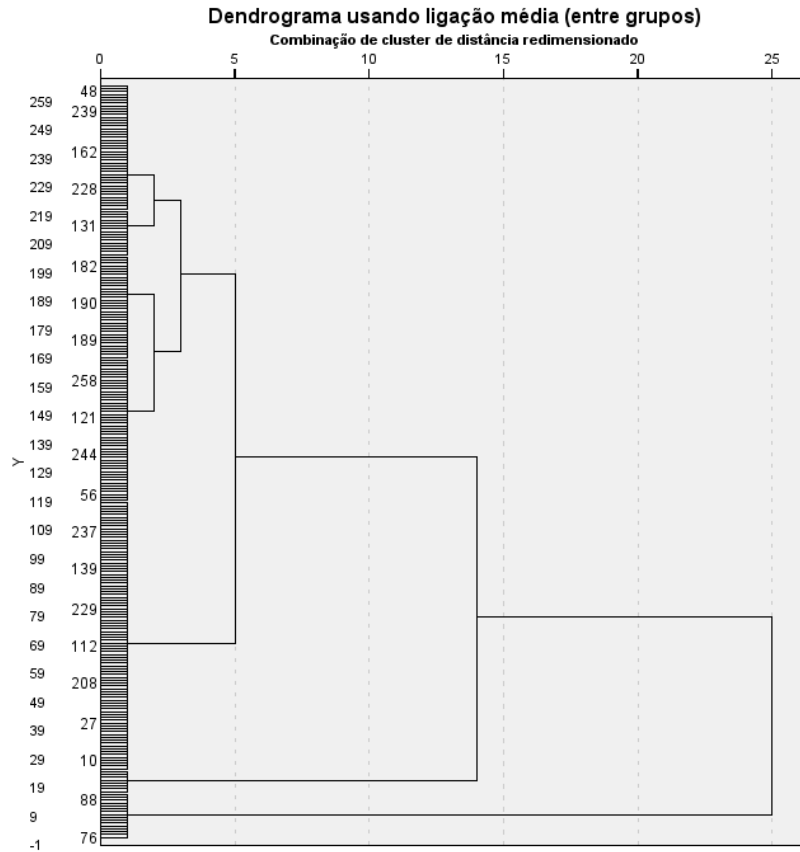


Figura 32 – Dendrograma aplicação do método *Between-groups linkage*

A Figura 33 apresenta a relação entre E_{ren} e N_{tc} , onde se pode observar a completa desagregação dos diferentes cenários distribuídos pelos 4 *clusters* formados. Analisando a formação dos grupos existem dois que se distinguem inequivocamente, *cluster 3* e *cluster 4*. O *cluster 3*, aparentemente integra os cenários com pior desempenho, porque é vantajoso termos uma elevada produção de energia por fontes renováveis e menores consumos de energia primária. Os cenários que integram o *cluster 4*, ainda que apresentem valores de N_{tc} menores, a produção de energia renovável fica aquém, comparando com a dos cenários que integram os *clusters 1* e *2*. O *cluster 1* pode-se considerar uma mediana dos outros, na medida que reflete uma posição central tanto de energia nominal anual primária como de energia renovável produzida. Face a informação exposta, das tendências favoráveis das variáveis E_{ren} e N_{tc} , os cenários que integram o *cluster 2*, à partida, refletem soluções interessantes do ponto de vista de desempenho energético, por terem valores elevados de E_{ren} e valores relativamente baixos de N_{tc} .

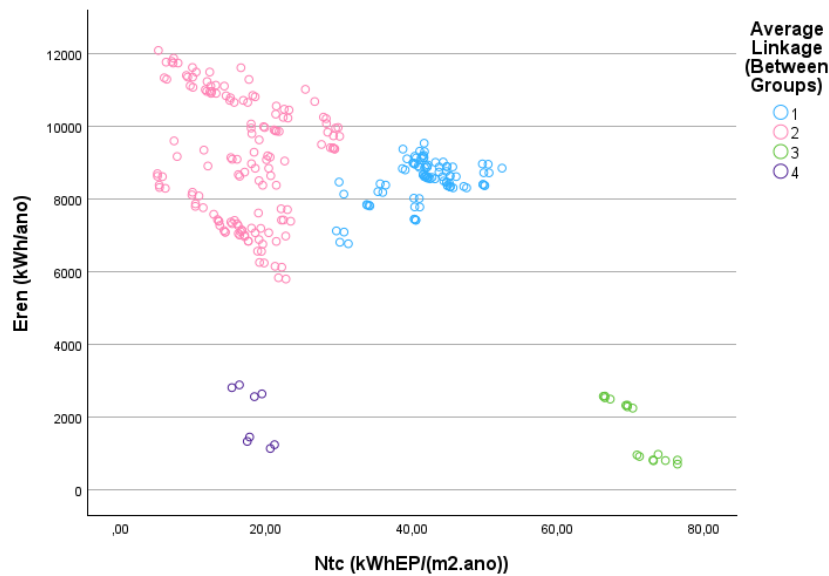


Figura 33 - Gráfico de Dispersão Ntc e Eren em função dos *Clusters*

Realizada uma análise prévia, é agora essencial realizar uma análise estatística descritiva de cada um dos *clusters*, de forma a identificarmos com mais pormenor as características de cada grupo. Para resumir a informação, foi construído um gráfico de dispersão que permite comparar os valores médios das necessidades nominais anuais de energia primária e energia produzida a partir de fontes de energia renovável de cada *cluster*. A cada figura geométrica está associado o centroide do *cluster* correspondente. Quanto maior é a figura geométrica maior é o desvio padrão da variável E_{ren} , ou seja, o *cluster 2* apresenta uma maior heterogeneidade de cenários no que toca à produção de energia com fonte de energia renovável. Os restantes 3 grupos possuem valores de desvio padrão menores pelo que, refletem valores de E_{ren} semelhantes, dentro do seu grupo, apresentando assim, uma dispersão menor em termos de valores. A graduação de cor reflete o valor do desvio padrão da variável N_{tc} , o *cluster 2* continua a ter o maior desvio padrão, pelo que, os valores de N_{tc} , dentro do grupo, são bastante dispersos e distintos. O *cluster 3* e 4, apresentam menor dispersão de valores de N_{tc} o que revela que os valores dentro do grupo são próximos. O *cluster 1* apresenta um desvio padrão de N_{tc} considerável, apresentando uma similaridade ao *cluster 2* (Figura 34).

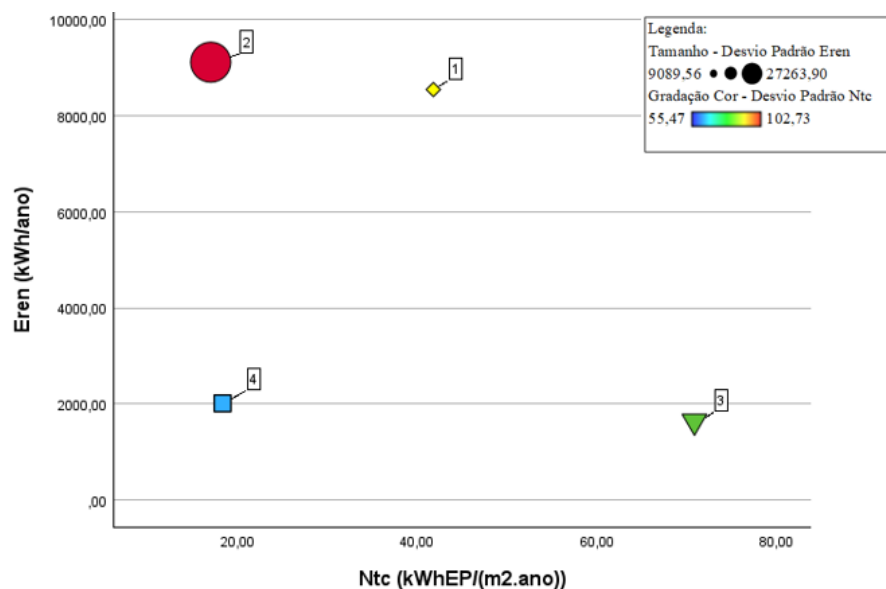


Figura 34 - Gráfico de Dispersão Análise Estatística Descritiva *Clusters*

Ainda na Figura 34, que apresentava a análise estatística descritiva dos *clusters*, reflete que o *cluster 3* tem o valor médio mais alto de necessidades nominais anuais de energia, N_{tc} , pelo que terá os cenários que mais consomem energia primária. Os *clusters 2 e 4* apresentam valores bastante semelhantes e mais favoráveis em termos da energia primária consumida pela habitação. Pode-se afirmar que a variável N_{tc} interfere consideravelmente na formação dos *clusters*. Os *clusters 1 e 2* são os grupos que apresentam maior produção de energia renovável, E_{ren} , pelo que, os seus valores são bastante semelhantes.

Uma variável que se julga ser importante de analisar é o rácio da classe energética. Através da Tabela 26 podemos observar que em média os *clusters 2 e 4* são os agrupamentos que apresentam a classe energética mais favorável. O *cluster 1* ainda apresenta, em média, uma classe aceitável do ponto de vista legislativo para edifícios novos. O grupo de cenários que apresenta pior classe energética, entre os demais, não só não poderiam ser cenários utilizados para certificação energética de edifícios de habitação novos como se julga serem os cenários com pior desempenho energético em comparação com os extremos dos outros *clusters*.

Tabela 26 - Medidas Estatísticas por Cluster

Medidas Estatísticas por Cluster							
	Cluster	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Classe
R _{Nt}	1	94	0,41	0,861	0,22	0,50	A
	2	146	0,17	1,315	0,05	0,38	A+
	3	16	0,60	1,186	0,51	0,69	B
	4	8	0,16	0,423	0,12	0,19	A+

4.3. IMPACTO DA COMBINAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

O estudo do impacto da combinação de equipamentos debruça-se sobre duas componentes principais: a análise de previsão e a análise de associações. A sua complementaridade permite que o estudo seja mais claro de interpretar.

Como referido anteriormente, as árvores de decisão podem ser consideradas análises de previsão. Devido à extensão dos dados a tratar esta é uma alternativa interessante para a exposição dos resultados de uma forma intuitiva e resumida. O modelo de previsão é montado através da associação das variáveis em que, os nós terminais afirmam a classificação pretendida e os nós internos ramificam consoante o atributo do teste lógico, partindo do nó inicial. A formação das árvores de decisão com recurso aos *clusters* previamente formados, permite avaliar o impacto da integração dos equipamentos na classe energética ou ao *cluster* a que pertencem.

De forma a melhor interpretar as árvores de decisão elaboradas, antes mesmo de as apresentar, na Tabela 27 sintetiza-se os valores das variáveis de 8 cenários aleatórios, como exemplos, para análise das mesmas.

Tabela 27 - Cenários de análise árvores de decisão

Cenário	Ntc	Eren	Ntc/Nt	Classe	Custo	Cluster
5	21,20	6160	0,24	A+	14 214,10 €	2
31	33,77	7861	0,42	A	15 065,34 €	1
32	35,61	8432	0,44	A	16 889,44 €	1
52	19,02	9642	0,19	A+	13 725,27 €	2
79	71,18	925	0,65	B	17 227,46 €	3
83	17,39	1339	0,16	A+	16 971,46 €	4
86	67,17	2503	0,52	B	14 422,90 €	3
96	19,40	2647	0,15	A+	13 216,10 €	4

O *software RapidMiner* permite a definição das variáveis que vamos utilizar para formação da árvore de decisão. Esta definição é bastante importante para que possam ser constituídos os ramos de ligação e a classificação final, de modo a identificar os padrões que resultaram da formação dos *clusters*. Apesar de o *software* permitir selecionar a variável que pretendemos ter como *output*, o mesmo não acontece com a variável de raiz, esta é selecionada automaticamente pela *machine learning*. A primeira árvore de decisão obtida, representada na Figura 35, agrega as variáveis quantitativas, N_{tc} e E_{ren} , e os nós finais foram incutidos para que apresentassem a classificação dos *clusters* a que pertencem os cenários.

Nesta árvore de decisão é possível percorrer os diferentes níveis até se culminar no *cluster* a que pertence o cenário analisado. A cada cor está associada um *cluster* e a espessura da linha de classificação representa o número de cenários que seguem aquele caminho. Linhas mais grossas enfatizam mais combinações naquele caminho e linhas mais finas menos cenários são atribuídos aquele percurso. Com esta informação, é possível concluir rapidamente quais são os ramos mais relevantes ou os que são utilizados com mais frequência.

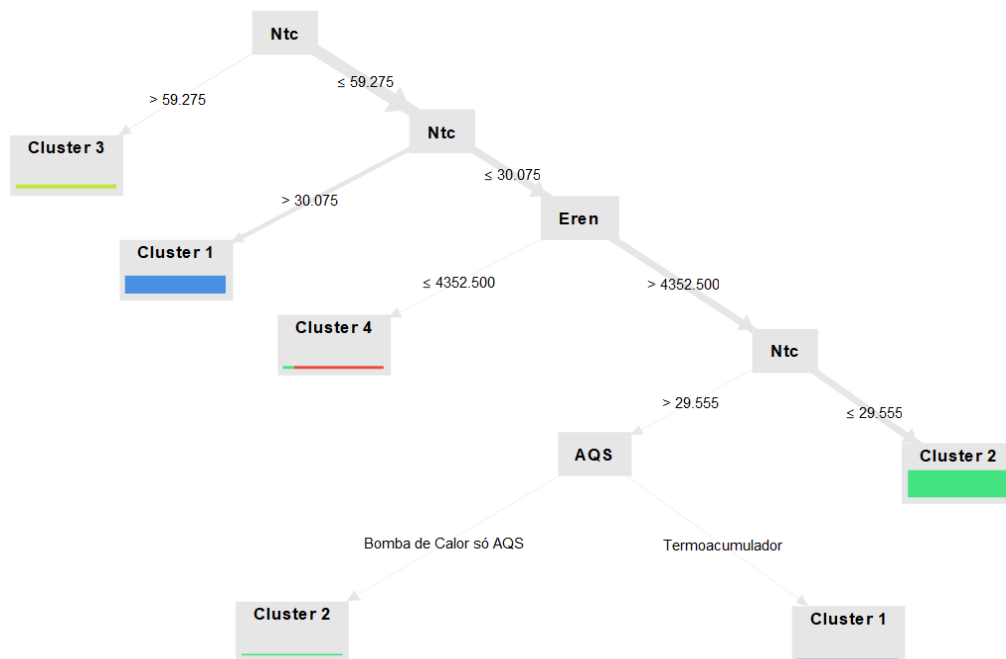


Figura 35 - Árvore de Decisão relação entre N_{tc} , E_{ren} e *Cluster*

Para a análise e interpretação das árvores posteriormente construídas foi necessário complementar a informação da Tabela 27 com informações relativas às variáveis qualitativas. Assim, a Tabela 28 resume os equipamentos utilizados em cada um dos cenários apresentados na Tabela 27.

Tabela 28 - Variáveis qualitativas dos cenários de exemplo

Cenário	AQS	Aquecimento	Arrefecimento	Renováveis	Ventilação
5	Esquentador	Bomba de Calor só Climatização	Bomba de Calor só Climatização	Fotovoltaico s/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,50
31	Esquentador	Multisplit	Multisplit	Fotovoltaico c/bateria	Ventilação Natural Rph=0,50
32	Esquentador	Multisplit	Multisplit	Fotovoltaico c/bateria	Ventilação Natural Rph=0,70
52	Esquentador	Caldeira a <i>pellets</i>	Multisplit	Fotovoltaico s/bateria	VMC Fluxo Simples Rph=0,70
79	Caldeira Mural	Caldeira Mural	Multisplit	Fotovoltaico c/bateria	Ventilação Natural Rph=0,50
83	Caldeira Mural	Caldeira Mural	Multisplit	Fotovoltaico c/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,50
86	Caldeira Mural	Caldeira Mural	Multisplit	Térmico Tradicional	Ventilação Natural Rph=0,70
96	Caldeira Mural	Caldeira Mural	Multisplit	Térmico Termossifão	VMC Duplo Fluxo Rph=0,70

Adicionando a informação relativa aos equipamentos, foram criadas mais duas árvores de decisão. A Figura 36 e a Figura 44 representam uma outra perspetiva da análise de previsão. A primeira árvore de

decisão, Figura 36, tem como nó de entrada o *cluster* a que pertence o cenário e como nós internos os equipamentos, variáveis qualitativas (equipamentos), e as necessidades nominais anuais de energia primária, N_{tc} .

A conjugação de várias variáveis, por vezes, pode originar árvores de decisão bastante extensas. A seleção das variáveis a inserir na criação destes diagramas é bastante importante, na medida de sumarizar a figura de *output*. A formação prévia dos *clusters*, entrando como uma variável na elaboração das árvores de decisão, privilegiou a compactação da quantidade de ramos que os esquemas poderiam vir a ter. Mais uma vez, demonstrou-se a aplicabilidade destes métodos de análise, e como a sua junção representa uma mais-valia na representação de uma elevada quantidade de dados.

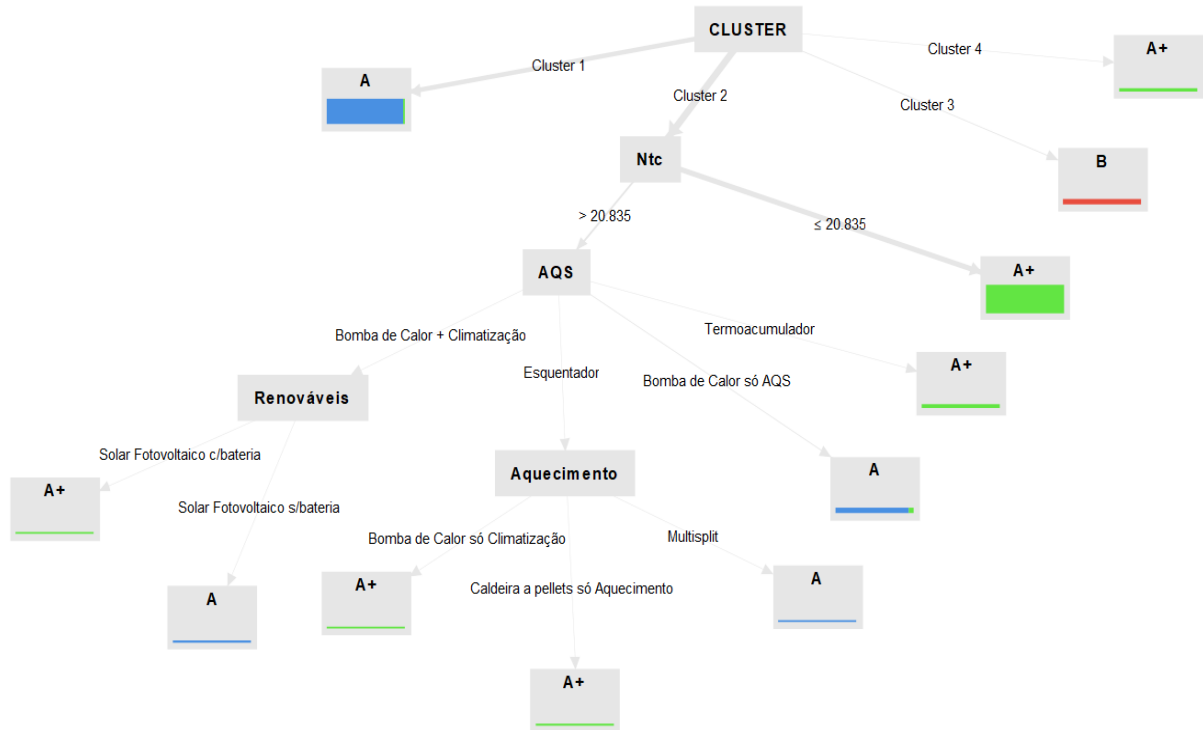


Figura 36 - Árvore de Decisão relação entre *Cluster*, N_{tc} , Equipamentos e Classe

Com a apresentação da árvore de decisão da Figura 36 torna-se importante introduzir a análise de associações, por forma a discutir o impacto das combinações de equipamentos. Uma vez que foram identificados e caracterizados os *clusters*, no final do subcapítulo anterior, a análise de associações recairá, essencialmente, pela associação de duas variáveis, as necessidades nominais anuais de energia primária, N_{tc} , e o rácio energético de edifícios de habitação, R_{Nt} .

A Figura 37 relaciona as variáveis N_{tc} e R_{Nt} em função dos *clusters* previamente expostos no subcapítulo anterior. A representação gráfica da localização dos diferentes cenários e o *cluster* a que pertencem, será essencial futuramente quando se pretender relacionar os diferentes equipamentos dos diferentes usos. Comentando a figura abaixo, identificam-se diretamente três *clusters*, o *cluster 2* e 4 com os cenários mais eficientes, em termos de rácio energético e o *cluster 3* com os cenários de pior desempenho. A árvore de decisão da Figura 35 exprime igualmente a definição dos *clusters*, porém, com a variável E_{ren} integrada ao estudo. A informação da classe energética de cada *cluster* é mais evidente nas árvores de decisão da Figura 36 e da Figura 44.

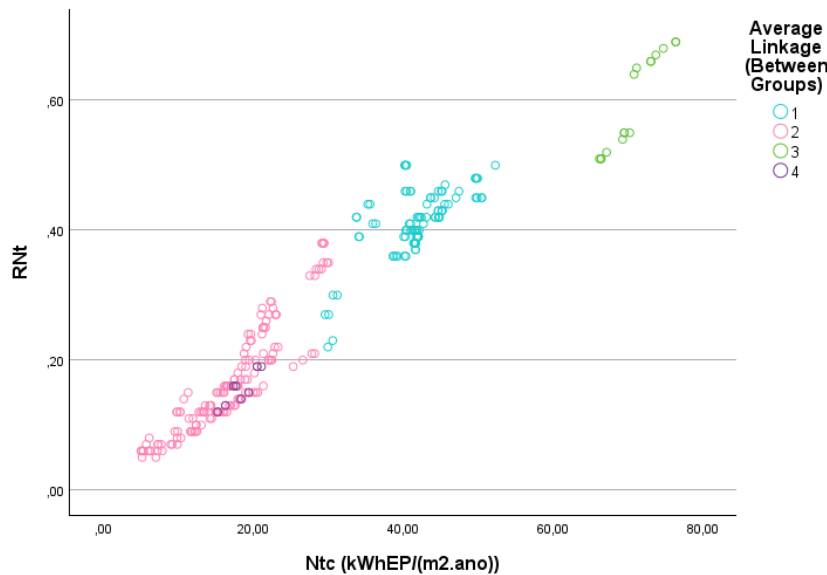


Figura 37 - Associação Ntc versus Rnt em função dos *Clusters*

Na Figura 38, estão representados os três tipos de ventilação: ventilação natural, ventilação mecânica centralizada de fluxo simples e ventilação mecânica centralizada de duplo fluxo. Adicionalmente, também se associou os dois valores de renovação horária de ar, respetivamente $0,50 \text{ h}^{-1}$ e $0,70 \text{ h}^{-1}$. O que se pode concluir, através da análise da Figura 38, é que os cenários que possuem ventilação mecânica de duplo fluxo, independentemente da taxa de renovação de ar adotada, são cenários que possuem um rácio energético inferior, bem como consumos de energia primária menores. A concentração destes cenários na proximidade da confluência dos eixos das variáveis, ou seja, menor valor de N_{tc} e menor rácio energético, permitem concluir que a adoção desta estratégia de ventilação é bastante consistente para a obtenção de uma classe energética favorável. Os cenários que utilizam ventilação natural e ventilação mecânica de fluxo simples apresentam uma maior dispersão, não demonstrando ter uma relação direta com a obtenção de uma classe energética melhor.

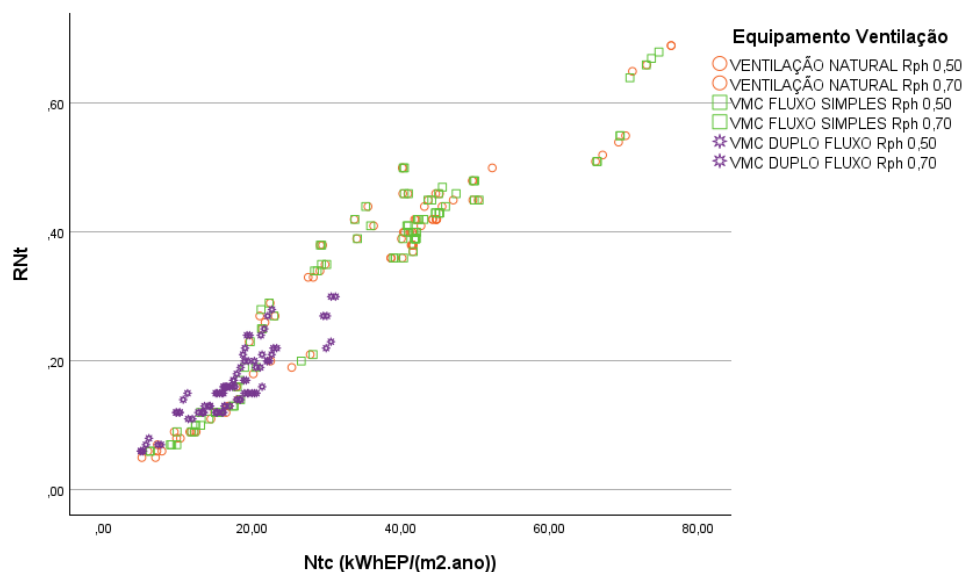


Figura 38 - Associação Ntc versus Rnt em função do Equipamento de Ventilação

Para retirar uma conclusão mais fundamentada, acerca das taxas de renovação horária de ar, podemos estudar se é justificável forçar que a renovação de ar seja superior à mínima admitida pela metodologia.

Adicionou-se, ainda a identificação dos *clusters*, a que pertencem os cenários, por meio de um esquema de cores correspondentes aos da Figura 37. A Figura 39 demonstra que, geralmente um aumento da R_{ph} está associada a um maior consumo de energia e a um ligeiro aumento do rácio energético. O mesmo se concluiu para os restantes mecanismos de ventilação, contudo, optou-se por representar um só mecanismo para que fosse mais clara a interpretação gráfica.

Adicionando a variável financeira, os mecanismos que utilizam equipamentos mecânicos para ventilação têm um custo de investimento constante na vertente da ventilação, portanto independente da taxa de renovação horária de ar admitida, visto que se trata de equipamentos de regulação de caudal admitido. O custo de exploração é que posteriormente se altera porque, a uma maior taxa de renovação de ar está associado um maior consumo de energia, logo maior custo durante a vida útil do edifício. Relativamente à ventilação natural, por forma a assegurar uma taxa de renovações superior à mínima é necessário cobrir um investimento inicial acrescido devido à maior implementação de grelhas de admissão. Como a diferença entre os rácios energéticos, utilizando renovações de ar de $0,50 \text{ h}^{-1}$ e de $0,70 \text{ h}^{-1}$, é bastante reduzida, chegando geralmente a não influenciar a classe energética.

Outro aspeto que devemos ter em consideração quando adotamos uma taxa de renovação de ar mais elevada é que as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento diminuem, porém, as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento aumentam, o que se revela natural em termos de balanço das necessidades.

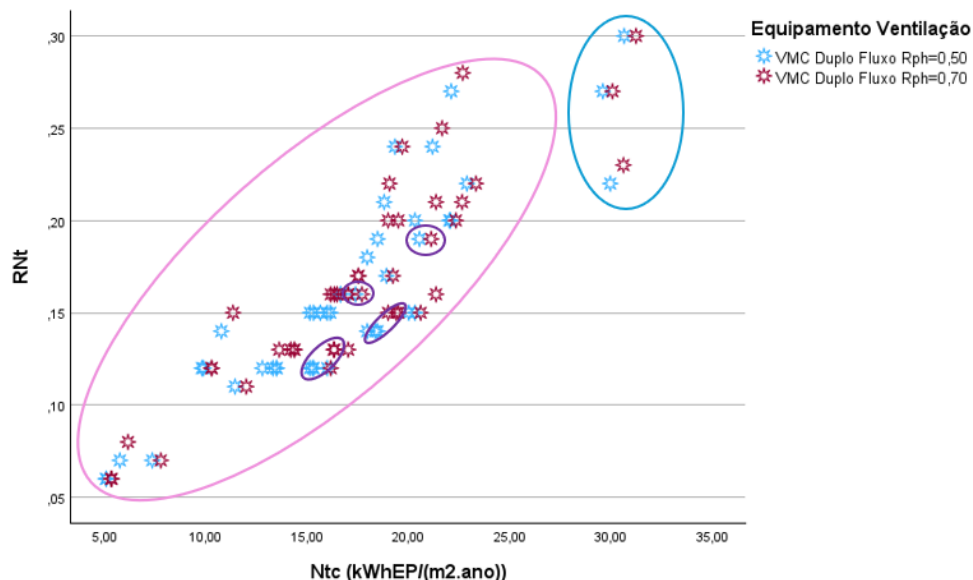


Figura 39 – Associação Ntc versus Rnt em função de $R_{ph}=0,50 \text{ h}^{-1}$ e $R_{ph}=0,70 \text{ h}^{-1}$ na VMC duplo fluxo

Encerrado o comentário referente aos mecanismos de ventilação, inicia-se o comentário relativamente aos equipamentos utilizados para preparação de águas quentes sanitárias com auxílio da Figura 40. Os cenários quando referenciados pelo equipamento de preparação de AQS não nos indicam claramente uma diferenciação. Apenas se destacam os cenários que utilizam a caldeira mural a gás para preparação de AQS e aquecimento. Estes cenários, que se destacam dos demais, constituem o grupo formado pelo *cluster 3* e que foram identificados como *outliers* na análise estatística da variável E_{ren} , apresentando pior desempenho energético. Os cenários que utilizam a caldeira a gás para suprir as necessidades de AQS e aquecimento ambiente, combinados com ventilação mecânica de duplo fluxo integram o *cluster 4*, apresentando melhor desempenho energético porque conseguem suprir as necessidades de aquecimento com o sistema de recuperador de calor da VMC de duplo fluxo, não utilizando a caldeira para a função. A identificação dos *clusters* é realizada com o suporte da Figura 37.

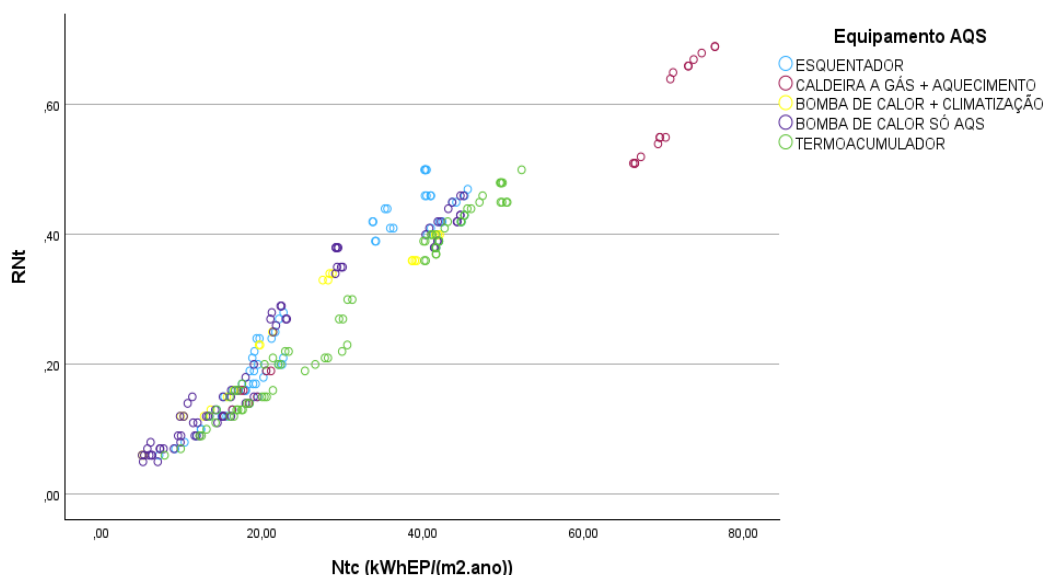


Figura 40 - Associação Ntc versus Rnt em função do Equipamento de AQS

No subcapítulo anterior, quando realizada a caracterização dos *clusters*, ficou referenciado que o *cluster 2* era o que possuía maior número de cenários ($N=146$). É natural, e de acordo com a Figura 36, que seja necessária a utilização de mais variáveis qualitativas para conseguir esmiuçar esse mesmo grupo. Na Figura 36 os *clusters 1, 3 e 4* possuem as classes energéticas bem definidas, não necessitando das diversas variáveis dos equipamentos para a sua representação. O *cluster 2* para a análise de previsão utilizou, no terceiro nível, as variáveis dos equipamentos de AQS para fazer a distinção da classe energética. No nível seguinte, que permitiu obter os nós finais, foram utilizados os equipamentos de aquecimento e equipamentos renováveis.

Ao relacionarmos o rácio energético e a energia nominal anual de energia primária em função do equipamento de aquecimento (Figura 41), podemos concluir que, a mancha massiva dos cenários que utilizam a caldeira a *pellets* concentra-se na localização que se considera ótima para a obtenção de uma classe energética favorável. Assim, este equipamento é capaz de suprir as necessidades de aquecimento da habitação e ao mesmo tempo aumentar consideravelmente a componente da energia produzida através de fontes de energia renováveis. Mais ainda se pode concluir que, todos os cenários que utilizam este tipo de equipamento têm a classe energética máxima admitida pela metodologia de certificação. Esta informação é igualmente visível na Figura 36, através do *cluster 2*. Recorda-se que a metodologia de cálculo e certificação considera a biomassa uma fonte de energia renovável e, por isso, a sua junção ao conjunto de sistemas se torna tão vantajosa.

É de indicar que a reposição dos elementos naturais não ocorre no tempo útil necessário para suprir as necessidades dos habitantes e a emissão de gases de CO_2 provenientes da sua queima, esta questão levanta discussão entre os vários entendidos sobre a classificação de fonte de energia renovável (McKendry, 2002).

Outros grupos que são consideravelmente evidentes são os cenários que usam a bomba de calor só para climatização e o *Multisplit*. A localização central ocupada por estes equipamentos, cenários pertencentes ao *cluster 1* (Figura 37), revela que a adoção destes equipamentos, na maioria das simulações a que pertencem, não é muito vantajosa, em termos de rácio energético, apesar de contribuírem para o aumento do E_{ren} . Consegue-se obter uma melhor classificação das combinações destes equipamentos quando se possui ventilação mecânica centralizada de duplo fluxo e equipamento de preparação de AQS com a mesma fonte de energia, a eletricidade.

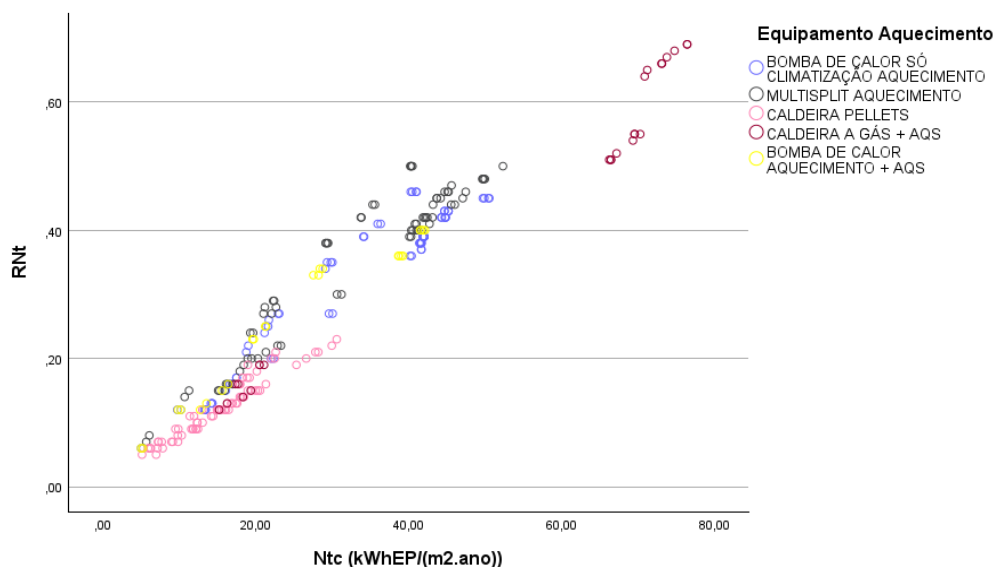


Figura 41 – Associação N_{tc} versus R_{nt} em função do Equipamento de Aquecimento

A Figura 42 apresenta a distribuição dos cenários de acordo com o equipamento renovável usado. Para todos os equipamentos a distribuição dos diferentes cenários é dispersa, não permitindo retirar conclusões específicas acerca da influência de cada um. As informações que se pode retirar desta representação gráfica é que, em termos de equipamentos solares térmicos, as simulações que integram o sistema solar térmico tradicional apresentam um desempenho melhor do que quando integrado o sistema solar térmico de termossifão, em termos de N_{tc} .

Relativamente aos sistemas solares fotovoltaicos, como seria de esperar, este tipo de equipamentos, com fonte de energia renovável, são mais vantajosos quando combinados com equipamentos que tenham como fonte de energia a eletricidade. Quando associados equipamentos a eletricidade, para suprir as necessidades de preparação de AQS, arrefecimento e aquecimento ambiente, obtemos um melhor rácio energético quando combinados com fotovoltaicos com bateria. Adicionalmente, quando se combina, para preparação de AQS, os dois tipos de bombas de calor, estes cenários apresentam melhor rácio energético e menores valores de N_{tc} , do que os que possuem termoacumulador, a eletricidade, para preparação de AQS. Os cenários que usam baterias de armazenamento de energia demonstram ter melhor desempenho relativamente aos que não usam baterias, porque apresentam menores valores de N_{tc} .

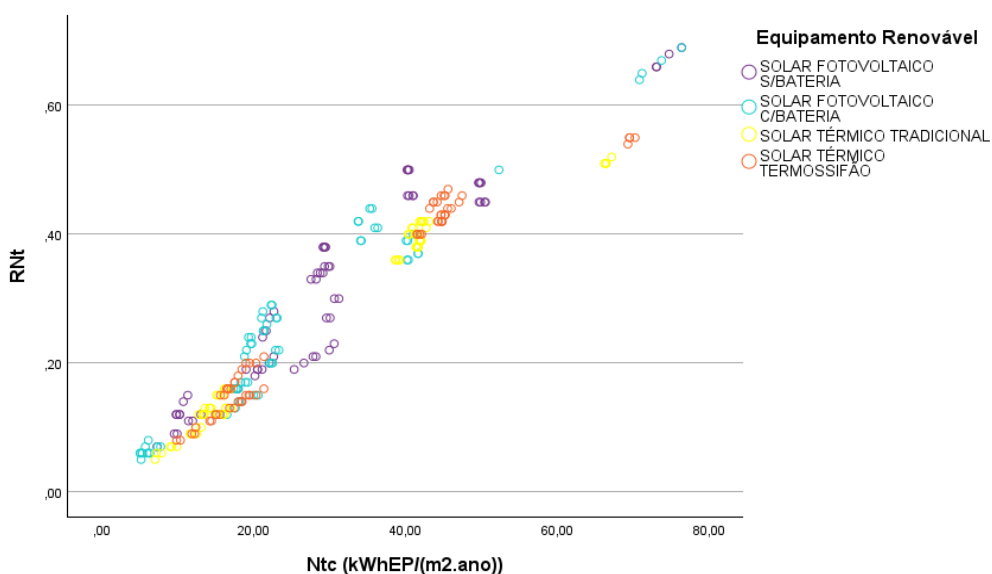


Figura 42 - Associação N_{tc} versus R_{nt} em função do Equipamento Renovável

Um exemplo claro de que os cenários que possuem sistemas solares térmicos fotovoltaicos com bateria são mais eficientes energeticamente do que os que não possuem bateria, é através da Figura 36 na ramificação do *cluster 2*. São exemplo os cenários que utilizam bomba de calor para preparação de AQS e climatização que integram painel fotovoltaico sem bateria possuem classe energética A, e os que integram bateria no sistema obtêm classe energética A+.

Uma análise interessante de ser efetuada é visualizar a variação de energia renovável produzida em função do equipamento utilizado. Para analisar esta associação foram selecionados os equipamentos de aquecimento, pois apresentam uma maior variedade e são responsáveis por uma grande parcela das necessidades nominais anuais de energia primária. Sendo assim, na Figura 43, é possível ver dois grupos de cenários bem identificados, que correspondem ao *cluster 3* e *cluster 4*, que como já tinha sido visto são os cenários que integram a caldeira mural a gás. A Figura 33 auxilia a identificação dos *clusters*, o *cluster 3* está circundado a verde e o *cluster 4* a roxo.

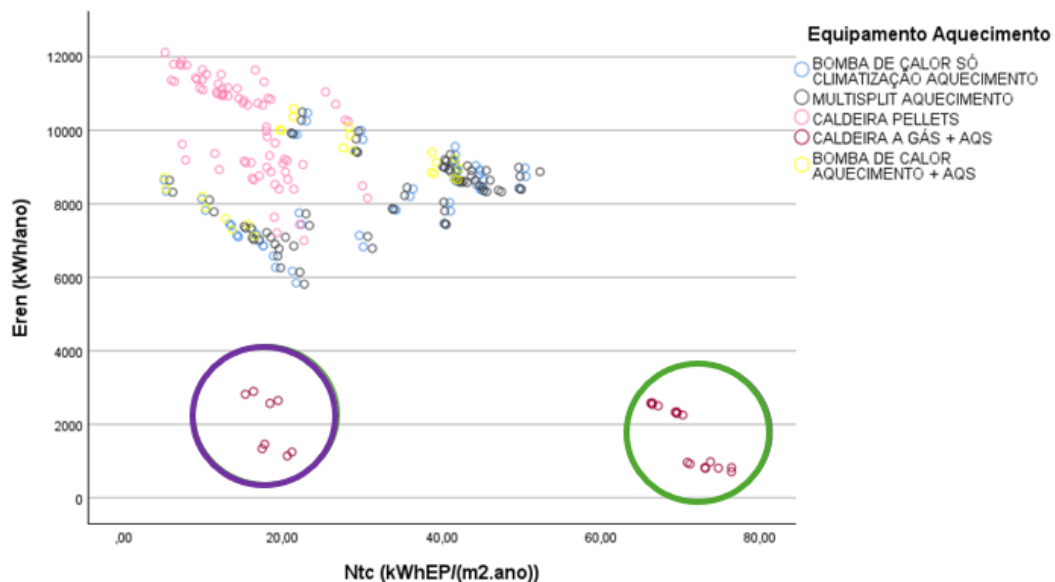
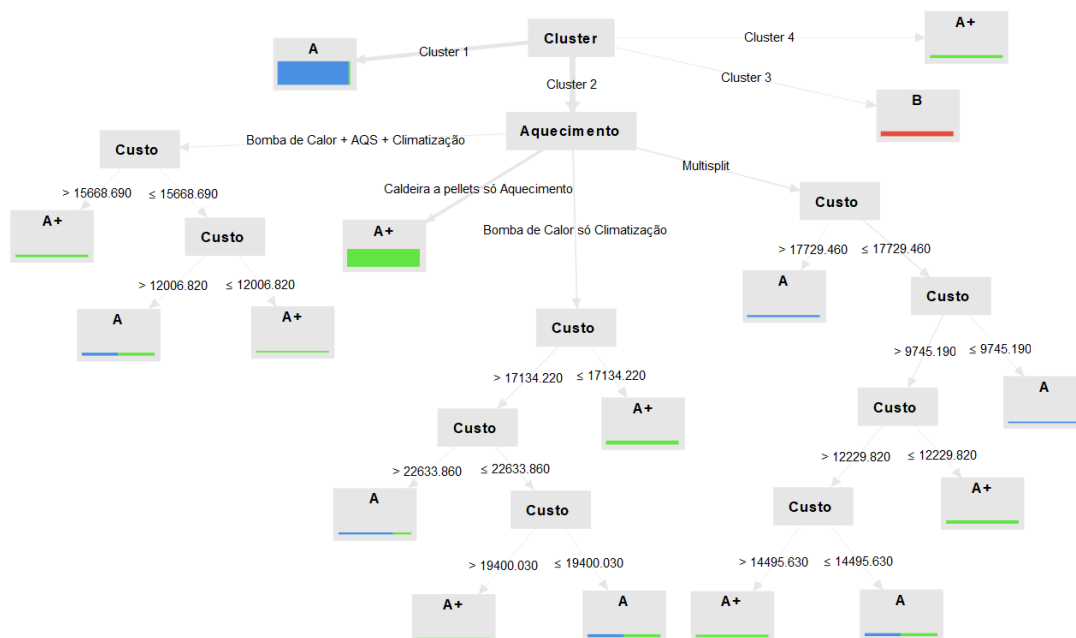


Figura 43 - Associação Ntc versus Eren em função do Equipamento de Aquecimento

Outra conclusão, que já era expectável, era a concentração dos cenários que utilizam equipamentos com fonte de energia renovável, considerada pela metodologia, na parte superior do gráfico onde os valores de E_{ren} são maiores. Sendo as bombas de calor e o *Multisplit* bombas aerotérmicas a legislação considera que o ar é uma fonte de energia renovável e, por estas razões tem contribuição no parâmetro E_{ren} . Mais uma vez a mancha correspondente aos cenários que usam a caldeira a *pellets* destaca-se, igualmente por se julgar a biomassa uma fonte de energia renovável, contribuindo de uma forma elevada para o aumento do parâmetro.

Uma vez analisadas as associações dos equipamentos dos diversos sistemas às variáveis preponderantes, a Figura 44 apresenta a análise de previsão tendo em conta a variável quantitativa custo. Para a construção desta árvore optou-se pela classe energética como classificação final, os nós intermédios resultaram de atributos dos equipamentos e do custo total dos equipamentos. Para o nó inicial, o processo de *Data Mining* arbitrou que o *cluster* fosse o ditador da iniciação dos percursos.

Figura 44 - Árvore de Decisão relação entre *Cluster*, Equipamento, Custo e Classe Energética

Por forma a sintetizar a informação das principais variáveis dos *clusters*, apresenta-se uma análise acerca da componente financeira do investimento necessário a realizar para os cenários simulados. Acredita-se que este fator seja decisivo na altura de optar pela integração dos sistemas e, para isso, é feita uma análise nessa vertente. A Tabela 29 representa a síntese, por *clusters*, do custo, N_{tc} e E_{ren} .

Tabela 29 – Síntese Custo por *Clusters*

Tabela Síntese <i>Clusters</i>					
<i>Cluster</i>		Custo (€)	Ntc (kWhEP/(m ² .ano))	Eren (kWh/ano)	Classe Energética
1	Média	15 289,03€	41,78	8537	A
	N	94	94	94	
	Erro Padrão	3222,55	4,81	559,39	
2	Média	15 943,09€	16,95	9105	A+
	N	146	146	146	
	Erro Padrão	3217,21	6,32	1679,06	
3	Média	14 888,07€	70,89	1643	B
	N	16	16	16	
	Erro Padrão	2276,88	3,42	819,08	
4	Média	13 500,55€	18,27	2015	A+
	N	8	8	8	
	Erro Padrão	2 241,44	2,02	778,50	
Total	Média	15 572,25€	29,10	8235	

Ao analisar a Tabela 29, os cenários do *cluster 2* são os que apresentam, em média, menor valor de N_{tc} e maior produção de energia a partir de fontes de origem renovável destinadas a autoconsumo dos usos regulados. A este *cluster*, com melhores resultados relativamente aos parâmetros apresentados, menor valor de N_{tc} e maior valor de E_{ren} , estão associados custos de investimento mais elevados. No *cluster 2* a obtenção da classe energética mais favorável requer um custo inicial bastante elevado, em média 15 943,09€. Pode-se obter a mesma classe energética com menores valores de E_{ren} e valores semelhantes de N_{tc} , a partir dos cenários do *cluster 4*.

Como já tinha sido mencionado o *cluster 4* é o grupo de cenários que combinam a caldeira mural a gás, para aquecimento ambiente e preparação de AQS, com o mecanismo de ventilação de duplo fluxo. Como a parcela de N_{tc} , referente ao aquecimento e preparação de AQS é maior e está associado um equipamento sem fonte de energia renovável o valor de E_{ren} acaba por ser menor comparativamente aos restantes *clusters*. O custo médio deste grupo é relativamente menor porque, o custo associado à caldeira mural a gás é menor que o custo dos restantes equipamentos usados nos cenários dos *clusters 1* e *2*, que integram bombas de calor com um custo de investimento mais elevado.

O fator económico tem um papel relevante na decisão do cenário a adotar, pois um mesmo rácio energético pode ter associado uma combinação de equipamentos e um custo diferente. Assim pode-se decidir consoante o investimento que se pretende efetuar ou consoante a fonte de energia que se pretende ter nos equipamentos.

Referir que toda a análise numérica efetuada diz respeito à aplicação dos cenários ao edifício de estudo, nomeadamente as conclusões retiradas acerca dos equipamentos, podendo variar os resultados com a alteração da localização, componente passiva e na adoção de diferentes equipamentos.

4.4. IMPACTO EM DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS

O objetivo deste subcapítulo é analisar de que forma a localização afeta o desempenho energético do edifício em estudo. Após a análise dos resultados associados à cidade de implementação do edifício, Vila do Conde, 8 dos 264 cenários foram aplicados a duas outras cidades portuguesas. As cidades escolhidas tiveram como objetivo representar extremos opostos no que toca ao clima praticado no local de origem. Para isto, procurou-se selecionar zonas climáticas divergentes às zonas climáticas de Vila do Conde. As cidades escolhidas foram Bragança e Faro.

A seleção dos cenários a simular para as duas cidades partiu da aplicação de dois critérios. Seriam os cenários mais eficientes, em termos de rácio energético, e que apresentassem menor custo de investimento. Foi tida a atenção, dentro dos requisitos, serem escolhidos dois casos de cada *cluster*.

A Tabela 30 representa a combinação de equipamentos dos 8 cenários que foram simulados para as duas cidades portuguesas. A informação que consta na tabela referencia o número do cenário entre as 264 simulações originais, o *cluster* a que pertence o cenário na análise anterior, o custo associado a cada combinação de equipamentos e, os sistemas utilizados para suprir as necessidades de cada uso.

Tabela 30 - Cenários simulação em Bragança e em Faro

Cenário	AQS	Aquecimento	Arrefecimento	Renováveis	Ventilação
41 <i>Cluster 2</i> 10 180,68 €	Esquentador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	VMC Duplo Fluxo Rph=0,50 h ⁻¹
42 <i>Cluster 2</i> 10 180,68 €	Esquentador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	VMC Duplo Fluxo Rph=0,70 h ⁻¹
77 <i>Cluster 4</i> 11 471,82 €	Caldeira Mural + Aquecimento	Caldeira Mural + AQS	Multisplit	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,50 h ⁻¹
78 <i>Cluster 4</i> 11 471,82 €	Caldeira Mural + Aquecimento	Caldeira Mural + AQS	Multisplit	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,70 h ⁻¹
245 <i>Cluster 1</i> 12 168,38 €	Termoacumulador	Caldeira a <i>pellets</i> só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,50 h ⁻¹
246 <i>Cluster 1</i> 12 168,38 €	Termoacumulador	Caldeira a <i>pellets</i> só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,70 h ⁻¹
85 <i>Cluster 3</i> 12 598,80 €	Caldeira Mural + Aquecimento	Caldeira Mural + AQS	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	Ventilação Natural Rph=0,50 h ⁻¹
91 <i>Cluster 3</i> 13 472,10 €	Caldeira Mural + Aquecimento	Caldeira Mural + AQS	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	Ventilação Natural Rph=0,50 h ⁻¹

A componente passiva do edifício não foi alterada, pelo que é possível que alguns critérios de coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente não cumpram valores regulamentados. Por forma a determinar a classe energética dos novos cenários, é necessário alterar a identificação geográfica e a localização geográfica do edifício na ferramenta de cálculo da Itecons. Assumindo as alterações mencionadas, a folha de cálculo reconhece a que zona climática a localização geográfica pertence. Ficam pontualmente assinaladas as zonas climáticas das cidades simuladas:

- Vila do Conde – I1, V2;
- Bragança – I3, V2;
- Faro – I1, V3;

A Tabela 31 resume os parâmetros energéticos, relevantes para a comparação, resultantes dos 8 cenários selecionados para a cidade de Vila do Conde.

Tabela 31 - Resumo dos parâmetros energéticos em Vila do Conde

Cenário	N_{ic} kWh/(m ² .ano)	N_{vc} kWh/(m ² .ano)	N_t Kwh _{EP} /(m ² .ano)	N_{tc} Kwh _{EP} /(m ² .ano)	E_{ren} kWh/ano	R_{Nt}	Classe Energ.
41 – Cluster 2 10 180,68€	38,32	8,35	100,61	15,32	7333	0,15	A+
42 – Cluster 2 10 180,68€	35,01	9,06	100,61	16,35	7019	0,16	A+
77 – Cluster 4 11 471,82€	38,32	8,35	110,03	20,55	1144	0,19	A+
78 – Cluster 4 11 471,82€	35,01	9,06	110,03	21,13	1248	0,19	A+
245 – Cluster 1 12 168,38€	38,32	8,35	133,28	29,98	8480	0,22	A+
246 – Cluster 1 12 168,38€	35,01	9,06	133,28	30,63	8147	0,23	A+
85 – Cluster 3 12 598,80 €	51,17	6,13	130,02	66,22	2580	0,51	B
91 – Cluster 3 13 472,10 €	51,17	6,13	127,47	69,31	2332	0,54	B

4.4.1. BRAGANÇA ZONAS CLIMÁTICAS I3 E V2

A cidade de Bragança situa-se no nordeste do país, pertence à zona de Trás-os-Montes, e caracteriza-se pela elevada altitude e amplitude térmica. O que se espera das necessidades nominais anuais de energia de Bragança, aquando comparadas com as de Vila do Conde, é que as necessidades nominais anuais de energia para aquecimento aumentem, devido à severidade da zona climática no inverno, e uma semelhança de valores relativamente às necessidades nominais anuais de energia para arrefecimento. Por conseguinte, o aumento de N_{ic} reflete-se num aumento de N_{tc} na maioria dos casos.

Na Tabela 32 são sintetizados os resultados obtidos para cada um dos cenários referidos acima com a respetiva localização geográfica, Bragança, confirmando-se os aumentos previstos anteriormente.

Tabela 32 – Resumo dos parâmetros energéticos em Bragança

Cenário	N_{ic} kWh/(m ² .ano)	N_{vc} kWh/(m ² .ano)	N_t Kwh _{EP} /(m ² .ano)	N_{tc} Kwh _{EP} /(m ² .ano)	E_{ren} kWh/ano	R_{Nt}	Classe Energ.
41 – Cluster 2 10 180,68€	87,87	7,25	125,47	65,21	13124	0,52	B
42 – Cluster 2 10 180,68€	81,88	7,91	125,47	62,66	12489	0,50	A
77 – Cluster 4 11 471,82€	87,87	7,25	149,10	113,59	1002	0,76	B-
78 – Cluster 4 11 471,82€	81,88	7,91	149,10	107,79	1100	0,72	B
245 – Cluster 1 12 168,38€	87,87	7,25	172,34	29,77	16455	0,17	A+
246 – Cluster 1 12 168,38€	81,88	7,91	172,34	30,40	15566	0,18	A+
85 – Cluster 3 12 598,80 €	108,59	5,36	168,62	121,48	2570	0,72	B
91 – Cluster 3 13 472,10 €	108,59	5,36	166,07	124,69	2316	0,75	B

Duma análise preliminar, podemos constatar que os cenários, em geral, pioram significativamente com a alteração da localização. Excetuando-se os cenários 245 e 246 que apresentam uma melhoria.

A título de comentário individual os primeiros dois cenários pioram a classe energética, isto deve-se ao facto de as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento aumentarem e consequentemente as necessidades nominais anuais de energia primária e rácio energético tomam valores mais desfavoráveis. O valor de E_{ren} aumenta, comparativamente com os mesmos cenários aplicados a Vila do Conde, porque sendo o equipamento de aquecimento o *Multisplit*, considerado uma bomba de calor aerotérmica, existe consequentemente uma maior produção de energia renovável com o aumento das necessidades de aquecimento.

O mesmo acontece nos cenários 77 e 78, porém, o valor da energia produzida através de fontes de energia renovável é ligeiramente inferior. Como o equipamento de aquecimento é a caldeira mural a gás, com fonte de energia não renovável, não existe um contributo deste para aumentar o valor de E_{ren} . Como as necessidades nominais anuais de energia para arrefecimento diminuem, o contributo dos painéis fotovoltaicos para o único equipamento a eletricidade (*Multisplit* para arrefecimento) é igualmente diminuto.

A melhoria dos dois cenários com a mudança da localização, cenários do *cluster 1*, está relacionada com as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento serem elevadas e, por sua vez, supridas pela caldeira a biomassa majorando significativamente o contributo das energias com fonte renovável. O aumento substantivo da componente renovável para a parcela de N_{tc} faz com que o rácio se torne mais favorável incrementando a classe energética favoravelmente.

O que ocorre nos dois últimos cenários é semelhante aos cenários do *cluster 4*, onde o aumento das necessidades reflete um aumento do valor de N_{tc} e uma diminuição ligeira do E_{ren} por conta da localização escolhida. Mais se pode notar, como a ventilação não é controlada existe um aumento substancial, comparativamente aos restantes cenários, das necessidades de aquecimento e uma diminuição das necessidades de arrefecimento por conta da ventilação natural.

A Figura 45 representa o deslocamento dos cenários face aos *clusters* formados para a cidade de Vila do Conde, o que se pode concluir é que os cenários apresentam um comportamento desfavorável aquando da troca de localização, excetuando os cenários 245 e 246.

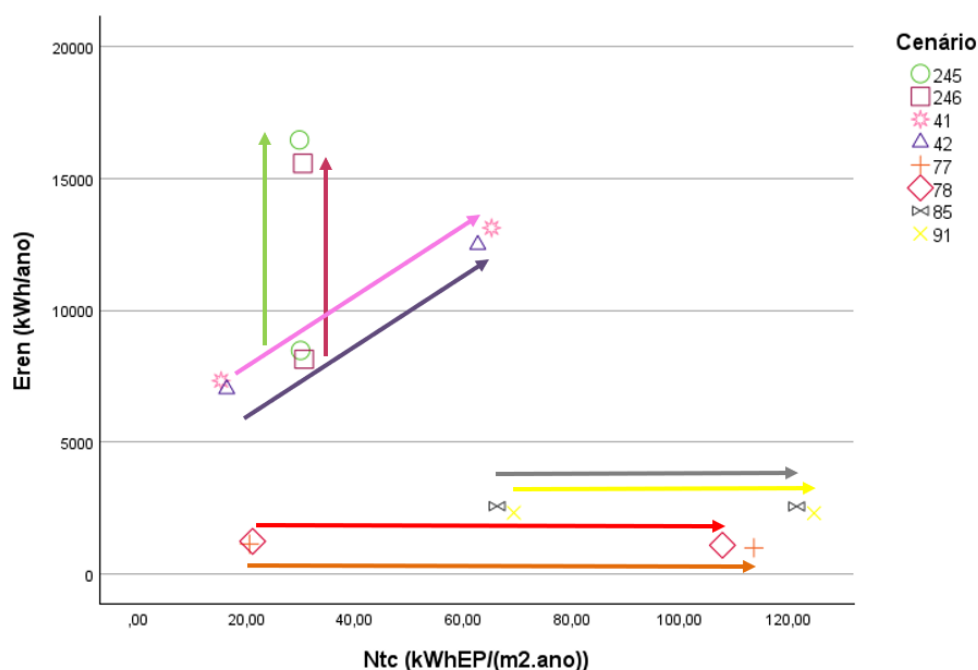


Figura 45 - Deslocamento dos cenários dentro dos *Clusters* em Bragança

4.4.2. FARO ZONAS CLIMÁTICAS I1 E V3

A cidade de Faro pertence à região do Algarve, zona sul de Portugal. A cidade é caracterizada pelas altas temperaturas no decorrer de todo o ano, e por ser uma zona mais árida comparativamente com o resto do país.

A zona sul de Portugal, por se tratar de um local com temperaturas ambiente mais elevadas, apresenta maiores necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento. Este fenómeno é retratado pela zona climática de verão que se insere, zona climática V3, a zona mais severa referente ao verão. Como os extremos de temperaturas, nesta zona, possuem intervalos menores as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento julgam-se menores.

As simulações dos oito cenários foram realizadas e a Tabela 33 apresenta o resumo dos parâmetros energéticos mais relevantes para a análise.

Tabela 33 - Resumo dos parâmetros energéticos em Faro

Cenário	N_{ic} kWh/(m ² .ano)	N_{vc} kWh/(m ² .ano)	N_t kWh _{EP} /(m ² .ano)	N_{tc} kWh _{EP} /(m ² .ano)	E_{ren} kWh/ano	R_{Nt}	Classe Energ.
41 - Cluster 2 10 180,68€	12,68	22,29	82,26	21,64	6087	0,26	A
42 - Cluster 2 10 180,68€	11,22	22,89	82,26	22,60	5980	0,27	A
77 - Cluster 4 11 471,82€	12,68	22,29	75,53	26,47	2928	0,35	A
78 - Cluster 4 11 471,82€	11,22	22,89	75,53	27,00	3021	0,36	A
245 - Cluster 1 12 168,38€	12,68	22,29	98,77	35,65	6073	0,36	A
246 - Cluster 1 12 168,38€	11,22	22,89	98,77	36,24	5921	0,37	A
85 - Cluster 3 12 598,80 €	18,86	20,00	96,91	18,09	4347	0,19	A+
91 - Cluster 3 13 472,10 €	18,86	20,00	94,59	21,71	4097	0,23	A+

Pela análise dos dados apresentados todos os cenários cumpriam os critérios legislativos para a certificação de edifícios novos. Note-se que os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento diminuíram drasticamente e, as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento aumentaram significativamente.

Conservando a mesma estrutura de comentário da cidade anterior, os primeiros dois cenários apresentam um aumento da parcela da componente renovável do parâmetro N_{tc} . Este facto ocorre devido à localização favorável do edifício, em termos de fator solar, para os equipamentos renováveis com fonte de energia solar. Ainda assim, o aumento desta parcela, relativamente ao arrefecimento, possui um peso tão elevado que o ligeiro aumento da parcela de renováveis não consegue colmatar esse aumento, daí o consequente aumento de N_{tc} e ligeiro aumento do rácio energético. A diminuição do valor de E_{ren} é justificável através da Equação 9 porque, como o equipamento utilizado para aquecimento e arrefecimento é uma bomba aerotérmica e as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento diminuem significativamente e, o aumento das de arrefecimento não acompanham a descida, o valor de energia renovável produzida por estes equipamentos é menor comparativamente com os valores de Vila do Conde.

Os cenários do *cluster 4*, apresentam um aumento do parâmetro E_{ren} , comparativamente às simulações de Vila do Conde, porque ao existir um aumento das necessidades nominais anuais de energia útil de arrefecimento existe, igualmente, um aumento da energia renovável produzida através do *Multisplit* de arrefecimento. A parcela de N_{tc} referente às renováveis também tem um aumento, sensivelmente para

o dobro, mas tal não é suficiente para diminuir o valor global de N_{tc} , incrementado pelas elevadas necessidades de arrefecimento, resultando num maior rácio energético e na passagem de uma classe energética de A+ para A.

Os cenários 245 e 246, nesta localização, já não se revelam tão vantajosos porque a caldeira a biomassa, utilizada para aquecimento, não tem grande expressão neste tipo de clima. A partir da Equação 7, como os valores de N_{ic} são menores o contributo gerado por estes equipamentos será menor, diminuindo o valor global de E_{ren} . Mesmo com o aumento, ainda que ligeiro, da parcela de N_{tc} , relativamente à componente renovável, esta não é suficiente para acompanhar o aumento da parcela de arrefecimento. Com isto, existe um aumento da parcela global de N_{tc} e o consequente aumento do rácio energético e decadência da classe energética.

Os dois últimos cenários revelam-se os mais favoráveis, resultando na melhoria da classe energética, quando alterada a localização. Note-se que existe uma redução ligeira das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento e contrariamente um aumento das necessidades de aquecimento. Este fenómeno está interligado com o mecanismo de ventilação adotado, neste caso a ventilação não controlada, ou seja, ventilação natural. Como o único equipamento produtor de energia com fonte renovável, para além do equipamento renovável, é o *Multisplit* para arrefecimento e as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento aumentaram a tendência natural é de igualmente o valor global de E_{ren} aumentar.

A Figura 46 representa a deslocação dos cenários simulados para a cidade de Faro comparativamente à localização de origem em Vila do Conde.

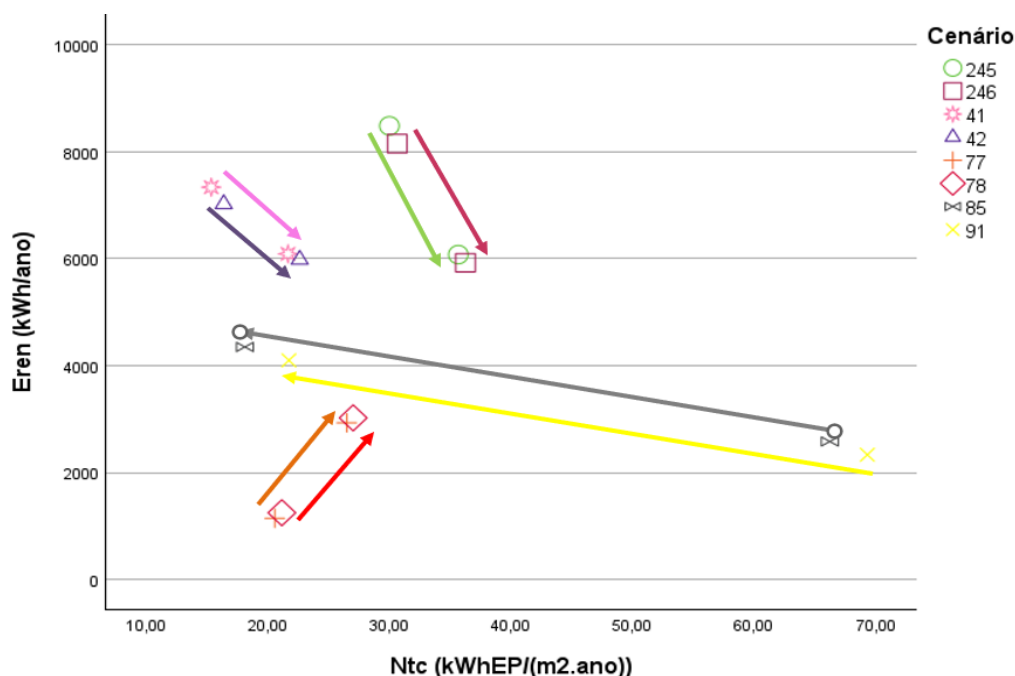


Figura 46 - Deslocamento dos cenários dentro dos *Clusters* em Faro

Os cenários que privilegiam a ventilação natural, cenários 85 e 91, são os que apresentam melhor desempenho energético, porém, são os cenários com maior custo associado, respetivamente 12 598,80€ e 13 472,10€. Considera-se que os cenários 41 e 42 apresentam o melhor binómio entre custo-benefício, por possuírem um investimento menor, 10 180,68€, e pelo seu rácio energético aproximar-se bastante dos dois cenários mais eficientes, cenários 85 e 91.

4.4.3. SÍNTESE DOS RESULTADOS

Este subcapítulo tem como objetivo resumir e sintetizar os resultados anteriormente apresentados e analisados. Para tal, é analisado o binómio entre as necessidades nominais anuais de energia primária e o custo de investimento associado a cada um dos cenários construídos, pelo que se pretende que seja o mais minimizado possível (Figura 47).

Com a aplicação dos cenários à cidade de Bragança, o cenário 245 aparenta ser a melhor solução, comparativamente às demais, uma vez que conseguimos obter a classe energética mais favorável com o custo acrescido de cerca de 2000€ em relação ao cenário 42, que cumpre igualmente os requisitos para edifícios novos. O parâmetro de E_{ren} também é um indicador positivo no cenário mais eficiente, uma vez que se destaca dos restantes com uma margem significativa. A melhoria percentual do rácio, se optarmos pela implementação do cenário 245 invés do 42, é na ordem dos 66%.

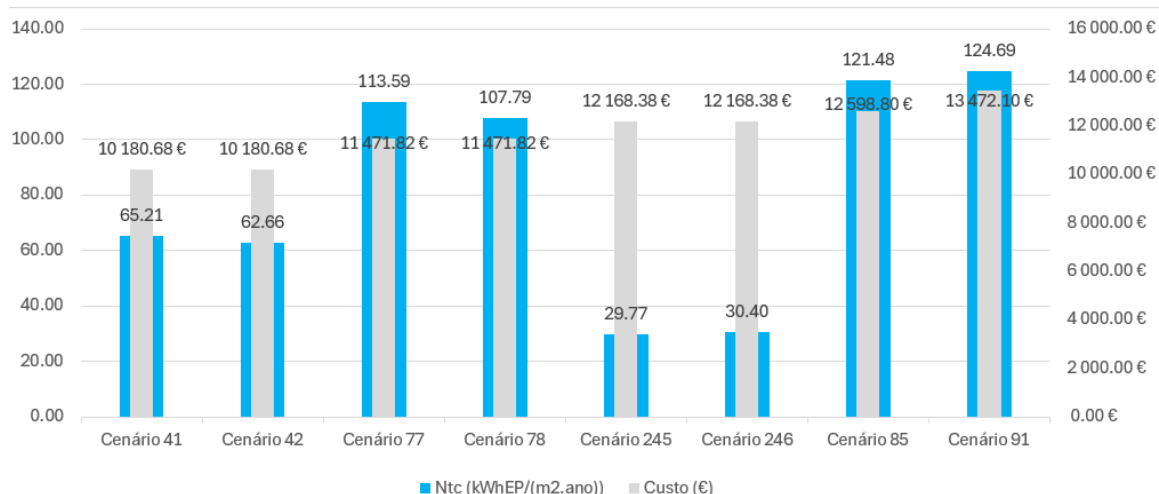


Figura 47 - Relação Ntc e Custo em Bragança

Na cidade de Faro, as necessidades nominais anuais de energia primária são drasticamente menores como é visível na Figura 48. Os cenários que se consideram mais vantajosos são os cenários 41 e 42, que mesmo possuindo classe energética A, têm o rácio energético bastante próximo dos cenários com melhor desempenho energético (cenários 85 e 91), a um custo de investimento menor. Mais uma vez referir que, a componente financeira pode ser um fator de decisão, assim como o tipo de fonte de energia pretendido de utilizar. O que se conclui é que cenários com combinações diferentes podem levar a resultados semelhantes de balanço energético.

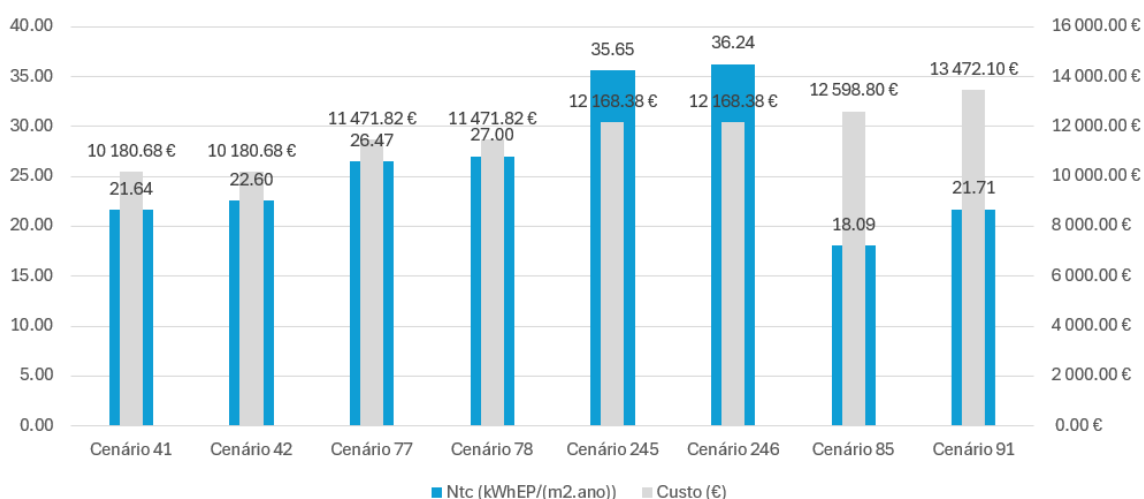


Figura 48 - Relação Ntc e Custo em Faro

5

CONCLUSÕES

O Decreto-Lei nº 101-D/2020 de 7 de dezembro de 2020, publicado com o objetivo de transpor para Portugal a Diretiva Europeia 2018/844 EPBD, veio introduzir alterações no Sistema de Certificação Energética Português e, claramente no desempenho energético dos edifícios. A imposição de cumprimento dos requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios, dos requisitos relativos aos sistemas técnicos e dos requisitos mínimos de conforto térmico e de desempenho energético do edifício, assumiram grande relevância na melhoria do parque habitacional português de edificação nova e existente. A influência que a Comissão Europeia deposita nos estados-membros é iminente e reflete-se na imposição dos requisitos que se transpõem para as legislações nacionais.

No decorrer da elaboração desta dissertação de mestrado foram estudados vários equipamentos, referentes aos usos regulados: os de preparação de AQS, os de aquecimento e arrefecimento ambiente, os sistemas renováveis e os sistemas de ventilação. Os dados técnicos, que os caracterizam, foram apresentados, tendo sido obtidos através da consulta das fichas técnicas, bem como o seu funcionamento geral, normas e regras de certificação e custo. A eficiência dos equipamentos são parâmetros de elevada relevância na certificação energética global do edifício, de acordo com a metodologia de cálculo da certificação energética. Contudo, são parâmetros de difícil quantificação uma vez que, dependem de como os equipamentos são instalados, mantidos e utilizados, não correspondendo, muitas vezes, às reais eficiências dos equipamentos integrados nos sistemas. Indiretamente, através da metodologia de cálculo, a eficiência dos sistemas e as suas características tem impacto no rácio energético (R_{Nt}), uma vez que entram no cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária, N_{tc} . Um outro parâmetro, igualmente relevante, é a quantidade de energia renovável produzida, E_{ren} , que está diretamente relacionada com o tipo de equipamentos selecionados e fonte de energia que utilizam.

Uma vez introduzidas na ferramenta de cálculo todas as características construtivas do edifício, nomeadamente toda a componente passiva do edifício, é possível determinar as necessidades energéticas do edifício. Numa fase inicial não foram considerados sistemas técnicos, o que significa, que na metodologia de cálculo foram considerados os sistemas por defeito definidos no Manual SCE, que não cumpriam as exigências regulamentares em vigor. A simulação dos 264 cenários provocaram alteração na classe energética do edifício, comparativamente ao cenário base dos sistemas por defeito, o que revela que os sistemas possuem uma grande influência na determinação da classe energética do edifício.

No final do capítulo 3, referenciaram-se os métodos de análise dos resultados utilizados. Pôde-se, através dos métodos, aplicar à Engenharia Civil ferramentas de *Data Mining* permitindo uma melhor interpretação de uma extensa base de resultados. A análise de *clusters* demonstrou ser um método indispensável no processo de interpretação de resultados, a formação de grupos que apresentam semelhanças é um trabalho moroso na medida que é necessário definir o número ideal de *clusters*. Foram definidos 4 *clusters* que, após uma análise descritiva, se conseguiram associar com as restantes variáveis e realizar-se uma análise interpretativa mais simplificada. A análise de *clusters* permitiu-nos previamente identificar os cenários com pior e melhor desempenho energético, e visualizar os cenários

e equipamentos a eles associados. Os cenários simulados mais interessantes, do ponto de vista energético, são os que possuem menores necessidades nominais anuais de energia primária e que conjuntamente majoram a energia produzida a partir de fontes de energia renováveis. As árvores de decisão tornaram-se um método de análise ainda mais fácil de interpretar, uma vez que comprimem uma elevada quantidade de dados numa representação gráfica intuitiva e de simples compreensão. Foi possível retirar informação referente aos *clusters* que apresentavam pior desempenho, e aos equipamentos que nos remetiam a cenários com melhor classe energética. As rápidas análises fizeram jus aos *softwares* utilizados e à compatibilidade existente entre eles.

As análises de associações revelaram que o uso de equipamentos a biomassa, quando a zona climática de inverno é I3 (Vila do Conde e Bragança), e os valores de necessidades nominais anuais de energia para aquecimento são maiores, apresentam um contributo positivo na classificação energética obtida através da metodologia de cálculo da legislação em vigor. Os cenários que incluíam este tipo de equipamento nos sistemas técnicos do edifício apresentaram sempre classe energética A+. Quando se alterava a zona climática de inverno para uma menos severa, zona climática II, o contributo deste tipo de equipamentos já não se revelava interessante devido à diminuição das necessidades nominais de energia para aquecimento. Na cidade de Vila do Conde a integração de ventilação mecânica centralizada de duplo fluxo, nos cenários, permitiu obter uma classe energética ótima. Já o aumento da taxa de renovação horária de ar para uma superior à mínima legislada, remete-nos a cenários com maiores necessidades nominais anuais de energia primária, maiores necessidades de aquecimento e ligeira descida das necessidades nominais anuais de energia primária para arrefecimento. Para a cidade de Faro a ventilação natural revelou-se favorável, uma vez que se conseguia diminuir as necessidades de arrefecimento por meios naturais, obtendo-se uma melhor classificação energética com a consequente diminuição do parâmetro N_{tc} . A integração dos sistemas solares fotovoltaicos com bateria, a cenários que sustentam as necessidades dos usos com equipamentos a eletricidade refletem cenários de classificação energética favorável. Os cenários com fotovoltaicos sem bateria demonstram ter um pior desempenho, comparativamente aos cenários que integram solares térmicos fotovoltaicos com bateria. Estas conclusões tornaram-se evidentes com a formação dos *clusters*. Através da análise de *clusters* e pelo método de previsão, árvores de decisão, verificou-se que o uso de caldeira a gás não beneficia a obtenção de classes energéticas admissíveis para a aprovação da certificação. Caso estes cenários adotem ventilação mecânica do tipo VMC duplo fluxo, os cenários transpõem-se para a classe energética máxima, mais uma vez note-se a importância deste equipamento. Para a cidade de Bragança, com a mesma zona climática de inverno de Vila do Conde, as mesmas conclusões acerca das desvantagens da caldeira mural gás verificara-se. Este tipo de equipamento não se revela vantajoso para suprir os elevados valores de N_{ic} . Já para a cidade de Faro, zona climática de inverno II, a afirmação anterior não se aplica, uma vez que os valores de N_{ic} são consideravelmente menores. O estudo análogo para as diferentes cidades revela a importância da escolha adequada dos equipamentos de acordo com a zona climática do edifício e necessidades. Manteve-se o realce do fator financeiro como um parâmetro fulcral para o guia de decisão do conjunto de equipamentos a adotar.

As conclusões retiradas acerca do impacto das instalações dizem respeito ao estudo numérico realizado para o caso de estudo. A variação de fatores como a localização, componente passiva, escolha de diferentes equipamentos, entre outros, são características que alteram os resultados obtidos. A forma de como a legislação caracteriza os equipamentos tem igualmente impacto nos resultados numéricos.

Considera-se que os objetivos propostos foram atingidos e conclui-se que, de um modo geral, os métodos de análise, com recurso a *Data Mining*, apresentam aplicabilidade no estudo do impacto das instalações na classe energética dos edifícios de habitação.

Futuramente, a continuação da abordagem da potencialidade destas ferramentas sugere que os métodos sejam aplicados a diferentes bases de dados e que se utilizem *softwares* mais complexos. A aplicabilidade dos processos de *Data Mining* poderá ser demonstrada através da transversalidade a diferentes fases da construção. Poderá ser verificada, a aplicabilidade do processo da *machine learning* a diferentes fases da obra da certificação, nomeadamente na fase de projeto ou na fase de pré certificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APREN, ASSOCIAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS (2024) - Balanço da Produção de Eleticidade de Portugal Continental [Em linha]. [Consult. 14/02]. Disponível em WWW: <URL: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>>.
- BARKHAUSEN, R.; DURAND, A.; FICK, K. (2022) - Review and Analysis of Ecodesign Directive Implementing Measures: Product Regulations Shifting from Energy Efficiency towards a Circular Economy. Sustainability (Switzerland) [Em linha]. 14:16. Disponível em WWW: <URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85137671801&doi=10.3390%2fsu141610318&partnerID=40&md5=9cdd5a7e4b50c27ec9d6eacb4dc09b61>>.
- CEAIE (2016) - Saiba mais sobre Sistemas Solares Fotovoltaicos 10 Soluções Eficiência Energética ADENE - Agência para a Energia. 10:(Outubro 2016) 5.
- COMISSÃO EUROPEIA (2024a) - Ecodesign for Sustainable Products Regulation [Em linha]. [Consult. 6/3].
- (2024b) - Nearly-zero energy and zero-emission buildings [Em linha]. [Consult. 27/2]. Disponível em WWW: <URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-and-zero-emission-buildings_en>.
- DAIKIN - 8 mitos sobre o piso radiante [Em linha]. [Consult. 26/03]. Disponível em WWW: <URL: https://www.daikin.pt/pt_pt/particular/inspiration/articles/8-mitos-sobre-o-piso-radiante.html>.
- DENG, S.; WANG, R. Z.; DAI, Y. J. (2014) - How to evaluate performance of net zero energy building – A literature research. Energy [Em linha]. 71: 1-16. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214005568>>. ISSN 0360-5442.
- DGEG (2021) - Ecodesign e Etiqueta Energética [Em linha]. [Consult. 5/3]. Disponível em WWW: <URL: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/ecodesign-e-etiqueta-energetica/>>.
- DGEG; ADENE; PORTUGUESA, REPÚBLICA (2024) - Manual SCE
- DIAS, SÉRGIO (2015) - Os sistemas energéticos para habitação autossustentável em clima Português: simulação e análise energética Repositório da Universidade de Lisboa: Universidade de Lisboa.
- ECONOMIDOU, M. [et al.] (2020a) - Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. Energy and Buildings [Em linha]. 225: 5-12. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778820317229>>. ISSN 0378-7788.
- (2020b) - Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. Energy and Buildings [Em linha]. 225: 110322. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778820317229>>. ISSN 0378-7788.
- EUROPEU, PARLAMENTO; EUROPEIA, CONCELHO DA UNIÃO (2003) - DIRETIVA 2002/91/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios.
- (2018) - DIRETIVA (UE) 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.
- EUROPEU, PARLAMENTO; EUROPEIA, CONSELHO DA UNIÃO (2024) - DIRETIVA (UE) 2024/1275 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 24 de abril de 2024 relativa ao desempenho energético dos edifícios.

FRAGOSO, RUI (2023) - 16 anos de Certificação Energética dos Edifícios. [Em linha]. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sce.pt/16-anos-de-certificacao-energetica-dos-edificios/>>.

GOVERNO PORTUGUÊS (1990) - Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro.

--- (2006a) - Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril.

--- (2006b) - Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril.

--- (2006c) - Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril.

--- (2013) - Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto.

--- (2017) - Decreto-Lei n.º 97/2017 de 10 de agosto.

--- (2019) - Presidência do Concelho de Ministros DL n.º 85/2019.

--- (2020a) - Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro.

--- (2020b) - Plano Nacional Energia e Clima 2030 aprovado em Conselho de Ministros

--- (2021) - Despacho n.º 6476-E/2021 de 1 de julho de 2021.

HAN, JIAWEI; KAMBER, MICHELINE; PEI, JIAN (2012) - In HAN, JIAWEI, KAMBER, MICHELINE & PEI, JIAN Data Mining: Concepts and Techniques (Third Edition). Boston: Morgan Kaufmann. ISBN 978-0-12-381479-1. p. 1-38.

HEIDARI, MEHRDAD; SEIFOSSADAT, GHODRATOLLAH; RAZAZ, MORTEZA (2013) - Application of decision tree and discrete wavelet transform for an optimized intelligent-based islanding detection method in distributed systems with distributed generations. Renewable and Sustainable Energy Reviews [Em linha]. 27: 525-532. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113004383>>. ISSN 1364-0321.

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2023) - Energy system of Portugal [Em linha]. [Consult. 19/02]. Disponível em WWW: <URL: <https://www.iea.org/countries/portugal>>.

INE, INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, (2021a) - Resultados Preliminares do Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico 2020. Inquérito ao Consumo de Energia [Em linha]. 7-8.

--- (2021b) - Resultados Preliminares do Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico 2020. Inquérito ao Consumo de Energia [Em linha]. 4-6.

JAYSAWAL, RAJAN KUMAR [et al.] (2022) - Concept of net zero energy buildings (NZEB) - A literature review. Cleaner Engineering and Technology [Em linha]. 11: 100582. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790822001872>>. ISSN 2666-7908.

MARIANO SIDRACH DE CARDONA ORTÍN (2008) - Ingeniería de los sistemas autónomos. Introducción al diseño y dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos. Universidad Internacional de Andalucía.

MCKENDRY, PETER (2002) - Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology [Em linha]. 83:1. 37-46. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001183>>. ISSN 0960-8524.

NAZERIYE, MAHSA [et al.] (2021) - Understanding the influence of building characteristics on enhancing energy efficiency in residential buildings: A data mining based study. Journal of Building Engineering [Em linha]. 43: 103069. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271022100927X>>. ISSN 2352-7102.

OBSERVATÓRIO DA ENERGIA; DGEG; ADENE (2024) - Energia em Números. [Em linha]. 126-135.

OBSERVATÓRIO DA ENERGIA, DGEG, ADENE, (2024) - Energia em Números. [Em linha]. 58-65.

- REN, XIAOXIN; YAN, DA; HONG, TIANZHEN (2015) - Data mining of space heating system performance in affordable housing. Building and Environment [Em linha]. 89: 1-13. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315000669>>. ISSN 0360-1323.
- REPÚBLICA PORTUGUESA; DGEG; ADENE (2024) - Manual SCE - Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios.
- REPÚBLICA PORTUGUESA, DGEG (2019) - Factor de conversão entre energia útil e primária aplicável à rede térmica da CLIMAESPAÇO
- RISTOSKI, PETAR; BIZER, CHRISTIAN; PAULHEIM, HEIKO (2015) - Mining the Web of Linked Data with RapidMiner. Journal of Web Semantics [Em linha]. 35: 142-151. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570826815000505>>. ISSN 1570-8268.
- SCE (2025) - Legislação [Em linha]. [Consult. Disponível em WWW: <URL: <https://www.sce.pt/legislacao/>>].
- SEIÇA, DAVID (2024) - Impacto da Queima de Biomassa na Qualidade do Ar em Microambientes Residenciais Universidade de Coimbra. Dissertação. [Consult. 12/3].
- SIMON, STEPHEN D. (2014) - PMean: History of SPSS. [Em linha]. Disponível em WWW: <URL: <http://blog.pmean.com/history-of-spss/>>.
- TÉRMICO, PAINEL SOLAR (2013) - Sistemas Solares Térmicos [Em linha]. [Consult. 25/03]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.painelsolartermico.com/sistemassolares-termicos>>.
- WITTEN, IAN H.; FRANK, EIBE; HALL, MARK A. (2011) - Chapter 1 - What's It All About? In WITTEN, IAN H., FRANK, EIBE & HALL, MARK A. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques (Third Edition). Boston: Morgan Kaufmann. ISBN 978-0-12-374856-0. p. 3-38.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A1 – Desempenho energético cenário 13

Anexo A2 – Esquema em árvore dos cenários para simulação

Anexo A3 – Resultados das simulações

ANEXO A1

DESEMPENHO ENERGÉTICO CENÁRIO 13

FICHA N.º 1
EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO
FICHA RESUMO CARACTERIZADORA DO EDIFÍCIO E DA INTERVENÇÃO PRECONIZADA

Câmara Municipal de Vila do Conde

Edifício

Empreendimento: _____ Nº de frações: _____
 Morada: _____
 Freguesia: VILA DO CONDE Concelho: Vila do Conde

Tipo de intervenção

☒ Edifício Novo ☐ Grande intervenção
 (a preencher com base na informação do projeto de comportamento térmico)

Caracterização:

Fração	Área interior útil de pavimento (m ²)	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
-	154.25	2.66	T3

Resumo de cálculo:

Fração	Tx. ren. (RPH)	Nic (kWh/(m ² .ano))	Ni (kWh/(m ² .ano))	Nvc (kWh/(m ² .ano))	Nv (kWh/(m ² .ano))	Qa (kWh/ano)	Ntc (kWh _{EP} /(m ² .ano))	Nt (kWh _{EP} /(m ² .ano))	E _{ren,p} (kWh/ano)(*)	E _{ren,ext} (kWh/ano)(**)
-	0.50	51.17	75.75	6.13	9.13	2377	42.30	111.55	8631	0

(*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(**) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E_{ren,p}.

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: _____
 Inscrito na: _____ Número de inscrição: _____
 Assinatura: _____

Folha de Cálculo B

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &1 \\
 &- \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,i} &= 0.00 \\
 &\times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= 0 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\div \\
 R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d &= 303.44 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &= \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= 1.00 \\
 &\times \\
 &0.34 \\
 &\times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i} &= 0.74 \text{ h}^{-1} \\
 &\times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= 154.25 \text{ m}^2 \\
 &\times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 2.66 \text{ m} \\
 &= \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i} &= 103.17 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &0.34 \\
 &\times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i \text{ REF}} &= 0.60 \text{ h}^{-1} \\
 &\times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= 154.25 \text{ m}^2 \\
 &\times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 2.66 \text{ m} \\
 &= \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i \text{ REF}} &= 83.71 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &1 \\
 &- \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,v} &= 0.00 \\
 &\times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= 0 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\div \\
 R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d &= 303.44 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &= \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= 1.00 \\
 &\times \\
 &0.34 \\
 &\times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento } R_{ph,v} &= 0.74 \text{ h}^{-1} \\
 &\times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= 154.25 \text{ m}^2 \\
 &\times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 2.66 \text{ m} \\
 &= \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,v} &= 103.17 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Folha de Cálculo E

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 380.40 \quad \text{W/}^{\circ}\text{C} \\
 &+ \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 103.17 \quad \text{W/}^{\circ}\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i} \quad 483.57 \quad \text{W/}^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned}
 &0.024 \\
 &\times \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,296 \quad ^{\circ}\text{C.dias} \\
 &\times \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 380.40 \quad \text{W/}^{\circ}\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 11\,835.75 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned}
 &0.024 \\
 &\times \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,296 \quad ^{\circ}\text{C.dias} \\
 &\times \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 103.17 \quad \text{W/}^{\circ}\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad 3\,209.97 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.6 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad 398.42 \quad \text{W/}^{\circ}\text{C} \\
 &+ \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} \quad 83.71 \quad \text{W/}^{\circ}\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i,REF} \quad 482.13 \quad \text{W/}^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &0.024 \\
 &\times \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,296 \quad ^{\circ}\text{C.dias} \\
 &\times \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad 398.42 \quad \text{W/}^{\circ}\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} \quad 12\,396.22 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.8 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &0.024 \\
 &\times \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,296 \quad ^{\circ}\text{C.dias} \\
 &\times \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} \quad 83.71 \quad \text{W/}^{\circ}\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i,REF} \quad 2\,604.52 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Inércia do edifício	Forte
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	7341.57 kWh/ano
Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar $Q_{tr,i} + Q_{ve,i}$	15045.72 kWh/ano
	=
parâmetro γ_i	0.49
parâmetro a_i	4.20 W/°C
Factor de utilização dos ganhos η_i	0.97
	x
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	7341.57 kWh/ano
	=
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i}$	7152.42 kWh/ano

E.9 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

Factor de utilização dos ganhos $\eta_{i, REF}$	0.6
	x
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i, REF}$	5528.25 kWh/ano
	=
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i, REF}$	3316.95 kWh/ano

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$	11835.75 kWh/ano
	+
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$	3209.97 kWh/ano
	-
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$	7152.42 kWh/ano
(folha de cálculo 1.4)	=
Necessidades Anuais na estação de aquecimento	7893.30 kWh/ano
	÷
Área útil de pavimento A_p	154.25 m²
	=
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento $N_{i,c}$	51.17 kWh/m².ano

E.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i, REF}$	12396.22 kWh/ano
	+
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i, REF}$	2604.52 kWh/ano
	-
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i, REF}$	3316.95 kWh/ano
	=
Necessidades Anuais na estação de aquecimento	11683.78 kWh/ano
	÷
Área útil de pavimento A_p	154.25 m²
	=
Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento $N_{i,l}$	75.75 kWh/m².ano

Folha de Cálculo F

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 380.40 \text{ W/}^{\circ}\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 103.17 \text{ W/}^{\circ}\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 483.57 \text{ W/}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 380.40 \text{ W/}^{\circ}\text{C} \\ &\times \\ &(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 4 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &\times \\ &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\ &\div \\ &1000 \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento } Q_{tr,v} \quad 4\,566.68 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 103.17 \text{ W/}^{\circ}\text{C} \\ &\times \\ &(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 4 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &\times \\ &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\ &\div \\ &1000 \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento } Q_{ve,v} \quad 1\,238.53 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

F.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned}
 &\text{Inércia do edifício} \quad \boxed{\text{Forte}} \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,v} \quad \boxed{5508.28} \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,v} + Q_{re,v} \quad \boxed{5805.21} \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{parâmetro } \gamma_v \quad \boxed{0.95} \\
 &\text{parâmetro } a_v \quad \boxed{4.20} \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_v \quad \boxed{0.83}
 \end{aligned}$$

F.6 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_v \quad \boxed{0.83}$$

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &(1 - \eta_v) \quad \boxed{0.17} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v} \quad \boxed{5508.28} \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad \boxed{154.25} \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_{ve} \quad \boxed{6.13} \text{ kWh/m}^2.\text{ano}
 \end{aligned}$$

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &(1 - \eta_{v,REF}) \quad \boxed{0.17} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v,REF} \quad \boxed{8306.67} \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad \boxed{154.25} \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Limite das Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_v \quad \boxed{9.13} \text{ kWh/m}^2.\text{ano}
 \end{aligned}$$

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO									G. 8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA						
SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil N_{uc}	f_v	δ_v	Efficiência Nominal η_v	Factor de Conversão $F_{p,v}$	Necessidades de Energia Final $f_v \cdot N_{uc} / \eta_v \cdot A_p$	Necessidades de Energia Primária $f_v \cdot \delta_v \cdot N_{uc} \cdot F_{p,v} / \eta_v$	SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Limite das Necessidades de Energia Útil N_{uc}	f_v	Efficiência Nominal de Referência $\eta_{v,ref}$	Factor de Conversão $F_{p,v}$	Limite das Necessidades de Energia Primária $f_v \cdot \delta_v \cdot N_{uc} \cdot F_{p,v} / \eta_v$
		kWh/m².ano				kWh _{eq} /kWh	kWh/ano	kWh _{eq} /m².ano			kWh/m².ano			kWh _{eq} /kWh	kWh _{eq} /m².ano
Sistema 1	Electricidade	6.13	1.00	1	4.70	2.5	201.25	3.26	Sistema 1	Electricidade	9.13	1.00	2.9	2.5	7.87
Sistema por defeito	Electricidade	0.00	0.00	1	3	2.5	0.00	0.00	Sistema por defeito	Electricidade	0.00	0.00	3	2.5	0.00
					TOTAL		201.25	3.26					TOTAL		7.87

G.9 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS DE REFERÊNCIA

G.4 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA		
Energia anual eléctrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica W_{ve}	0	kWh/ano
Área útil de Pavimento A_v	154,25	m ²
Factor de Conversão of_{pv}	2,5	kWh _{HP} /kWh
Necessidades anuais de energia primária para o sistema de ventilação	0,00	kWh _{HP} /m ² .ano

SISTEMA COM RECURSO A ENERGIA RENOVÁVEL	Produção de Energia	E_{rev}/A_p kWh/m ² .ano	Factor de Conversão F_{pu} kWh _{el} /kWh	Energia primária $E_{100} \cdot F_{pu}$ kWh _{el} /m ² .ano
Sistema 2	Renovável Térmica	12.43	1	12.43
Bombas de Calor	Renovável Térmica	43.52	1	43.52
			TOTAL	55.95

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

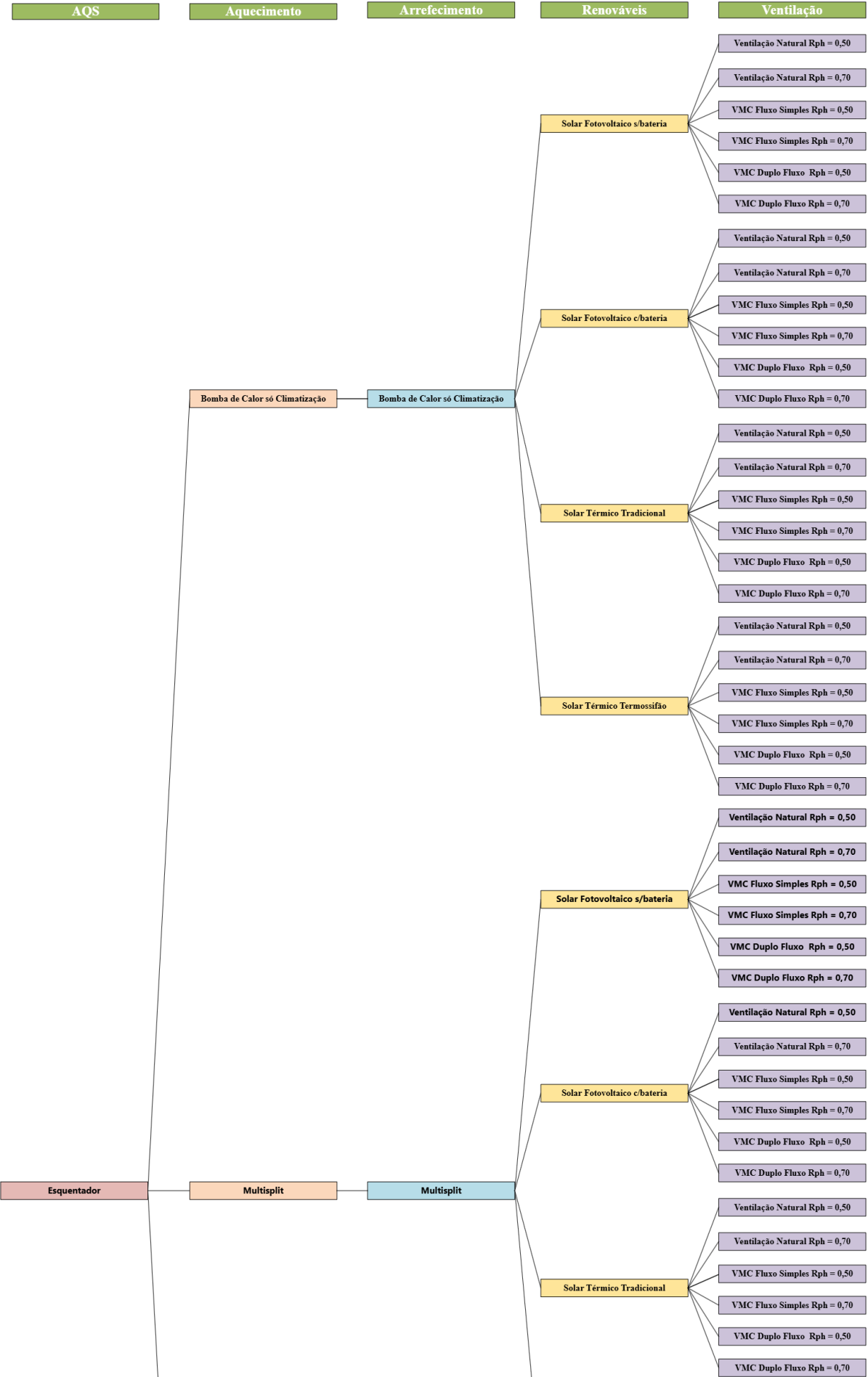
Energia primária para aquecimento	31.20	kWh _{EP} /m².ano
+		
Energia primária para arrefecimento	3.26	kWh _{EP} /m².ano
+		
Energia primária para a preparação de AQS	20.27	kWh _{EP} /m².ano
+		
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	0.00	kWh _{EP} /m².ano
-		
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	12.43	kWh _{EP} /m².ano
=		
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N _g	42.30	kWh _{EP} /m².ano

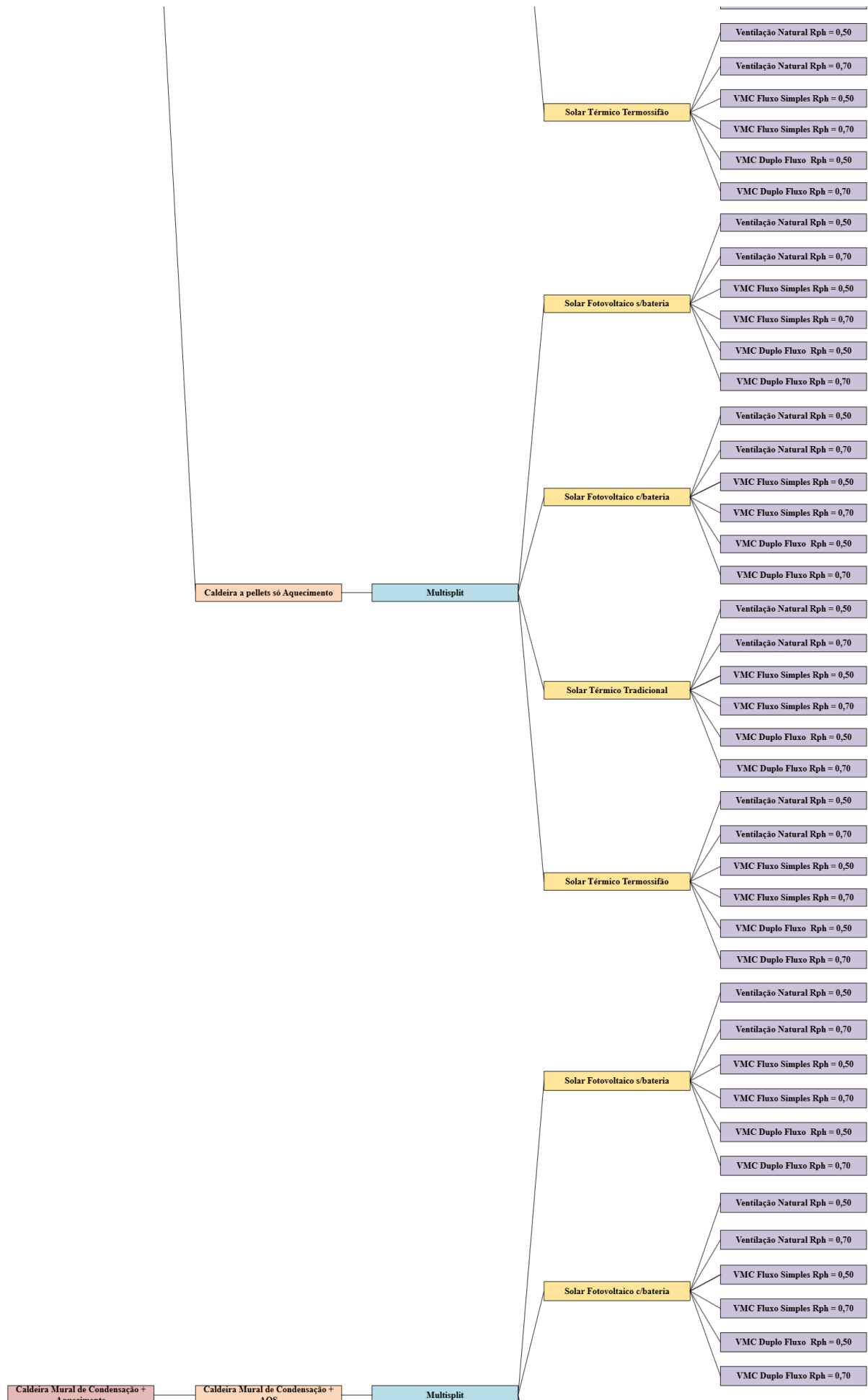
G.10 LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

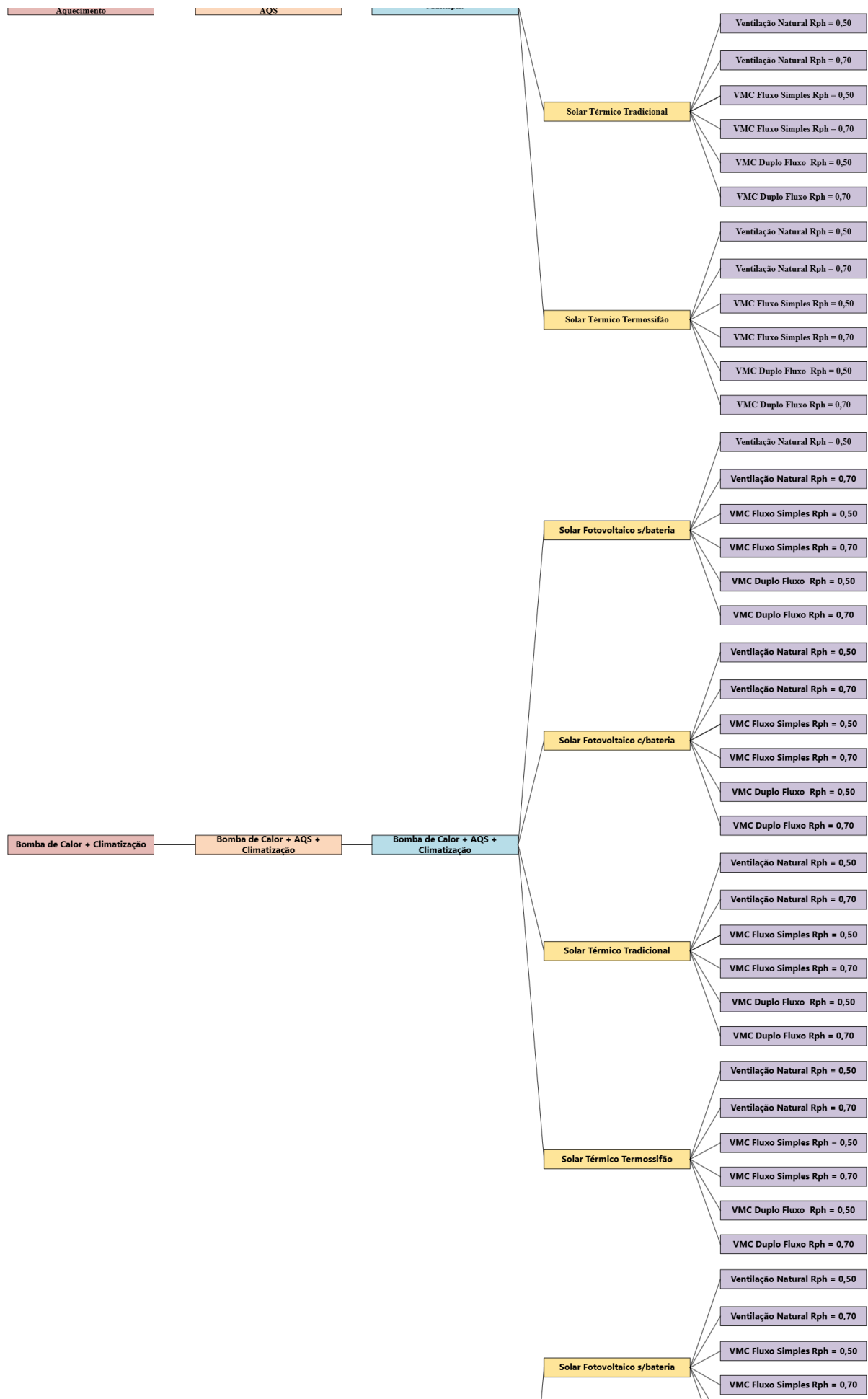
Energia primária para aquecimento	63.12	kWh _{EP} /m².ano
+		
Energia primária para arrefecimento	7.87	kWh _{EP} /m².ano
+		
Energia primária para a preparação de AQS	40.56	kWh _{EP} /m².ano
=		
Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária N _g	111.55	kWh _{EP} /m².ano

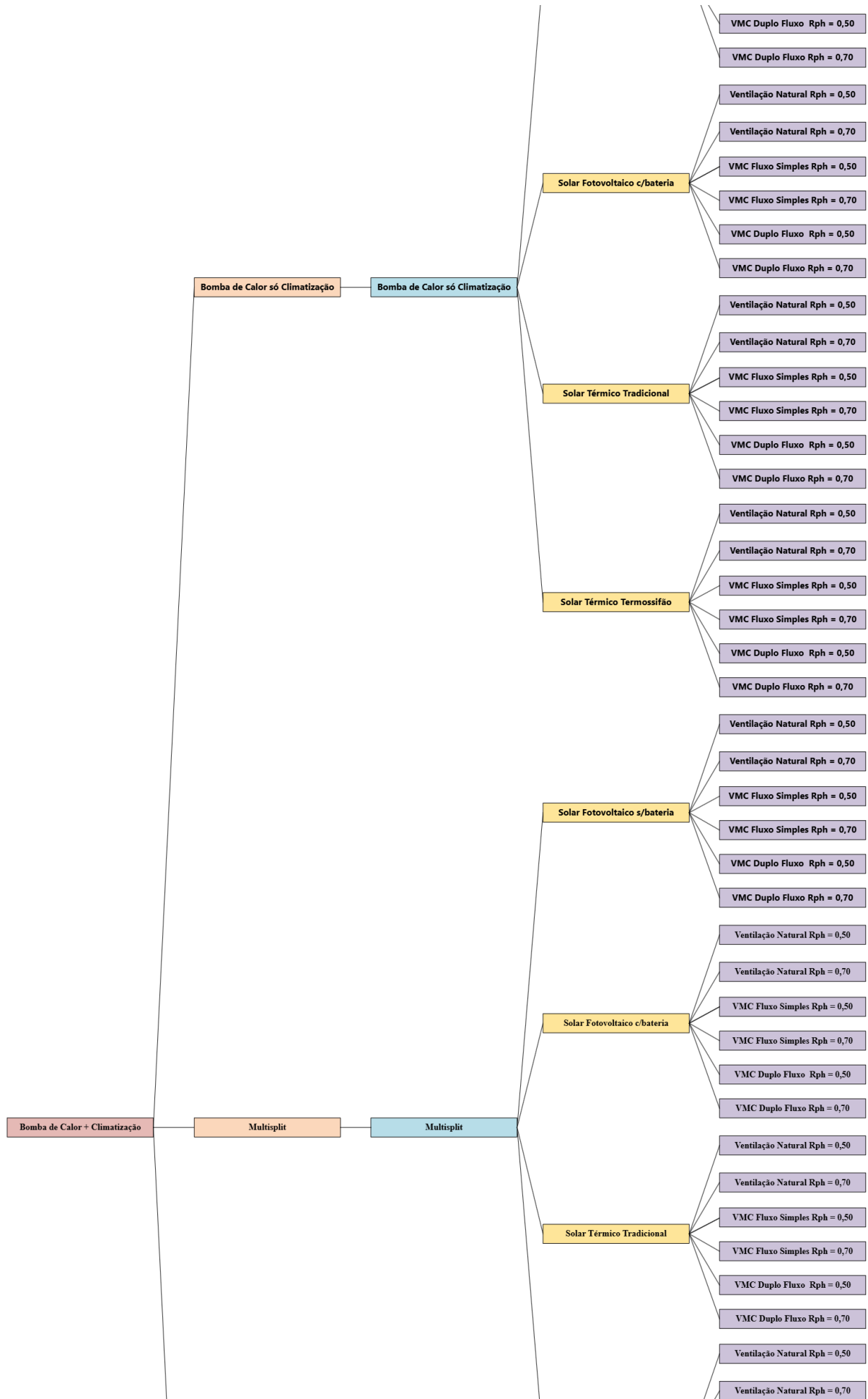
ANEXO A2

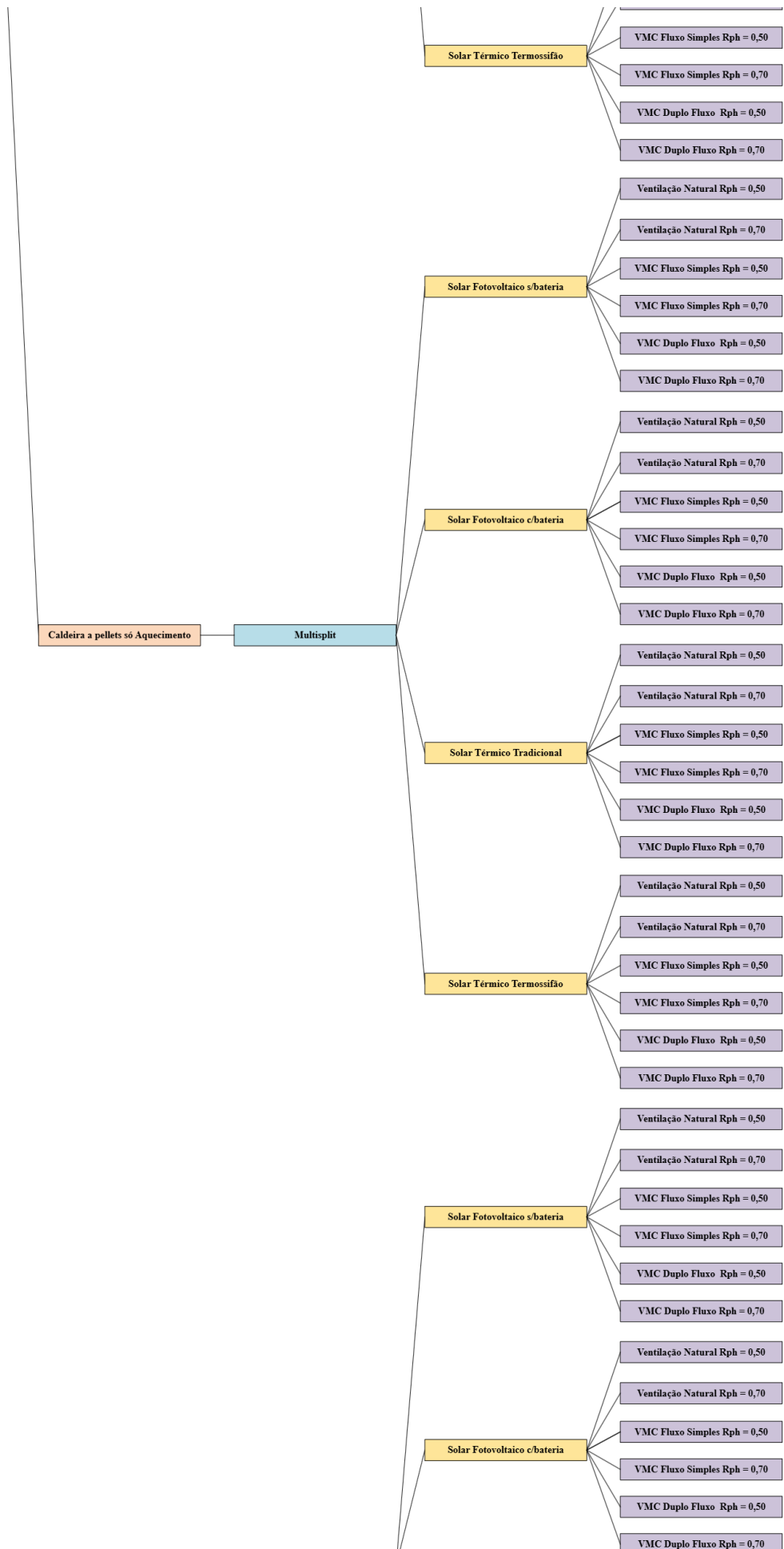
ESQUEMA EM ÁRVORE DOS CENÁRIOS PARA SIMULAÇÃO

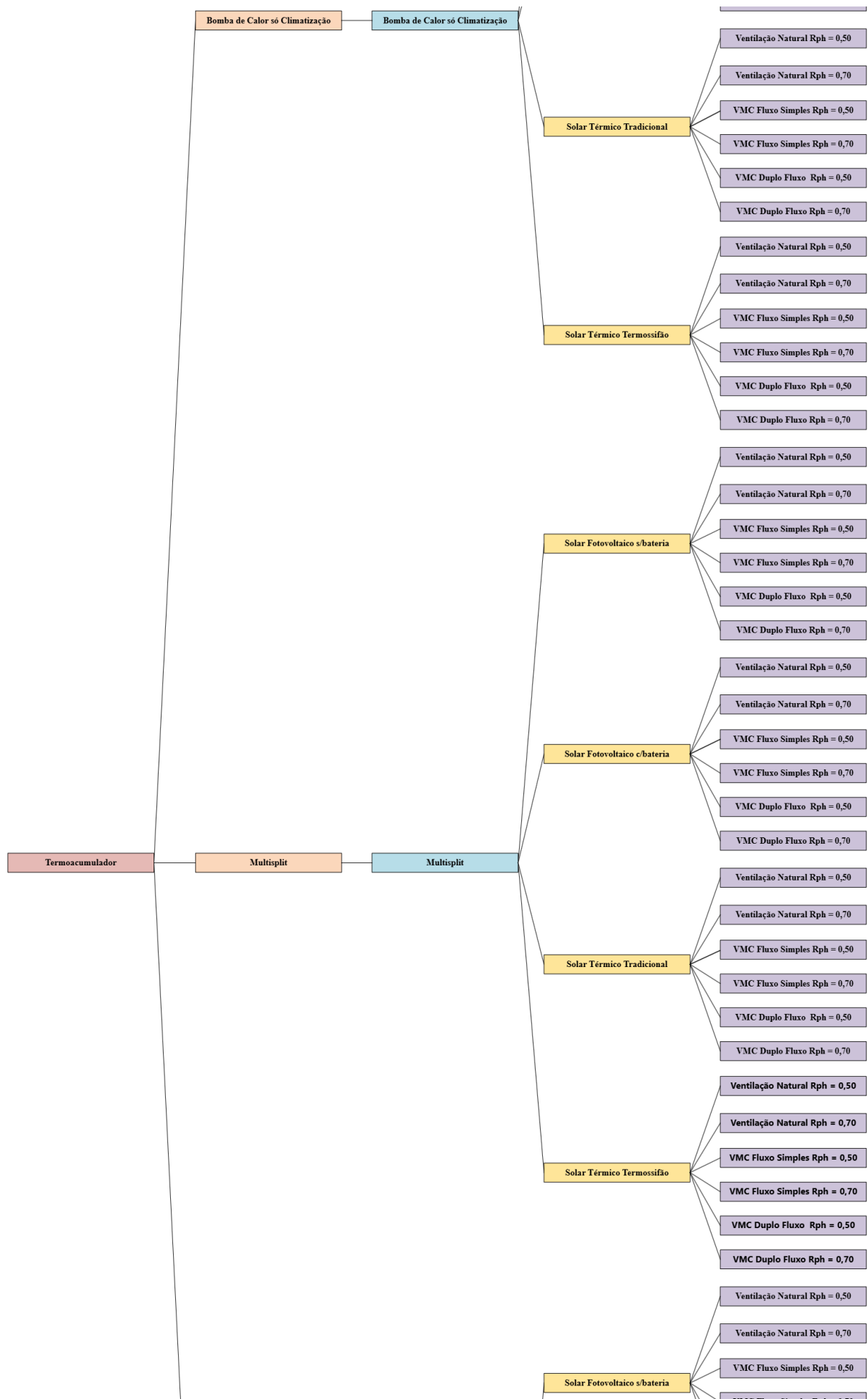


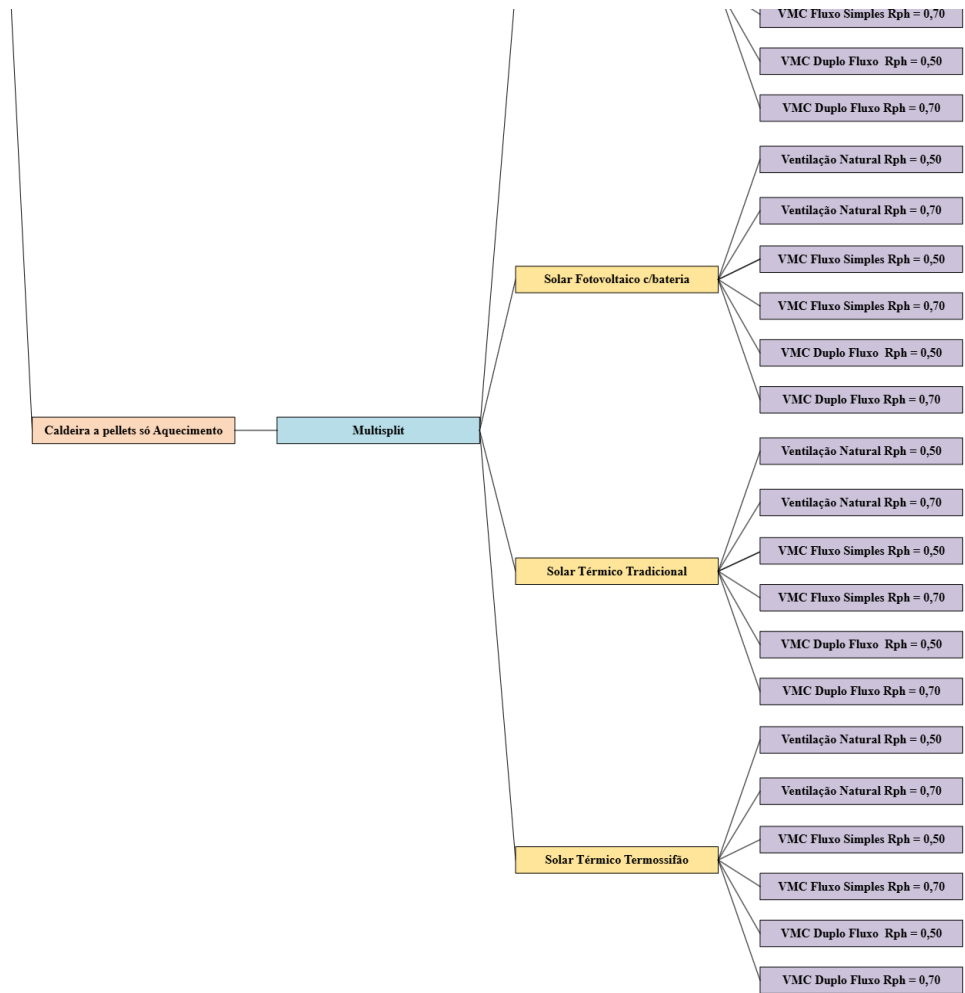












ANEXO A3

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Cenário	Rph	Ni	Nic	Nv	Nve	Nt	Ntc	Aquec	Arref	AQS	Ventil	Renov	Eren	RenHAB	Ntc/Nt	Classe	Custo
1	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	88.31	40.29	31.20	3.26	17.92	-	12.09	7459	310.31	0.46	A	14 470.10 €
2	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	88.31	40.98	34.39	0.00	17.92	-	11.33	8026	301.14	0.46	A	16 294.20 €
3	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	88.31	40.50	30.98	3.29	17.92	0.57	12.25	7432	309.90	0.46	A	15 821.10 €
4	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	88.31	41.05	32.81	0.00	17.92	2.00	11.69	7793	292.24	0.46	A	15 821.10 €
5	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	88.31	21.20	0.00	4.44	17.92	1.83	2.99	6160	53.35	0.24	A+	14 214.10 €
6	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	88.31	21.67	0.00	4.82	17.92	2.33	3.40	5845	58.75	0.25	A+	14 214.10 €
7	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	88.31	34.10	31.20	3.26	17.92	-	18.28	7841	344.85	0.39	A	19 969.74 €
8	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	88.31	36.37	34.39	0.00	17.92	-	15.93	8396	326.83	0.41	A	21 793.84 €
9	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	88.31	34.20	30.98	3.29	17.92	0.57	18.56	7821	345.07	0.39	A	21 320.74 €
10	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	88.31	35.97	32.81	0.00	17.92	2.00	16.77	8194	320.59	0.41	A	21 320.74 €
11	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	88.31	18.81	0.00	4.44	17.92	1.83	5.38	6576	66.69	0.21	A+	19 713.74 €
12	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	88.31	19.07	0.00	4.82	17.92	2.33	6.00	6266	73.27	0.22	A+	19 713.74 €
13	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	111.55	42.30	31.20	3.26	20.27	-	12.43	8631	276.04	0.38	A	15 341.08 €
14	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	111.55	42.22	34.39	0.00	20.27	-	12.43	9153	271.70	0.38	A	17 165.18 €
15	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	111.55	42.67	30.98	3.29	20.27	0.57	12.43	8594	283.43	0.38	A	16 692.08 €
16	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	111.55	42.65	32.81	0.00	20.27	2.00	12.43	8893	262.06	0.38	A	16 692.08 €
17	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	111.55	14.11	0.00	4.44	20.27	1.83	12.43	7401	93.77	0.13	A+	15 085.08 €
18	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	111.55	14.98	0.00	4.82	20.27	2.33	12.43	7100	96.51	0.13	A+	15 085.08 €
19	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	105.74	44.85	31.20	3.26	21.21	-	10.83	8383	256.22	0.42	A	16 214.38 €
20	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	105.74	44.77	34.39	0.00	21.21	-	10.83	8905	252.07	0.42	A	18 038.48 €
21	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	105.74	45.22	30.98	3.29	21.21	0.57	10.83	8346	255.10	0.43	A	17 565.38 €
22	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	105.74	45.20	32.81	0.00	21.21	2.00	10.83	8645	242.86	0.43	A	17 565.38 €
23	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	105.74	16.65	0.00	4.44	21.21	1.83	10.83	7153	82.03	0.16	A+	15 958.38 €
24	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	105.74	17.53	0.00	4.82	21.21	2.33	10.83	6852	84.65	0.17	A+	15 958.38 €
25	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	80.62	40.32	30.24	4.60	17.92	-	12.45	7457	311.44	0.50	A	9 565.70 €
26	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	80.62	40.23	33.33	0.00	17.92	-	11.02	8035	301.78	0.50	A	11 389.80 €
27	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	80.62	40.51	30.03	4.64	17.92	0.57	12.64	7431	311.16	0.50	A	10 916.70 €
28	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	80.62	40.35	31.80	0.00	17.92	2.00	11.37	7796	292.74	0.50	A	10 916.70 €
29	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	80.62	22.12	0.00	6.27	17.92	1.83	3.00	6135	54.34	0.27	A	9 309.70 €
30	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	80.62	22.69	0.00	6.80	17.92	2.33	4.36	5810	59.66	0.28	A	9 309.70 €
31	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	80.62	33.77	30.24	4.60	17.92	-	19.00	7861	347.98	0.42	A	15 065.34 €
32	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	80.62	35.61	33.33	0.00	17.92	-	15.64	8432	327.56	0.44	A	16 889.44 €
33	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	80.62	33.85	30.03	4.64	17.92	0.57	19.30	7842	348.33	0.42	A	16 416.34 €
34	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	80.62	35.31	31.80	0.00	17.92	2.00	16.41	8216	320.85	0.44	A	16 416.34 €
35	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	80.62	19.34	0.00	6.27	17.92	1.83	6.68	6572	69.87	0.24	A+	14 809.34 €
36	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	80.62	19.70	0.00	6.80	17.92	2.33	7.35	6252	76.35	0.24	A+	14 809.34 €
37	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	100.61	42.07	30.24	4.60	19.66	-	12.43	8607	283.86	0.42	A	10 436.68 €
38	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	100.61	40.55	33.33	0.00	19.66	-	12.43	9145	282.31	0.40	A	12 260.78 €
39	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	100.61	42.46	30.03	4.64	19.66	0.57	12.43	8569	282.61	0.42	A	11 787.68 €
40	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	100.61	41.03	31.80	0.00	19.66	2.00	12.43	8878	272.28	0.41	A	11 787.68 €
41	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	100.61	15.32	0.00	6.27	19.66	1.83	12.43	7333	92.98	0.15	A+	10 180.68 €
42	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	100.61	16.35	0.00	6.80	19.66	2.33	12.43	7019	95.48	0.16	A+	10 180.68 €
43	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	98.05	45.23	30.24	4.60	21.21	-	10.83	8359	255.49	0.46	A	11 309.98 €
44	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	98.05	43.71	33.33	0.00	21.21	-	10.83	8897	254.06	0.45	A	13 134.08 €
45	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	98.05	45.62	30.03	4.64	21.21	0.57	10.83	8321	254.34	0.47	A	12 660.98 €
46	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	98.05	44.19	31.80	0.00	21.21	2.00	10.83	8630	244.76	0.45	A	12 660.98 €
47	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	98.05	18.48	0.00	6.27	21.21	1.83	10.83	7085	78.59	0.19	A+	11 053.98 €
48	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	98.05	19.51	0.00	6.80	21.21	2.33	10.83	6770	80.91	0.20	A+	11 053.98 €
49	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	110.03	20.19	54.44	4.60	17.92	-	56.77	9203	340.74	0.18	A+	12 374.27 €
50	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	110.03	17.92	59.99	0.00	17.92	-	59.99	9967	334.76	0.16	A+	14 198.37 €
51	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	110.03	20.52	54.05	4.64	17.92	0.57	56.65	9165	340.29	0.19	A+	13 725.27 €
52	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	100.03	19.02	57.24	0.00	17.92	2.00	58.15	9642	324.47	0.19	A+	13 725.27 €
53	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	110.03	22.08	0.00	6.27	17.92	1.83	3.94	7432	54.58	0.20	A+	12 118.27 €
54	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	110.03	22.66	0.00	6.80	17.92	2.33	4.39	6993	59.86	0.21	A+	12 118.27 €
55	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	110.03	22.52	54.44	4.60	17.92	-	54.44	9059	327.71	0.20	A+	17 873.91 €
56	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	110.03	17.92	59.99	0.00	17.92	-	59.99	10079	334.76	0.16	A+	19 698.01 €
57	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	110.03	18.32	54.05	4.64	17.92	0.57	58.86	9301	352.59	0.17	A+	19 224.91 €
58	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	110.03	18.02	57.24	0.00	17.92	2.00	59.15	9813	330.06	0.16	A+	19 224.91 €
59	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	110.03	18.92	0.00	6.27	17.92	1.83	7.10	7627	72.22	0.17	A+	17 617.91 €
60	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	110.03	19.24	0.00	6.80	17.92	2.33	7.81	7204	78.95	0.17	A+	17 617.91 €
61	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	130.02	11.83	54.44	4.60	19.66	-	66.87	10977	362.01	0.09	A+	13 245.25 €
62	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	130.02	7.22	59.99	0.00	19.66	-	72.43	11757	368.44	0.06	A+	15 069.35 €
63	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	130.02	12.43	54.05	4.64	19.66	0.57	66.48	10922	360.20	0.10	A+	14 596.25 €
64	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	130.02	9.22	57.24	0.00	19.66	2.00	69.68	11370	354.46	0.07	A+	14 596.25 €
65	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	130.02	15.32	0.00	6.27	19.66	1.83	12.43	9107	92.98	0.12	A+	12 989.25 €
66	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	130.02	16.35	0.00	6.80	19.66	2.33	12.43	8640	95.48	0.13	A+	12 989.25 €
67	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	127.47	14.99	54.44	4.60	21.21	-	65.26	10729	327.93	0.12	A+	14 118.55 €
68	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	127.47	10.38	59.99	0.00	21.21	-	70.82	11509	333.89	0.08	A+	15 942.65 €
69	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	127.47	15.59	54.05	4.64	21.21	0.57	64.87	10674	326.25	0.12	A+	15 469.55 €
70	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	127.47	12.39	57.24	0.00	21.21	2.00	68.07	11122	320.93	0.10	A+	15 469.55 €
71	0.50	75.75															

93	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	127.47	69.53	54.05	4.64	21.10	0.57	10.83	2338	71.83	0.55	B	14 823.10 €
94	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	127.47	69.52	57.24	0.00	21.10	2.00	10.83	2292	51.32	0.55	B	14 823.10 €
95	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	127.47	18.37	0.00	6.27	21.10	1.83	10.83	2571	79.01	0.14	A+	13 216.10 €
96	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	127.47	19.40	0.00	6.80	21.10	2.33	10.83	2647	81.35	0.15	A+	13 216.10 €
97	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	84.75	27.57	28.75	2.87	11.68	-	15.72	9515	317.26	0.33	A	12 134.82 €
98	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	84.75	28.25	31.68	0.00	11.68	-	15.11	10091	310.35	0.33	A	13 958.92 €
99	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	84.75	28.79	28.54	2.89	11.68	0.57	14.88	9426	312.42	0.34	A	13 485.82 €
100	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	84.75	28.42	30.23	0.00	11.68	2.00	15.49	9852	303.1	0.34	A	13 485.82 €
101	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	84.75	9.88	0.00	3.90	11.68	1.83	7.53	8199	111.78	0.12	A+	11 878.82 €
102	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	84.75	10.29	0.00	4.23	11.68	2.33	7.95	7881	116.22	0.12	A+	11 878.82 €
103	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	84.75	19.63	28.75	2.87	11.68	-	23.66	10005	352.69	0.23	A+	17 634.46 €
104	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	84.75	21.37	31.68	0.00	11.68	-	21.99	10573	341.04	0.25	A+	19 458.56 €
105	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	84.75	19.78	28.54	2.89	11.68	0.57	23.89	9982	352.62	0.23	A+	18 985.46 €
106	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	84.75	21.29	30.23	0.00	11.68	2.00	22.62	10350	334.92	0.25	A+	18 985.46 €
107	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	84.75	5.07	0.00	3.90	11.68	1.83	12.33	8711	133.22	0.06	A+	17 378.46 €
108	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	84.75	5.31	0.00	4.23	11.68	2.33	12.93	8396	138.42	0.06	A+	17 378.46 €
109	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	107.80	38.67	28.75	2.87	19.49	-	12.43	8851	290.12	0.36	A	13 005.80 €
110	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	107.80	38.74	31.68	0.00	19.49	-	12.43	9387	285.37	0.36	A	14 829.90 €
111	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	107.80	39.05	28.54	2.89	19.49	0.57	12.43	8814	288.89	0.36	A	14 356.80 €
112	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	107.80	39.29	30.23	0.00	19.49	2.00	12.43	9120	275.25	0.36	A	14 356.80 €
113	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	107.80	12.79	0.00	3.90	19.49	1.83	12.43	7593	98.66	0.12	A+	12 749.80 €
114	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	107.80	13.62	0.00	4.23	19.49	2.33	12.43	7285	101.56	0.13	A+	12 749.80 €
115	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	104.85	41.53	28.75	2.87	20.75	-	10.83	8682	261.24	0.40	A	13 879.10 €
116	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	104.85	41.60	31.68	0.00	20.75	-	10.83	9217	256.88	0.40	A	15 703.20 €
117	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	104.85	41.92	28.54	2.89	20.75	0.57	10.83	8644	260.11	0.40	A	15 230.10 €
118	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	104.85	42.15	30.23	0.00	20.75	2.00	10.83	8951	247.59	0.40	A	15 230.10 €
119	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	104.85	15.65	0.00	3.90	20.75	1.83	10.83	7423	85.47	0.15	A+	13 623.10 €
120	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	104.85	16.48	0.00	4.23	20.75	2.33	10.83	7115	88.13	0.16	A+	13 623.10 €
121	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	84.75	29.15	31.20	3.26	11.07	-	16.39	9418	321.41	0.34	A	17 262.22 €
122	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	84.75	29.85	34.39	0.00	11.07	-	15.61	9982	313.89	0.35	A	19 086.32 €
123	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	84.75	29.36	30.98	3.29	11.07	0.57	16.55	9391	321.07	0.35	A	18 613.22 €
124	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	84.75	30.06	32.81	0.00	11.07	2.00	15.82	9740	306.02	0.35	A	18 613.22 €
125	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	84.75	9.80	0.00	4.44	11.07	1.83	7.54	8126	113.81	0.12	A+	17 006.22 €
126	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	84.75	10.27	0.00	4.82	11.07	2.33	7.95	7811	118.17	0.12	A+	17 006.22 €
127	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	84.75	21.76	31.20	3.26	11.07	-	23.78	9874	354.92	0.26	A	22 761.86 €
128	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	84.75	23.11	34.39	0.00	11.07	-	22.35	10463	344.47	0.27	A	24 585.96 €
129	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	84.75	21.40	30.98	3.29	11.07	0.57	24.51	9882	357.15	0.25	A+	24 112.86 €
130	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	84.75	22.97	32.81	0.00	11.07	2.00	22.91	10242	340.05	0.27	A	24 112.86 €
131	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	84.75	5.07	0.00	4.44	11.07	1.83	12.27	8641	135.24	0.06	A+	22 505.86 €
132	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	84.75	5.35	0.00	4.82	11.07	2.33	12.87	8330	140.48	0.06	A+	22 505.86 €
133	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	107.80	41.50	31.20	3.26	19.47	-	12.43	8677	284.53	0.38	A	18 133.20 €
134	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	107.80	41.42	34.39	0.00	19.47	-	12.43	9199	280.08	0.38	A	19 957.30 €
135	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	107.80	41.87	30.98	3.29	19.47	0.57	12.43	8640	283.33	0.39	A	19 484.20 €
136	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	107.80	41.85	32.81	0.00	19.47	2.00	12.43	8939	270.20	0.39	A	19 484.20 €
137	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	107.80	13.31	0.00	4.44	19.47	1.83	12.43	7447	97.65	0.12	A+	17 877.20 €
138	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	107.80	14.19	0.00	4.82	19.47	2.33	12.43	7146	100.46	0.13	A+	17 877.20 €
139	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	104.85	44.34	31.20	3.26	20.70	-	10.83	8509	256.35	0.42	A	19 006.50 €
140	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	104.85	44.26	34.39	0.00	20.70	-	10.83	9031	252.26	0.42	A	20 830.60 €
141	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	104.85	44.71	30.98	3.29	20.70	0.57	10.83	8472	255.25	0.43	A	20 357.50 €
142	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	104.85	44.69	32.81	0.00	20.70	2.00	10.83	8771	243.19	0.43	A	20 357.50 €
143	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	104.85	16.15	0.00	4.44	20.70	1.83	10.83	7279	84.66	0.15	A+	18 750.50 €
144	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	104.85	17.02	0.00	4.82	20.70	2.33	10.83	6978	87.24	0.16	A+	18 750.50 €
145	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	77.07	29.18	30.24	4.60	11.07	-	16.74	9416	322.33	0.38	A	12 357.82 €
146	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	77.07	29.50	33.33	0.00	11.07	-	14.90	9966	312.59	0.38	A	14 181.92 €
147	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	77.07	29.39	30.03	4.64	11.07	0.57	16.92	9390	322.03	0.38	A	13 708.82 €
148	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	77.07	29.21	31.80	0.00	11.07	2.00	15.66	9752	307.13	0.38	A	13 708.82 €
149	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	77.07	10.76	0.00	6.27	11.07	1.83	8.41	8098	114.42	0.14	A+	12 101.82 €
150	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	77.07	11.34	0.00	6.80	11.07	2.33	8.86	7774	118.72	0.15	A+	12 101.82 €
151	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	77.07	21.06	30.24	4.60	11.07	-	24.86	9917	359.15	0.27	A	17 857.46 €
152	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	77.07	22.45	33.33	0.00	11.07	-	21.95	10485	344.56	0.29	A	19 681.56 €
153	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	77.07	21.23	30.03	4.64	11.07	0.57	25.07	9893	259.00	0.28	A	19 208.46 €
154	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	77.07	22.32	31.80	0.00	11.07	2.00	22.56	10262	338.28	0.29	A	19 208.46 €
155	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	77.07	5.75	0.00	6.27	11.07	1.83	13.42	8629	137.14	0.07	A+	17 601.46 €
156	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	77.07	6.15	0.00	6.80	11.07	2.33	14.05	8307	142.24	0.08	A+	17 601.46 €
157	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	100.11	41.89	30.24	4.60	19.47	-	12.43	8653	283.75	0.42	A	13 228.80 €
158	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	100.11	40.37	33.33	0.00	19.47	-	12.43	9191	282.22	0.40	A	15 052.90 €
159	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	100.11	42.27	30.03	4.64	19.47	0.57	12.43	8615	282.52	0.42	A	14 579.80 €
160	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	100.11	40.84	31.80	0.00	19.47	2.00	12.43	8924	272.24	0.41	A	14 579.80 €
161	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	100.11	15.14	0.00	6.27	19.47	1.83	12.43	7379	93.95	0.15	A+	12 972.80 €
162	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	100.11	16.17	0.00	6.80	19.47	2.33	12.43	7064	96.45	0.16	A+	12 972.80 €
163	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	97.16	4										

186	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	129.52	16.17	0.00	4.80	19.47	2.33	12.43	8686	96.45	0.12	A+	15 781.37 €
187	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	126.58	14.48	54.44	4.60	20.70	-	65.26	10855	327.04	0.11	A+	16 910.67 €
188	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	126.58	9.87	59.99	0.00	20.70	-	70.82	11635	332.91	0.08	A+	18 734.77 €
189	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	126.58	15.08	54.05	4.64	20.70	0.57	64.87	10800	325.39	0.12	A+	18 261.67 €
190	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	126.58	11.88	57.24	0.00	20.70	2.00	68.07	11248	320.14	0.09	A+	18 261.67 €
191	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	126.58	17.97	0.00	6.27	20.70	1.83	10.83	8985	81.26	0.14	A+	16 654.67 €
192	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	126.58	19.00	0.00	6.80	20.70	2.33	10.83	8518	83.55	0.15	A+	16 654.67 €
193	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	111.55	49.71	31.20	3.26	42.81	-	27.57	8414	166.05	0.45	A	14 520.21 €
194	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	111.55	50.43	34.39	0.00	42.81	-	26.77	8970	162.12	0.45	A	16 344.31 €
195	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	111.55	49.91	30.98	3.29	42.81	0.57	27.73	8387	165.87	0.45	A	15 871.21 €
196	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	111.55	50.55	32.81	0.00	42.81	2.00	27.08	8734	158.28	0.45	A	15 871.21 €
197	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	111.55	29.61	0.00	4.44	42.81	1.83	19.47	7135	60.84	0.27	A	14 264.21 €
198	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	111.55	30.09	0.00	4.82	42.81	2.33	19.87	6823	63.06	0.27	A	14 264.21 €
199	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	111.55	40.21	31.20	3.26	42.81	-	37.07	9000	188.23	0.36	A	20 019.85 €
200	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	111.55	41.65	34.39	0.00	42.81	-	35.55	9549	182.63	0.37	A	21 843.95 €
201	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	111.55	40.40	30.98	3.29	42.81	0.57	37.24	8974	188.1	0.36	A	21 370.85 €
202	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	111.55	41.70	32.81	0.00	42.81	2.00	35.93	9318	178.96	0.37	A	21 370.85 €
203	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	111.55	22.03	0.00	4.44	42.81	1.83	27.05	7743	78.53	0.20	A+	19 763.85 €
204	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	111.55	22.35	0.00	4.82	42.81	2.33	27.61	7435	81.15	0.20	A+	19 763.85 €
205	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	108.30	41.69	31.20	3.26	19.66	-	12.43	8631	284.64	0.38	A	15 391.19 €
206	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	108.30	41.61	34.39	0.00	19.66	-	12.43	9153	280.16	0.38	A	17 215.29 €
207	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	108.30	42.06	30.98	3.29	19.66	0.57	12.43	8594	283.43	0.39	A	16 742.19 €
208	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	108.30	42.04	32.81	0.00	19.66	2.00	12.43	8893	270.22	0.39	A	16 742.19 €
209	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	108.30	13.49	0.00	4.44	19.66	1.83	12.43	7401	96.70	0.12	A+	15 135.19 €
210	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	108.30	14.37	0.00	4.82	19.66	2.33	12.43	7100	99.52	0.13	A+	15 135.19 €
211	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	105.74	44.85	31.20	3.26	21.21	-	10.83	8383	256.22	0.42	A	16 264.49 €
212	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	105.74	44.77	34.39	0.00	21.21	-	10.83	8905	252.07	0.42	A	18 088.59 €
213	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	105.74	45.22	30.98	3.29	21.21	0.57	10.83	8346	255.10	0.43	A	17 615.49 €
214	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	105.74	45.20	32.81	0.00	21.21	2.00	10.83	8645	242.86	0.43	A	17 615.49 €
215	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	105.74	16.65	0.00	4.44	21.21	1.83	10.83	7153	82.03	0.16	A+	16 008.49 €
216	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	105.74	17.53	0.00	4.82	21.21	2.33	10.83	6852	84.65	0.17	A+	16 008.49 €
217	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	103.86	49.73	30.24	4.60	42.81	-	27.93	8412	166.53	0.48	A	9 615.81 €
218	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	103.86	49.64	33.33	0.00	42.81	-	26.50	8979	162.48	0.48	A	11 439.91 €
219	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	103.86	49.97	30.03	4.64	42.81	0.57	28.07	8383	166.29	0.48	A	10 966.81 €
220	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	103.86	49.82	31.80	0.00	42.81	2.00	26.80	8737	158.57	0.48	A	10 966.81 €
221	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	103.86	30.66	0.00	6.27	42.81	1.83	20.25	7103	60.94	0.30	A	9 359.81 €
222	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	103.86	31.25	0.00	6.80	42.81	2.33	20.69	6781	63.12	0.30	A	9 359.81 €
223	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	103.86	40.11	30.24	4.60	42.81	-	37.55	9006	189.01	0.39	A	15 115.45 €
224	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	103.86	52.33	33.33	0.00	42.81	-	23.81	8863	156.20	0.50	A	16 939.55 €
225	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	103.86	40.33	30.03	4.64	42.81	0.57	37.71	8978	188.82	0.39	A	16 466.45 €
226	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	103.86	41.04	31.80	0.00	42.81	2.00	35.57	9330	179.06	0.40	A	16 466.45 €
227	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	103.86	22.90	0.00	6.27	42.81	1.83	28.00	7720	79.06	0.22	A+	14 859.45 €
228	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	103.86	23.34	0.00	6.80	42.81	2.33	28.60	7401	81.60	0.22	A+	14 859.45 €
229	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	103.86	42.74	30.24	4.60	20.33	-	12.43	8607	274.46	0.41	A	10 486.79 €
230	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	103.86	41.23	33.33	0.00	20.33	-	12.43	9145	272.96	0.40	A	12 310.89 €
231	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	103.86	43.13	30.03	4.64	20.33	0.57	12.43	8569	273.25	0.42	A	11 837.79 €
232	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	103.86	41.70	31.80	0.00	20.33	2.00	12.43	8878	263.26	0.40	A	11 837.79 €
233	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	103.86	15.99	0.00	6.27	20.33	1.83	12.43	7333	89.90	0.15	A+	10 230.79 €
234	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	103.86	17.03	0.00	6.80	20.33	2.33	12.43	7019	92.32	0.16	A+	10 230.79 €
235	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	103.86	47.08	30.24	4.60	23.06	-	10.83	8359	234.98	0.45	A	11 360.09 €
236	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	103.86	45.57	33.33	0.00	23.06	-	10.83	8897	233.66	0.44	A	13 184.19 €
237	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	103.86	47.47	30.03	4.64	23.06	0.57	10.83	8321	233.92	0.46	A	12 711.09 €
238	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	103.86	46.04	31.80	0.00	23.06	2.00	10.83	8630	225.11	0.44	A	12 711.09 €
239	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	103.86	20.33	0.00	6.27	23.06	1.83	10.83	7085	72.28	0.20	A+	11 104.09 €
240	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	103.86	21.37	0.00	6.80	23.06	2.33	10.83	6846	74.42	0.21	A+	11 104.09 €
241	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	133.28	27.84	54.44	4.60	42.81	-	74.02	10267	182.92	0.21	A+	12 424.38 €
242	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	133.28	25.36	59.99	0.00	42.81	-	77.44	11033	180.9	0.19	A+	14 248.48 €
243	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	133.28	28.22	54.05	4.64	42.81	0.57	73.85	10226	182.62	0.21	A+	13 775.38 €
244	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	133.28	26.64	57.24	0.00	42.81	2.00	75.42	10697	176.16	0.20	A+	13 775.38 €
245	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	133.28	29.98	0.00	6.27	42.81	1.83	20.92	8480	62.52	0.22	A+	12 168.38 €
246	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	133.28	30.63	0.00	6.80	42.81	2.33	21.31	8147	64.58	0.23	A+	12 168.38 €
247	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	133.28	18.14	54.44	4.60	42.81	-	83.71	10865	205.55	0.14	A+	17 924.02 €
248	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	133.28	16.52	59.99	0.00	42.81	-	86.28	11628	201.54	0.12	A+	19 748.12 €
249	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	133.28	18.47	54.05	4.64	42.81	0.57	83.59	10827	205.37	0.14	A+	19 275.02 €
250	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	133.28	17.62	57.24	0.00	42.81	2.00	84.43	11305	197.23	0.13	A+	19 275.02 €
251	0.50	75.75	38.32	9.13	8.35	133.28	20.02	0.00	6.27	42.81	1.83	30.89	9095	85.81	0.15	A+	17 668.02 €
252	0.70	75.75	35.01	9.13	9.06	133.28	20.61	0.00	6.80	42.81	2.33	31.33	8655	87.98	0.15	A+	17 668.02 €
253	0.50	75.75	51.17	9.13	6.13	133.28	12.50	54.44	4.60	20.33	-	66.87	10977	350.03	0.09	A+	13 295.36 €
254	0.70	75.75	56.39	9.13	5.42	133.28	7.90	59.99	0.00	20.33	-	72.43	11757	356.24	0.06	A+	15 119.46 €
255	0.50	75.75	50.80	9.13	6.19	133.28	13.11	54.05	4.64	20.33	0.57	66.48	10922	348.28	0.10	A+	14 646.36 €
256	0.70	75.75	53.81	9.13	5.76	133.28	9.90	57.24	0.00	20.3							

[illegible]

[illegible]

228	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Fotovoltaico c/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,7
229	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	Ventilação Natural Rph=0,5
230	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	Ventilação Natural Rph=0,7
231	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	VMC Fluxo Simples Rph=0,5
232	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	VMC Fluxo Simples Rph=0,7
233	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	VMC Duplo Fluxo Rph=0,5
234	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	VMC Duplo Fluxo Rph=0,7
235	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	Ventilação Natural Rph=0,5
236	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	Ventilação Natural Rph=0,7
237	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	VMC Fluxo Simples Rph=0,5
238	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	VMC Fluxo Simples Rph=0,7
239	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	VMC Duplo Fluxo Rph=0,5
240	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Multisplit	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	VMC Duplo Fluxo Rph=0,7
241	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico s/bateria	Ventilação Natural Rph=0,5
242	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico s/bateria	Ventilação Natural Rph=0,7
243	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Fluxo Simples Rph=0,5
244	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Fluxo Simples Rph=0,7
245	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,5
246	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico s/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,7
247	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico c/bateria	Ventilação Natural Rph=0,5
248	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico c/bateria	Ventilação Natural Rph=0,7
249	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico c/bateria	VMC Fluxo Simples Rph=0,5
250	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico c/bateria	VMC Fluxo Simples Rph=0,7
251	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico c/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,5
252	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Fotovoltaico c/bateria	VMC Duplo Fluxo Rph=0,7
253	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	Ventilação Natural Rph=0,5
254	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	Ventilação Natural Rph=0,7
255	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	VMC Fluxo Simples Rph=0,5
256	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	VMC Fluxo Simples Rph=0,7
257	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	VMC Duplo Fluxo Rph=0,5
258	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Tradicional	VMC Duplo Fluxo Rph=0,7
259	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	Ventilação Natural Rph=0,5
260	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	Ventilação Natural Rph=0,7
261	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	VMC Fluxo Simples Rph=0,5
262	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	VMC Fluxo Simples Rph=0,7
263	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	VMC Duplo Fluxo Rph=0,5
264	OK	OK	OK	SIM	Termoacumulador	Caldeira a pellets só Aquecimento	Multisplit	Solar Térmico Termossifão	VMC Duplo Fluxo Rph=0,7