

RODRIGO GODDINI DE OLIVEIRA FERREIRA

**SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE AR CONDICIONADO AR-
ÁGUA EM EDIFÍCIO MULTI-ZONA**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Instituto Superior de Engenharia

2022

RODRIGO GODDINI DE OLIVEIRA FERREIRA

DISSERTAÇÃO

**SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE AR CONDICIONADO AR-
ÁGUA EM EDIFÍCIO MULTI-ZONA**

Mestrado em Engenharia Mecânica -
- Energia, Climatização e Refrigeração

Trabalho efetuado sob a orientação de:
Prof. Doutor Celestino Rodrigues Ruivo



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
Instituto Superior de Engenharia

2022

SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE AR CONDICIONADO AR- ÁGUA EM EDIFÍCIO MULTI-ZONA

Declaração da Autoria do trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito.

Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Rodrigo Goddini de Oliveira Ferreira

© Copyright: Rodrigo Goddini de Oliveira Ferreira

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à toda minha família por terem acreditado em mim e por nunca ter faltado apoio ao longo de todo meu percurso acadêmico, sem eles jamais conseguiria.

Agradeço também ao Professor Doutor Celestino Ruivo pela disponibilidade, atenção, paciência e todo conhecimento transmitido, não apenas no decorrer do trabalho como também em todo o período do mestrado.

Um obrigado a todos os meus amigos que com certeza fazem parte da minha história e que de alguma forma sempre buscaram me incentivar e dar a força necessária para não desistir.

E por último, não menos importante, agradeço também a todos os docentes que fizeram parte desta jornada, com certeza este trabalho tem um pouco de cada mestre.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
2. ESTADO DA ARTE.....	3
2.1. DADOS CLIMÁTICOS.....	3
2.1.1. Zoneamento Climático.....	4
2.2. PSICROMETRIA.....	5
2.3. MÉTODO DE CÁLCULO DAS CARGAS TÉRMICAS.....	8
2.4. CONFORTO TÉRMICO.....	12
2.5. SISTEMAS DE AR CONDICIONADO.....	16
2.5.1. Sistema de ar condicionado ar-água para edifícios multi-zona.....	17
2.5.1.1. Unidade de tratamento de ar novo – UTAN.....	17
2.5.1.2. Unidades terminais: ventiloconvectores.....	19
3. METODOLOGIA ADOTADA NA SIMULAÇÃO.....	25
3.1. DESCRIÇÃO.....	25
3.2. BANCO DE DADOS.....	28
3.1. Dados climáticos.....	28
3.2. Parâmetros interiores.....	35
3.2.2.1. Dias de projeto.....	35
3.2.2.2. Ganhos de calor internos.....	35
3.3. Parâmetros construtivos das envoltentes.....	38
3.4. Transferência de calor através das envoltentes interiores.....	46

3.3. DESEMPENHO DAS BATERIAS DAS UNIDADES TERMINAIS	48
3.4. BALANÇO TÉRMICO DOS ESPAÇOS ANALISADOS.....	49
3.5. CORREÇÃO DA TEMPERATURA INTERIOR	54
4. ESTUDO DE CASO	57
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1. ANÁLISE DOS PARÂMETROS INTERIORES E CONFORTO TÉRMICO – MODO DE ARREFECIMENTO	63
5.2. ANÁLISE DOS PARÂMETROS INTERIORES E CONFORTO TÉRMICO – MODO DE AQUECIMENTO	74
5.3. ANÁLISE DAS BATERIAS DAS UNIDADES TERMINAIS	84
5.4. PARÂMETROS DO AR DAS UNIDADES TERMINAIS.....	85
6. CONCLUSÕES.....	89
7. BIBLIOGRAFIA	91
APÊNDICE	94
APÊNDICE A – ENTRADA DE DADOS DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO (PARTE 1).....	94
APÊNDICE B – ENTRADA DE DADOS DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO (PARTE 2).....	95
APÊNDICE C – SAÍDA DE DADOS DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO (PARTE 1)	96
APÊNDICE D – SAÍDA DE DADOS DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO (PARTE 2)	97
APÊNDICE E – SAÍDA DE DADOS DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO (PARTE 3)	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zonas climáticas do continente nas estações a) inverno e b) verão.	4
Figura 2. PPD como função do PMV.	15
Figura 3. Desenho esquemático de uma Unidade de Tratamento de Ar Novo.	18
Figura 4. Unidades terminais do tipo a) Cassete, b) Conduta e c) Mural.	19
Figura 5. Processo de arrefecimento e desumidificação do ar em uma bateria. Obtida com o auxílio do Psychrometric Diagram Viewer 4.1.0 Daikin.	20
Figura 6. Processo de arrefecimento sensível do ar em uma bateria. Obtida com o auxílio do Psychrometric Diagram Viewer 4.1.0 Daikin.	21
Figura 7. Desenho esquemático de um sistema de ar condicionado ar-água aplicado a um edifício multi-zona.	25
Figura 8. Desenho esquemático dos processos do programa desenvolvido.	26
Figura 9. Variação da amplitude térmica.	29
Figura 10. Início e fim da estação de aquecimento.	30
Figura 11. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município de Bragança.	31
Figura 12. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município de Coimbra.	32
Figura 13. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município de Faro.	32
Figura 14. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município de Lisboa.	33
Figura 15. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município do Porto.	33
Figura 16. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município de Viana do Castelo.	34
Figura 17. Vistas em corte e frontal da porta com alta qualidade térmica.	42
Figura 18. Ganhos e perdas térmicas de uma zona.	49
Figura 19. Variação da carga térmica sensível local em função da temperatura de bolbo seco interior para o modo de aquecimento na cidade de Faro.	50

Figura 20. Variação da carga térmica sensível local em função da temperatura de bolbo seco interior para o modo de arrefecimento na cidade de Faro.	51
Figura 21. Variação da carga térmica sensível local em função da temperatura de bolbo seco interior para o modo de aquecimento na cidade de Bragança.	51
Figura 22. Variação da carga térmica sensível local em função da temperatura de bolbo seco interior para o modo de arrefecimento na cidade de Bragança.	52
Figura 23. Variação da temperatura interior de acordo com γ	55
Figura 24. Desenho esquemático em 3D dos espaços avaliados no estudo de caso.....	57
Figura 25. Desenho esquemático em 2D dos espaços avaliados no estudo de caso.....	57
Figura 26. Cenários avaliados no estudo de caso.	59
Figura 27. Variação do PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de arrefecimento – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.....	64
Figura 28. Variação da humidade relativa interior – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de arrefecimento – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.	65
Figura 29. Variação do PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.	67
Figura 30. Variação da humidade relativa interior – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.	67
Figura 31. Variação do PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.	70
Figura 32. Variação da humidade relativa interior – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.	70
Figura 33. Variação do PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 18 de setembro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.	72

Figura 34. Variação da humidade relativa interior – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 18 de setembro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.....	73
Figura 35. Variação do PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de aquecimento– 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.	75
Figura 36. Variação da humidade relativa interior – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de aquecimento – 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.....	76
Figura 37. Variação do PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.....	78
Figura 38. Variação da humidade relativa interior – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.....	78
Figura 39. Variação do PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.....	80
Figura 40. Variação da humidade relativa interior – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.....	81
Figura 41. Variação do PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 22 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.....	83
Figura 42. Variação da humidade relativa interior – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 22 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Critérios para determinação da zona climática de inverno.....	5
Tabela 2. Critérios para seleção da zona climática de verão.	5
Tabela 3. Equações do método CLTD/CLF para o cálculo das cargas térmicas das envoltentes exteriores.	9
Tabela 4. Equações do método CLTD/CLF para o cálculo das cargas térmicas das envoltentes interiores e ganhos internos.	10
Tabela 5. Cálculo das cargas térmicas referentes a ventilação e infiltração de ar novo.	11
Tabela 6. Escala de sensação térmica.	13
Tabela 7. Valores de PPD e PMV para conforto térmico.....	15
Tabela 8. Localidades presentes no programa de simulação.....	28
Tabela 9. Dias típicos de inverno e verão.....	30
Tabela 10. Períodos das estações de aquecimento e arrefecimento.	34
Tabela 11. Calor sensível e latente libertado por um homem médio em diferentes atividades.	36
Tabela 12. Calor sensível libertado por um homem médio em diferentes atividades com seus respetivos erros.	37
Tabela 13. Variação do calor sensível libertado por um homem médio em diferentes atividades em função da variação da temperatura..	38
Tabela 14. Taxa metabólica em diferentes atividades.	38
Tabela 15. Envoltentes exteriores de acordo com a ASHRAE.	39
Tabela 16. Envoltentes exteriores de acordo com documento do LNEC.	39
Tabela 17. Descrição das envoltentes exteriores transparentes.	39
Tabela 18. Envoltentes interiores de acordo com documento do LNEC.....	40
Tabela 19. Envoltentes interiores - envidraçados.	40
Tabela 20. Coeficientes globais de transferência de calor dos elementos que compõem a parede de divisória transparente.	41
Tabela 21. Envoltentes interiores - portas..	41

Tabela 22. Valores utilizados para calcular o coeficiente global de transferência de calor das portas de madeira.	44
Tabela 23. Valores utilizados para calcular o coeficiente global de transferência de calor das portas envidraçadas.	44
Tabela 24. Envolventes exteriores - coberturas.	44
Tabela 25. Envolventes exteriores - pavimentos.	45
Tabela 26. Coeficiente global de transferência de calor das envolventes consideradas nas estações de aquecimento e arrefecimento.	46
Tabela 27. Valor do coeficiente β de acordo com o nível de ventilação do espaço.	47
Tabela 28. Valor do coeficiente γ de acordo com o a fração de ar novo.	54
Tabela 29. Perfis de ocupação, iluminação e funcionamento dos equipamentos.	59
Tabela 30. Parâmetros construtivos adotados no estudo de caso.	60
Tabela 31. Coeficiente global de transferência de calor das envolventes consideradas no estudo de caso.	61
Tabela 32. Parâmetros do ar exterior para os dias 13 de agosto e 18 de setembro.	61
Tabela 33. Parâmetros do ar exterior para o dia 10 de janeiro e 30 de janeiro.	62
Tabela 34. Amplitude térmica e temperatura de bolbo seco exterior média referentes aos dias seleccionados.	62
Tabela 35. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de arrefecimento – 13 de agosto.	63
Tabela 36. PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de arrefecimento – 13 de agosto.	64
Tabela 37. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto.	66
Tabela 38. PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto.	66
Tabela 39. PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto.	68
Tabela 40. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto.	69

Tabela 41. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 18 de setembro..	71
Tabela 42. PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 18 de setembro.....	71
Tabela 43. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de aquecimento – 10 de janeiro.	74
Tabela 44. PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de aquecimento – 10 de janeiro.	75
Tabela 45. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro.	77
Tabela 46. PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro.	77
Tabela 47. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro	79
Tabela 48. PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro.	80
Tabela 49. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 22 de janeiro	82
Tabela 50. PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 22 de janeiro.	82
Tabela 51. Potências de aquecimento e arrefecimento das baterias de cada unidade terminal para envolventes com alta qualidade térmica.....	84
Tabela 52. Potências de aquecimento e arrefecimento das baterias de cada unidade terminal para envolventes com baixa qualidade térmica.....	84
Tabela 53. Potência de arrefecimento das baterias de cada unidade terminal - 18 de setembro.	85
Tabela 54. Caudal de ar novo e caudal de ar insuflado no modo de arrefecimento.....	86
Tabela 55. Caudal de ar novo e caudal de ar insuflado no modo de aquecimento.....	86
Tabela 56. Parâmetros do ar antes e depois da bateria da unidade terminal no modo de arrefecimento.	87

LISTA DE ABREVIACOES

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

DPinv – Dia de Projeto de Inverno

Dsim – Dia de Simulação

DPver – Dia de Projeto de Verão

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NZEB - *Nearly Zero Energy Buildings*

NUTS - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

UT - Unidade Terminal

UTAN - Unidade de Tratamento de Ar Novo

VAC – Caudal de Ar Constante

VAV – Caudal de Ar Variável

RESUMO

Sistemas de ar condicionado são responsáveis por grande parte do consumo energético de edifícios, sendo assim, busca-se cada vez mais reduzir este consumo sem que o conforto térmico dos ocupantes seja prejudicado. Desta maneira se torna essencial saber o funcionamento destes sistemas em situações diferentes das calculadas para projetos. Este trabalho visa a elaboração de um modelo de análise de desempenho de sistemas de ar condicionado em ambientes sem controlo de humidade. O modelo permite a simulação de diversos cenários em que é possível variar a localidade, parâmetros construtivos, qualidade térmica das envolventes, perfis de ocupação, funcionamento da bateria das unidades terminais, características do ar novo insuflado pela unidade de tratamento de ar novo e também a simulação das zonas térmicas em comportamento livre durante um período em que a unidade terminal está desligada. Para este trabalho foi gerado um banco de dados com informações anuais dos parâmetros do ar exterior para seis localidades diferentes de Portugal continental, bem como um modelo de cálculo das cargas térmicas para sistemas multi-zona, outro para a análise de desempenho das baterias e por fim um que fosse possível analisar os parâmetros do ar interior de determinada zona térmica, assim como o conforto térmico dos ocupantes. O modelo desenvolvido apresentou resultados satisfatórios para as análises realizadas, entretanto o mesmo carece de validação junto à análise comparativa com programas já inseridos no mercado. Uma vez validado, o modelo desenvolvido apresenta-se como uma ótima ferramenta para aplicação em estudos académicos como também no auxílio da seleção de equipamentos.

Palavras-chave: análise de desempenho, sistemas de ar condicionado, conforto térmico.

ABSTRACT

Air conditioning systems are responsible for a big part of buildings' energy consumption, in that way, there is an increasing seek to reduce that consumption without harming occupants' thermal comfort. With that in consideration, it becomes essential to know the functioning of that systems in different scenarios of those that are calculated in projects. This work aims to develop a performance analysis model of air conditioning systems in environments without humidity control. The model allows a simulation of distinct scenarios, where is possible to change region, constructive parameters, environment thermal quality, occupancy profiles, battery function of the fan coils, features of new inflated air by the new air handling unit and also the simulation of thermal zones in free behavior during a period when the terminal units is switched off. For this research it was generated a database with annual information of exterior air parameters for six cities of continental Portugal, as well as a calculation model of thermal loads for multi-zone systems, another for battery performance analysis and finally one that allows to analyze the interior air parameters of a certain thermic zone and occupants' thermal comfort. The engineered model presented satisfactory results for the analyses performed, however it lacks validation of comparative analysis with programs already in the market. Once validated, the project developed will be a great tool to apply in academic studies and it can be a support for equipment selection.

Key-words: performance analysis; air conditioning systems; thermal. comfort.

1. INTRODUÇÃO

Em projetos de sistemas de condicionamento de ar é imprescindível fazer o cálculo das cargas térmicas dos espaços a climatizar bem como das cargas térmicas associadas à ventilação, para depois se poder definir o sistema de climatização e selecionar os seus equipamentos.

Este cálculo é normalmente realizado a partir de valores fixos que são atribuídos à temperatura e à humidade relativa do ar interior. Entretanto, é importante compreender que estes valores podem variar caso não sejam instalados equipamentos responsáveis pelo seu controlo ou quando tais sistemas estão desligados durante parte de um dia ou durante alguns dias tais como feriados ou fins de semana.

Em situações de seleção de equipamento o cálculo das cargas térmicas é comumente realizado apenas para os chamados dias de projeto, ou seja, um dia típico que apresenta condições extremas presentes no referido ambiente, de forma a obter os valores máximos expectáveis.

Porém, há a necessidade de saber a variação da carga térmica do ambiente em diferentes períodos do ano, bem como considerar alguns cenários previsíveis com cargas parciais, sendo assim possível verificar se o sistema selecionado para além de cumprir sua missão está dimensionado corretamente para que não haja excesso no consumo energético.

A importância do correto dimensionamento está no fato de que segundo Chua et al. (2013), cerca de 50% do consumo energético de edifícios é proveniente dos sistemas de climatização. Sendo importante mencionar que na maioria das cidades de países ditos desenvolvidos, o consumo de energia em edifícios residenciais e comerciais representa cerca de 20% a 40% do consumo total de energia, sendo este maior do que o de outros setores, como a indústria e o transporte (Pérez-Lombard et al., 2008).

Esta necessidade de redução do consumo de energia se dá também pelo fato de que a legislação europeia aprovada faz referência à redução do consumo de energia dos edifícios e também à promoção dos edifícios com consumo de energia quase nulo (NZEB – *Nearly Zero Energy Buildings*), conforme demonstrado na Diretiva EU 2010/31.

Este trabalho visa o desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo da carga térmica de espaços interiores e avaliação do desempenho do seu sistema de climatização, a partir de modelos simplificados implementados em Microsoft Excel, auxiliando assim na análise do funcionamento dos sistemas de ar condicionado e na adoção de medidas que resultem em

menores consumos energéticos, sem afetar o conforto térmico das pessoas presentes nos ambientes climatizados.

1.1. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento e aplicação de um modelo para análise do desempenho de sistemas de ar condicionado a estudos de caso, com diferentes configurações, tipos de climas, perfis de ocupação e funcionamento.

Em relação aos objetivos específicos, os mesmos estão listados abaixo:

- Desenvolver um modelo para obtenção dos dados climáticos;
- Implementar um modelo para cálculo de cargas térmicas de edifícios multi-zona;
- Desenvolver um modelo para desempenho do sistema de climatização e do edifício, analisando potência, energia, humidade relativa interior e conforto térmico;
- Realizar análises com o modelo desenvolvido de forma a considerar diversos cenários associados ao funcionamento do edifício e do sistema de climatização em particular.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. DADOS CLIMÁTICOS

Em projetos de sistemas climatização de edifícios é fundamental ter conhecimento das características climáticas do local, uma vez que as variáveis climáticas têm impacto nos ganhos ou perdas de calor do ambiente e consequentemente na seleção adequada dos equipamentos responsáveis pelo condicionamento do ar.

A temperatura do ar exterior é totalmente dependente do local em que o edifício está inserido, apresentando variação ao longo das horas, dias e meses.

Para os cálculos de energia é possível destacar dois tipos de dados meteorológicos, um direcionado às simulações horárias, consistindo em dados de 8760 h, e o outro com dados apenas para os dias de projeto no verão e no inverno.

Com relação às simulações horárias, é possível utilizar *software* voltados para estas análises, tais como, EnergyPlus e TRNSYS, conforme publicado por Aghdaei, et al. (2017) e Rashad, et al. (2022), respetivamente. Em relação aos cálculos nos dias de projeto, pode obter-se facilmente as informações necessárias para as principais cidades do mundo nos manuais da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*).

A Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) disponibiliza um *software* (SCE.CLIMA) implementado em Microsoft Excel que prepara ficheiros climáticos para diversas localidades de Portugal, ajustados para a altitude que se pretenda.

Os dados obtidos pelo SCE.CLIMA podem ser em dois formatos diferentes, EPW ou SCE. O primeiro é formato padrão para *software* de simulação térmica conhecido como “EnergyPlus/ESP-r weather format” e, enquanto o segundo é aplicado aos modelos desenvolvidos pela DGEG.

Os dados obtidos por meio deste *software* são horários para o intervalo de um ano, dentre os parâmetros obtidos, destacam-se os valores de temperatura de bolbo seco do ar, humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar global e difusa celeste, na horizontal, e, radiação solar global recebida em superfícies verticais orientadas nas oito direções, sendo esses dados fornecidos pelo Instituto de Meteorologia, atualmente, Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).

Segundo Aguiar (2013) os dados obtidos a partir do SCE utilizam como base o último período climatológico ao tempo disponível, 1971-2000, em que se utilizou o gerador de séries sintéticas do Projecto ALTENER “Climed”.

Entretanto, ainda de acordo com Aguiar (2013), a utilização dos dados produzidos no contexto do SCE necessita de alguns ajustes, mas apenas quando se considera ser necessário em termos de temperatura.

2.1.1. Zoneamento Climático

A partir do Decreto-Lei n. 85/2009 de 3 de abril de 2009 e pela Lei n.º 21/2010 de 23 de agosto de 2010, Portugal continental é dividido em 30 zonas distintas, sendo estas baseadas na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III.

Para cada região do NUTS III são definidos um conjunto de dados climatológicos característicos, sendo algumas destas variáveis dependentes da altitude. Desta forma, foram definidas três zonas climáticas de inverno e três zonas climáticas de verão, conforme demonstrado nas Figuras 1.a) e 1.b), respetivamente, obtidas a partir do Despacho n.º 15793-F/2013.

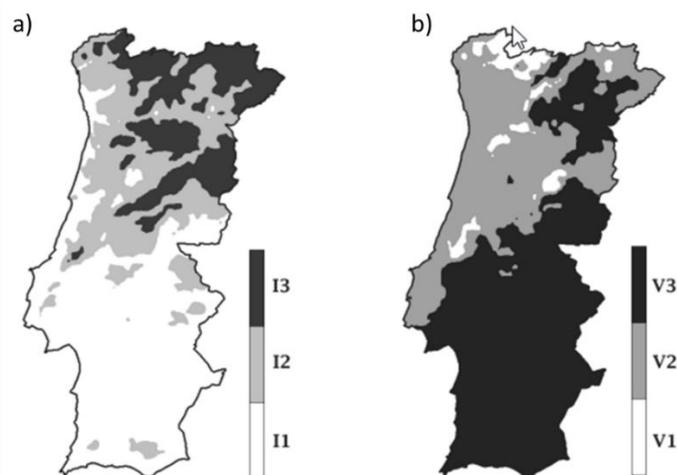


Figura 1. Zonas climáticas do continente nas estações a) inverno e b) verão.

As zonas climáticas de inverno I1, I2 e I3 são definidas a partir do número de graus-dia de aquecimento, considerando uma temperatura base igual a 18°C. Esta variável

caracteriza a severidade do clima durante a estação de aquecimento. Na Tabela 1, estão apresentados os intervalos de determinação destas zonas climáticas a partir dos graus-dia de aquecimento.

Tabela 1. Critérios para determinação da zona climática de inverno. Valores obtidos a partir do Despacho n.º 15793-F/2013.

Critério	Graus-dia de aquecimento °C		
	Inferior a 1300	Entre 1300 e 1800	Superior a 1800
Zona	I1	I2	I3

As zonas climáticas de verão V1, V2 e V3, são definidas a partir do valor da temperatura sazonal média do ar exterior, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Critérios para seleção da zona climática de verão. Valores obtidos a partir do Despacho n.º 15793-F/2013.

Critério	Temperatura sazonal média do ar exterior (°C)		
	Inferior a 20	Entre 20 e 22	Superior a 22
Zona	V1	V2	V3

Os coeficientes de variação com a altitude para cada zona climática nas estações de inverno e verão, assim como os valores de referência para caracterização das mesmas, encontram-se tabelados no Despacho n.º 15793-F/2013.

2.2. PSICROMETRIA

Para qualquer estudo que envolva processos de transferência de calor e massa em equipamentos e dispositivos voltados para o condicionamento do ar, é de fundamental importância ter conhecimento dos parâmetros psicrométricos do ar.

De forma geral, podemos descrever a composição do ar atmosférico em três componentes gerais, ar seco, vapor de água e contaminantes.

Em relação ao ar atmosférico, consideramos como ar húmido o resultado de toda remoção dos contaminantes do mesmo e como ar seco, o ar húmido isento de todo vapor de água. É óbvio que estas definições são apenas idealizações, uma vez que, não há como ser realizada toda essa remoção dos contaminantes e vapor de água do ar atmosférico.

A quantidade de vapor de água no ar húmido apresenta variação de zero até um máximo, sendo este máximo função de sua temperatura e pressão.

Dentre os parâmetros psicrométricos podem ser citadas as seguintes variáveis, temperatura de bolbo seco, conteúdo de humidade, humidade relativa, temperatura de orvalho e temperatura de bolbo húmido, como essenciais para qualquer análise de cargas térmicas de um ambiente climatizado e do respetivo sistema de climatização.

A temperatura de bolbo seco é definida como a temperatura do ar medida por um termómetro comum em que o sensor está seco e as trocas de calor por radiação entre o bolbo e o ambiente envolvente são insignificantes.

O conteúdo de humidade é definido como a razão entre a massa de vapor de água e a massa de ar seco contidas em determinada amostra de ar, enquanto a humidade relativa é a razão entre a fração molar de vapor de água em determinado volume de ar e a fração molar de um volume igual à mesma temperatura e pressão em que o vapor de água está saturado. O conteúdo de humidade pode ser calculado conforme as Equações 1 e 2.

$$W = \frac{m_v}{m_{as}} \quad (1)$$

$$W = 0,62198 \left(\frac{P_v}{P - P_v} \right) \quad (2)$$

Onde:

W: Conteúdo de humidade [kg vapor/kg ar seco];

m_v : Massa de vapor de água [kg vapor];

m_{as} : Massa de ar seco [kg ar seco];

P_v : Pressão de vapor [kPa];

P: Pressão atmosférica [kPa].

Ao analisar o ar saturado, o conteúdo de humidade pode ser calculado de acordo com a Equação 3.

$$W = 0,62198 \left(\frac{P_{vs}}{P - P_{vs}} \right) \quad (3)$$

Em que P_{vs} é a pressão de saturação do vapor de água em kPa na qual pode ser calculada de acordo com a Equação 4.

$$\ln P_{vs} = -\left(\frac{5800,221}{T}\right) + 1,391499 - 4,864024 \cdot 10^2 (T) + 4,176479 \cdot 10^{-5} (T^2) - 1,445209 \cdot 10^{-8} (T^3) + 6,545967 \ln(T) \quad (4)$$

Onde o vapor água existente no ar húmido em condições de saturação está à temperatura do ar T [K].

Já a humidade relativa pode ser calculada de acordo com a Equação 5.

$$\phi = \left(\frac{P_v}{P_{vs}}\right) \Big|_{T,P} \quad (5)$$

A temperatura de orvalho pode ser definida como sendo a temperatura necessária para que ocorra a saturação do vapor de água presente no ar húmido a partir do seu arrefecimento com conteúdo de humidade e pressão constante.

A temperatura de orvalho pode ser calculada para temperaturas na faixa de 0°C a 93°C de acordo com a Equação 6 e para temperaturas inferiores a 0°C conforme a Equação 7.

$$T_d = 6,54 + 14,526(\ln P_v) + 0,7389(\ln P_v)^2 + 0,09486(\ln P_v)^3 + 0,4569(P_v)^{0,1984} \quad (6)$$

$$T_d = 6,09 + 12,608 * (\ln P_v) + 0,4959 * (\ln P_v)^2 \quad (7)$$

E por fim a temperatura de bolbo húmido pode ser definida como a temperatura medida a partir de um termómetro em que o seu bolbo está húmido quando este é colocado em uma corrente de ar e a água do seu pavio evapora.

2.3. MÉTODO DE CÁLCULO DAS CARGAS TÉRMICAS

O método *Cooling Load Temperature Difference (CLTD) / Cooling Load Factor (CLF)* é uma metodologia aplicada para estimar a carga térmica de espaços climatizados para fins de conforto térmico, conforme proposto pela ASHRAE (1997). Segundo a ASHRAE (1997) este método considera o intervalo de tempo relacionado aos ganhos internos por condução através das superfícies exteriores opacas, assim como o atraso de tempo ocasionado pelo armazenamento térmico na conversão de ganhos de calor por radiação para o modo de arrefecimento.

Sua popularização ocorreu devido ao fato do mesmo poder ser calculado manualmente e apresentar resultados consistentes quando os dados disponíveis são usados de forma apropriada.

O processo de aplicação consiste no cálculo das cargas térmicas resultantes dos ganhos de calor externos e internos, os ganhos advindos do exterior são referentes à condução em superfícies opacas e transparentes (paredes, portas, telhados, pisos, tetos e janelas) e insolação em superfícies transparentes, quanto aos ganhos interiores, estes são com relação aos ocupantes, equipamentos que libertam calor e iluminação artificial.

Os cálculos das cargas térmicas são realizados com o uso dos parâmetros CLTD e CLF que determinam este método. O parâmetro CLTD está relacionado com a diferença de temperatura entre o ar interior e exterior, sua finalidade é ajustar os ganhos internos por condução através das envoltentes exteriores opacas e envidraçadas. O parâmetro CLF está relacionado aos ganhos internos não se transformarem automaticamente em carga térmica.

Este método segundo a ASHRAE (1997) apresenta um banco de dados composto por 13 tipos de telhados, considerando com e sem teto falso totalizando 26 opções para esta envoltente e, 41 tipos de paredes que podem ser categorizadas em 7 grupos distintos. Para todos os tipos de telhados e paredes foram tabulados valores de CLTD para as 24h do dia e, com relação às envoltentes verticais foram tabelados valores para as 8 orientações primárias.

Além do banco de dados referente às envoltentes opacas, há também uma listagem para os valores referentes ao *Maximum Solar Heat Gain Factors (SHGF)* que apresenta valores para cada 4° de latitude norte entre 0 e 64° para cada mês e para 16 diferentes direções da bússola e para orientação horizontal.

A Tabela 3 apresenta o conjunto de equações referentes aos cálculos da carga térmica a partir das envoltentes exteriores, enquanto a Tabela 4 apresenta o conjunto de equações referentes às trocas térmicas das envoltentes interiores e ganhos internos.

Tabela 3. Equações do método CLTD/CLF para o cálculo das cargas térmicas das envoltentes exteriores. Informação obtida a partir de ASHRAE (1997).

Ganhos Envoltentes Exteriores	Equação
Condução: paredes, telhados e envidraçados:	
$\dot{Q}=U*A*CLTD_c$	(8)
Onde:	
\dot{Q} : Carga térmica [W];	
U: Coeficiente global de transferência de calor [W/m ² K];	
A: Área da envoltente [m ²];	
CLTD _c : <i>Cooling Load Temperature Difference</i> corrigido [°C].	
CLTD _c : paredes e telhados	
$CLTD_c=[(CLTD+LM)*K+(25.5-T_i)+(\bar{T}_o-29.4)]*f$	(9)
Onde:	
CLTD: <i>Cooling Load Temperature Difference</i> [°C];	
LM: Fator de correção da latitude e do mês [°C];	
K: Fator de correção da cor da superfície exterior [-];	
T _i : Temperatura interior do ambiente condicionado [°C];	
\bar{T}_o : Temperatura média exterior [°C];	
f: fator f =1 ou 0.75 para coberturas com desvão ventilado mecanicamente.	
CLTD _c : envidraçados	
$CLTD_c=[CLTD+(25.5-T_i)+(\bar{T}_o-29.4)]$	(10)
Radiação solar: Envidraçados	
$\dot{Q}=A_{sol/sombra}*SC*SHGF_{m\acute{a}x}*CLF$	(11)
Onde:	
A _{sol/sombra} : Área de sol ou sombra [m ²];	
SC: Coeficiente de sombreamento [-];	
SHGF _{máx} : Ganho máximo de calor verificado através de um vão envidraçado [W/m ²];	
CLF: Fator de carga térmica de arrefecimento envidraçados [-].	
$SC=1.15*FS$	(12)
FS: Fator solar [-].	

Tabela 4. Equações do método CLTD/CLF para o cálculo das cargas térmicas das envolturas interiores e ganhos internos. Informação obtida a partir de ASHRAE (1997).

Envolturas Interiores	
Carga Térmica	Equação
Paredes de divisória, tetos e pisos:	
$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (T_{adj} - T_i)$	(13)
Onde:	
T_{adj} : Temperatura do ambiente adjacente [°C];	
Ocupação	
Carga sensível:	
$\dot{Q}_s = \dot{Q}_{sensível} \cdot n^{\circ}_{pessoas} \cdot CLF$	(14)
Onde:	
$\dot{Q}_{sensível}$: Ganho de calor sensível [W];	
$n^{\circ}_{pessoas}$: Número de pessoas [-];	
CLF: Fator de carga térmica de arrefecimento pessoas [-].	
Carga latente	
$\dot{Q}_l = \dot{Q}_{latente} \cdot n^{\circ}_{pessoas}$	(15)
Onde:	
$\dot{Q}_{latente}$: Calor latente [W].	
Equipamentos: Carga sensível	
$\dot{Q}_s = \dot{Q}_{sensível} \cdot CLF$	(16)
Onde:	
CLF: Fator de carga térmica de arrefecimento equipamentos [-].	
Equipamentos: Carga latente	
$\dot{Q}_l = \dot{Q}_{latente}$	(17)
Iluminação:	
$\dot{Q}_s = \dot{Q}_{elétrica} \cdot CLF$	(18)
Onde:	
$\dot{Q}_{elétrica}$: Potência elétrica de iluminação [W];	
CLF: Fator de carga térmica de arrefecimento iluminação [-].	

Para além das equações apresentadas nas Tabela 3 e 4, há também as cargas térmicas referentes a ventilação e infiltração de ar, sendo estas apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Cálculo das cargas térmicas referentes a ventilação e infiltração de ar novo. Informação obtida a partir de ASHRAE (1997).

Ganhos Ventilação e Infiltração de Ar	Equação
$\dot{Q}_s = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_o - T_i)$	(19)
$\dot{Q}_l = \dot{m} \cdot (W_o - W_i) \cdot (2501 + 1.805 \cdot (T_o + T_i) \cdot 0.5)$	(20)

Onde:

\dot{m} : Caudal mássico do ar [kg/s];

c_p : Calor específico do ar [J/Kg°C];

As equações apresentadas nas Tabelas 3, 4 e 5 constituem este método, entretanto a aplicação do mesmo depende de outras informações importantes conforme apresentado pela ASHRAE (1997), primeiramente é possível mencionar as características do edifício que se deseja analisar, tais como, material do edifício, tamanho, cor e forma da superfície exterior. Outros aspetos importantes a serem considerados são a localidade e orientação das superfícies exteriores.

Entretanto, é importante ressaltar que a temperatura interior de um ambiente adjacente ao que se deseja climatizar, pode não ser uma temperatura controlada. Desta maneira, é necessário obter os valores referentes a essa temperatura hora a hora, seja por meio de medição ou simulações.

Apesar das características construtivas do edifício serem essenciais para esta análise, é necessário também considerar as condições exteriores do dia de projeto obtendo assim os dados climáticos adequados. Definir as condições interiores do dia de projeto também é fundamental para aplicação deste método, sendo preciso definir a temperatura de bolbo seco e a taxa de ventilação.

Uma vez que são contabilizados os ganhos interiores, é indispensável definir o perfil de funcionamento da iluminação e equipamentos, assim como os horários de ocupação. E por fim, são selecionados o dia e as horas referentes ao cálculo das cargas térmicas.

2.4. CONFORTO TÉRMICO

Os resultados da análise do conforto do ambiente interior, segundo D'Ambrosio (2010) são uma combinação de quatro fatores ambientes, sendo estes, conforto térmico, qualidade do ar interior, conforto acústico e conforto visual.

Uma vez que este trabalho visa a análise térmica de sistemas de condicionamento de ar e conseqüentemente do ambiente condicionado, o conforto a ser avaliado neste estudo será o térmico.

Segundo a ANSI/ASHRAE (2010), conforto térmico pode ser definido como a condição de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico. Sendo difícil de satisfazer todos os ocupantes de um espaço, uma vez que há grandes variações, tanto psicologicamente como fisiologicamente, de pessoa para pessoa.

De acordo com a ASHRAE (2017), o conforto ocorre quando, em geral, as temperaturas corporais são mantidas dentro de intervalos estreitos, a humidade da pele é baixa e o esforço fisiológico da regulação é minimizado.

Segundo Inverno et al. (1996), para atividades moderadas, a gama de temperatura para as condições de conforto no inverno e verão, são respetivamente entre 20 e 24°C e, 23 e 26°C. Já com relação a humidade relativa, sua gama de valores é entre 40 e 60%, entretanto, podendo tomar valores entre 30 e 70%.

Conforme a ANSI/ASHRAE (2010), são seis os fatores primários a serem considerados na definição das condições de conforto, sendo estes, taxa metabólica, nível do vestuário, temperatura de bolbo seco do ar (T_{bs}), temperatura radiante (T_r), velocidade do ar (V_{ar}) e humidade relativa (ϕ).

Segundo a ASHRAE (2017), é possível destacar os seguintes parâmetros psicrométricos que podem ser calculados diretamente e que auxiliam no cálculo do calor humano, tais como, temperatura de bolbo húmido (T_{bh}), temperatura de orvalho (T_d), pressão de vapor (P_v) e pressão atmosférica total (P).

Os índices de conforto térmico desenvolvidos por Fanger's, PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), são uma forma de verificar se as condições do ambiente estão dentro da zona de conforto, em que, o PMV é baseado no equilíbrio térmico do corpo humano, sendo este obtido quando a produção interna de

calor é igual a perda de calor para o meio ambiente, enquanto o PPD é estimado a partir do índice PMV.

Os valores de PMV foram estabelecidos a partir da aplicação de questionário para as pessoas presentes no ambiente, em que, foi utilizada a escala de sensação térmica, conforme pode ser vista em ANSI/ASHRAE (2010), demonstrada na Tabela 6.

Tabela 6. Escala de sensação térmica. Dados obtidos a partir de ANSI/ASHRAE (2010).

+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutro
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Entretanto, na fase de projeto de um sistema de climatização o índice PMV pode ser calculado em função da temperatura do ar, temperatura radiante média, taxa metabólica dos ocupantes, resistência térmica do vestuário, velocidade do ar e umidade relativa do ar, conforme demonstrado na ISO 7730 (2005).

O índice PMV pode ser calculado a partir da Equação 21.

$$PMV = (0.303e^{(-0.036 * M)} + 0.028) * L \quad (21)$$

Onde M é a taxa metabólica [W/m²] e L a carga térmica do corpo humano [W/m²]. É possível definir a carga térmica do corpo humano como sendo a diferença entre a produção interna de calor e as perdas de calor para as envolventes. Esta pode ser estimada de acordo com as Equações 22, 23, 24 e 25.

$$L = (M - W) - 3.05 * 10^{-3} * [5733 - 6.99 * (M - W) - P_v] - 0.42 * [(M - W) - 58.15] - 1.7 * 10^{-5} * M * (5867 - P_v) - 0.0014 * M * (34 - T_i) - 3.96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4] - f_{cl} * hc * (T_{cl} - T_i) \quad (22)$$

$$T_{cl} = 35.7 - 0.028 * (M - W) - I_{cl} * \{3.96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (T_{cl} - T_i)\} \quad (23)$$

$$h = \begin{cases} 2.38 * |T_{cl} - T_i|^{0.25} & \text{para } 2.38 * |T_{cl} - T_i|^{0.25} > 12.1 * \sqrt{V_{ar}} \\ 12.1 * \sqrt{V_{ar}} & \text{para } 2.38 * |T_{cl} - T_i|^{0.25} < 12.1 * \sqrt{V_{ar}} \end{cases} \quad (24)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 * I_{cl} & \text{para } I_{cl} \leq 0.078 \left[\frac{m^2k}{W} \right] \\ 1.05 + 0.645 * I_{cl} & \text{para } I_{cl} > 0.078 \left[\frac{m^2k}{W} \right] \end{cases} \quad (25)$$

Onde:

I_{cl} : Resistência térmica do vestuário [m^2K/W];

f_{cl} : Fator de superfície do vestuário [-];

T_i : Temperatura do ar interior [$^{\circ}C$];

\bar{T}_r : Temperatura média radiante [$^{\circ}C$];

V_{ar} : Velocidade do ar [m/s];

P_v : Pressão parcial de vapor de água [Pa];

h_c : Coeficiente de transferência de calor por convecção [W/m^2K];

T_{cl} : Temperatura da superfície do vestuário [$^{\circ}C$].

É importante destacar que 1 met equivale a 58.2 W/m^2 e 1 clo é igual a 0.155 m^2C/W .

Enquanto o PPD pode ser calculado a partir da Equação 26.

$$PPD = 100 - 95e^{(-0.03353 * PMV^4 - 0.2179 * PMV^2)} \quad (26)$$

Porém, é importante ressaltar que este índice pode ser calculado também em função da temperatura operativa, sendo esta variável calculada de forma simplificada, com aceitável precisão, de acordo com a Equação 27.

$$T_{op} = \frac{(T_i + \bar{T}_r)}{2} \quad (27)$$

Onde:

T_{op} : Temperatura operativa [°C];

T_i : Temperatura do ar interior [°C];

\bar{T}_r : Temperatura média radiante das superfícies [°C].

Na Tabela 7 é possível observar os valores aceitáveis para as condições de conforto, segundo a ANSI/ASHRAE (2010).

Tabela 7. Valores de PPD e PMV para conforto térmico. Fonte: ANSI/ASHRAE (2010).

PPD (%)	Gama PMV
< 10	-0.5 < PMV < 0.5

A Figura 2 representa graficamente a relação entre o PPD e o PMV, conforme mencionado pela ANSI/ASHRAE (2010).

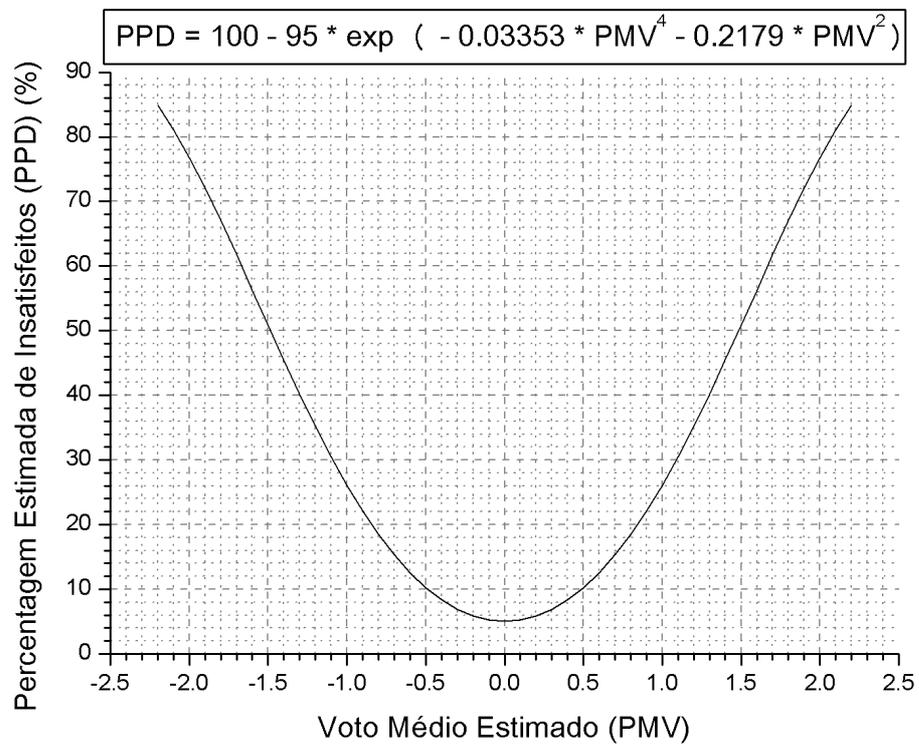


Figura 2. PPD como função do PMV.

Diversos são os estudos realizados nesta área, a partir de pesquisas de campo, de forma a testar a validade do PMV, Pereira et al. (2014) verificou em seu estudo a não preferência pela neutralidade térmica e aceitação de temperaturas mais elevadas das que são apresentadas nas normas.

Enquanto Ruivo et al. (2021) em sua pesquisa demonstraram que o cálculo destes parâmetros a partir das equações normatizadas, necessitam de correção quando a pressão atmosférica do local é diferente do valor de 1 atm.

Entretanto, é necessário ressaltar a importância do cálculo desses índices, uma vez que o conforto térmico está relacionado ao desempenho das pessoas em suas referidas atividades, conforme verificado por Lipczynska et al. (2018).

2.5. SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

Os sistemas de ar condicionado são combinações de vários equipamentos. Como exemplo destes equipamentos temos, baterias de arrefecimento e/ou desumidificação, baterias de aquecimento, ventiladores, condutas de ar, humidificadores, filtros de ar, dentre outros equipamentos de controlo e acessórios.

Diversos são os tipos de sistemas de ar condicionado existentes, em que estes podem ser classificados quanto ao tipo de fluido que utilizam ou então quanto a forma de ventilação. Em relação ao fluido utilizado, este pode ser água, ar, fluido frigorífero ou até mesmo a utilização de dois fluidos distintos. Enquanto em relação ao tipo de ventilação, esta pode ser mecânica, natural ou ambas opções.

Desta forma, é responsabilidade do engenheiro considerar os vários tipos de equipamentos existentes e recomendar uma ou mais opções adequadas para o projeto e que irão suprir as necessidades do mesmo.

Uma vez que este trabalho visa analisar a variação das condições interiores do ar em ambientes sem controlo de humidade, tem-se como aplicação os sistemas ar-água, uma vez que, segundo Inverno et al. (1996) e ASHRAE (1996), este tipo de sistema tem como aplicação zonas que não necessitam de um rigoroso controlo de humidade relativa, de maneira que seja possível suprir todas as necessidades de arrefecimento, aquecimento ou de ambas em simultâneo.

Este tipo de sistema pode apresentar várias formas, sendo as mais utilizadas em sistemas multi-zona as configurações com dois ou quatro tubos. A diferença de funcionamento destas está no fato de que a de dois tubos pode operar apenas com um dos modos de funcionamento, aquecimento com água quente e arrefecimento com água fria, enquanto a de quatro tubos pode operar com os dois modos em simultâneo.

2.5.1. Sistema de ar condicionado ar-água para edifícios multi-zona

Zona térmica pode ser definida como sendo uma sala, conjunto de salas, um piso, parte de um edifício ou até mesmo todo o edifício, desde que a temperatura interior do ar seja controlada por um único aparelho de controlo, logo, um único termostato. Desta forma, o fator de calor sensível em ambientes pertencentes à mesma zona é o mesmo.

Em edifícios com diferentes zonas térmicas, é comum que se opte por um sistema central capaz de atender as necessidades de todos os espaços. Dentre estes é possível destacar os sistemas com caudal de ar constante (VAC) e caudal de ar variável (VAV).

Em sistemas VAC a temperatura do ar insuflado em cada zona térmica varia de acordo com a temperatura da bateria da unidade de tratamento de ar ou da unidade terminal, sendo esta bateria regulada a partir do caudal de água gelada que passa pela mesma ou então pela temperatura de entrada da água na bateria, enquanto nos sistemas VAV a temperatura do ar insuflado varia de acordo com o caudal de ar insuflado.

2.5.1.1. Unidade de tratamento de ar novo – UTAN

Uma Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN) é um sistema de renovação de ar que recolhe ar do exterior e o insere na zona térmica, sendo este ar distribuído a partir das condutas de distribuição até as zonas que se desejam climatizar.

Este equipamento é constituído de vários módulos, de forma simplificada é possível citar, módulo de entrada de ar novo, de pré filtragem, de aquecimento/arrefecimento, de ventilação, de filtragem e atenuador de ruído. Entretanto, o número de módulos que constituem este sistema e as suas dimensões são variáveis que dependem da particularidade de cada projeto.

A UTAN pode ser configurada de modo que esta apenas realize a renovação de ar do espaço, desta forma, a mesma não apresenta em sua configuração baterias de aquecimento ou arrefecimento, possui apenas filtros e ventiladores, sendo assim, o ar insuflado apresenta as mesmas características do ar exterior.

Entretanto, caso seja necessário que o ar insuflado apresente valores de temperatura e humidade diferentes do ar exterior, esta já vai apresentar uma configuração mais complexa.

Na Figura 3, é possível observar um desenho esquemático de uma UTAN.

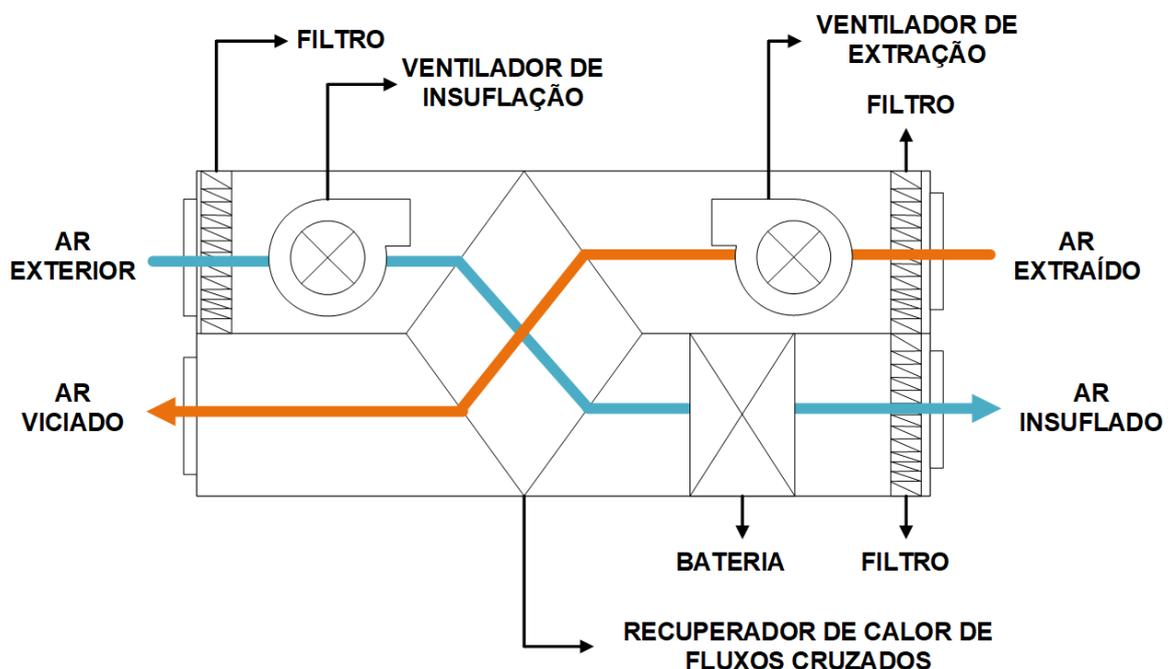


Figura 3. Desenho esquemático de uma Unidade de Tratamento de Ar Novo.

Conforme apresentado na Figura 3, os ventiladores são responsáveis por insuflar o ar novo e extrair o ar viciado, a presença de um recuperador de fluxos cruzados (ou outro modelo) realiza o pré-aquecimento ou arrefecimento do ar novo aproveitando a energia do ar extraído, os filtros têm função de reter as sujidades e outros microrganismos que podem afetar a saúde dos ocupantes e, por fim a bateria é responsável pelo aquecimento/arrefecimento do ar novo.

É importante mencionar que as UTAN podem também estar associadas a unidades terminais, em que estas são responsáveis pelo aquecimento ou arrefecimento da zona térmica. Vale ressaltar também que a UTAN apresentada na Figura 3 é apenas um

desenho esquemático em que o modelo apresentado difere do analisado neste trabalho, uma vez que a UTAN a ser analisada não possui recuperador de calor.

2.5.1.2. Unidades terminais: ventiloconvectores

Ventiloconvectores são equipamentos de ar condicionado amplamente utilizados em edifícios que possuam sistemas centrais de aquecimento/arrefecimento e que um controlo local é requerido.

Estes sistemas utilizam água com temperatura controlada e tratada em seu sistema de climatização, o ventilador direciona o ar através do sistema de filtragem e depois para as serpentinas de onde posteriormente é insuflado até o ambiente.

Diferentes tipos de ventiloconvectores podem ser encontrados no mercado, tais como, unidades cassete, unidades de chão, unidades do tipo chão/teto, unidades de condutas e unidades murais, em que, cabe ao projetista selecionar qual unidade se adequa mais ao projeto.

Ventiloconvectores podem também ser a dois ou quatro tubos. Desta forma, instalações com sistemas a dois tubos não permitem um funcionamento simultâneo dos modos de arrefecimento e aquecimento, enquanto nas instalações a quatro tubos, esta simultaneidade é permitida.

Na Figura 4, é possível observar alguns modelos de ventiloconvectores.

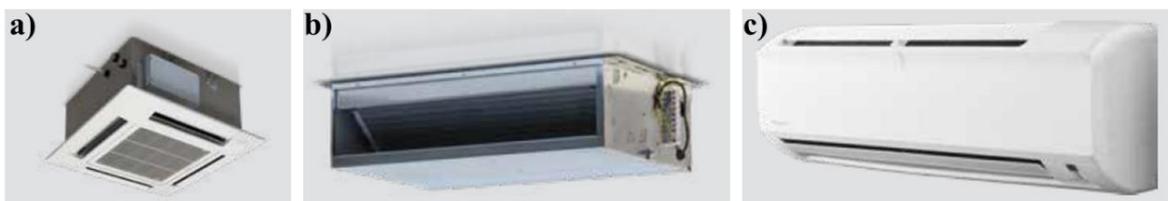


Figura 4. Unidades terminais do tipo a) Cassete, b) Conduto e c) Mural.

A temperatura ambiente é controlada a partir de um controlador de temperatura, em que este será responsável pela abertura e fecho da válvula motorizada do ventiloconvector, de forma a definir o caudal de água adequado a passar pela bateria. Sendo assim, quando o valor de temperatura ambiente definido é alcançado, a válvula é fechada por completo.

Diversos são os estudos que analisam a bateria de água destas unidades e o caudal de ar, de modo a obter menores consumos energéticos sem interferir no conforto térmico. Edwards et al. (2021) em seu estudo analisaram diferentes modelos de controlo do ventilador e da válvula motorizada do ventiloconvetor, de modo a prever sua capacidade e consumo total, em que obtiveram valores significantes de economia no consumo de energia, 34% no modo de aquecimento e 43% no modo de arrefecimento.

Uma maneira simplificada de analisar o desempenho destas baterias, pode ser de acordo com o conceito do fator de contato, conforme apresentado por Ruivo (2005) e explicado a seguir.

A bateria de água pode assumir duas condições, seca ou molhada/parcialmente molhada. Quando a bateria está seca, ocorre apenas a troca de calor sensível por meio dos processos de arrefecimento ou aquecimento, já quando a mesma se encontra molhada/parcialmente molhada, além da troca de calor sensível, ocorre também a troca de calor latente, ocorrendo assim o processo de desumidificação do ar.

Na Figura 5 é possível observar as evoluções real (linha curva) e idealizada (linha reta) associadas aos processos de arrefecimento e desumidificação que ocorrem na bateria caso esta esteja molhada. Enquanto na Figura 6 está demonstrada a evolução quando o processo de arrefecimento é apenas sensível, ou seja, quando a bateria está seca.

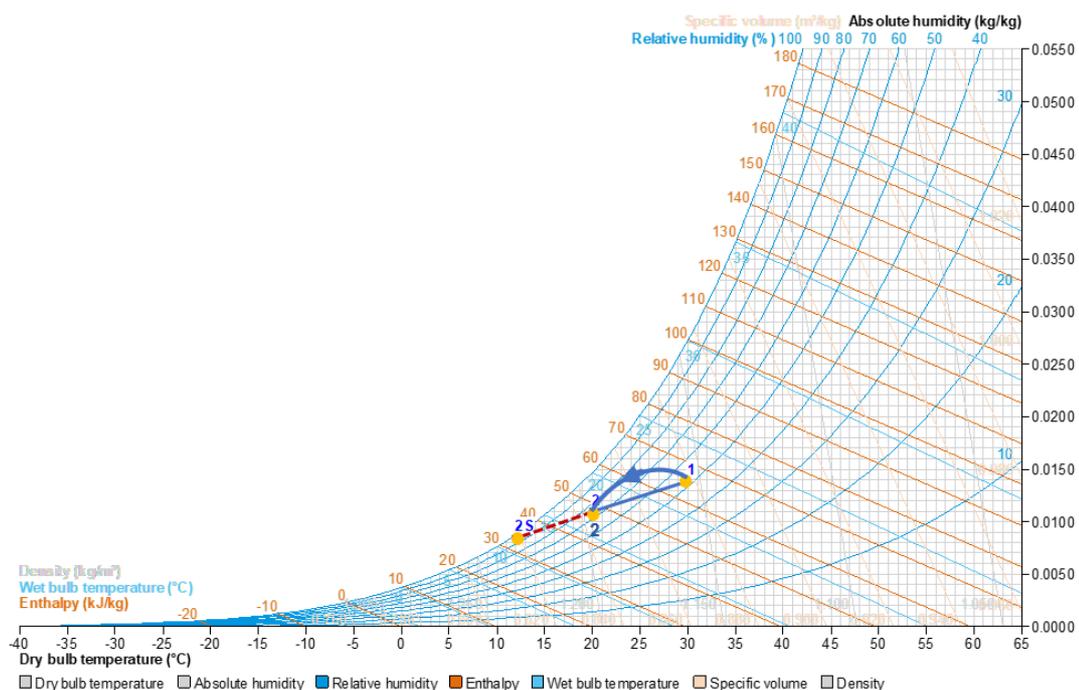


Figura 5. Processo de arrefecimento e desumidificação do ar em uma bateria. Obtida com o auxílio do Psychrometric Diagram Viewer 4.1.0 Daikin.

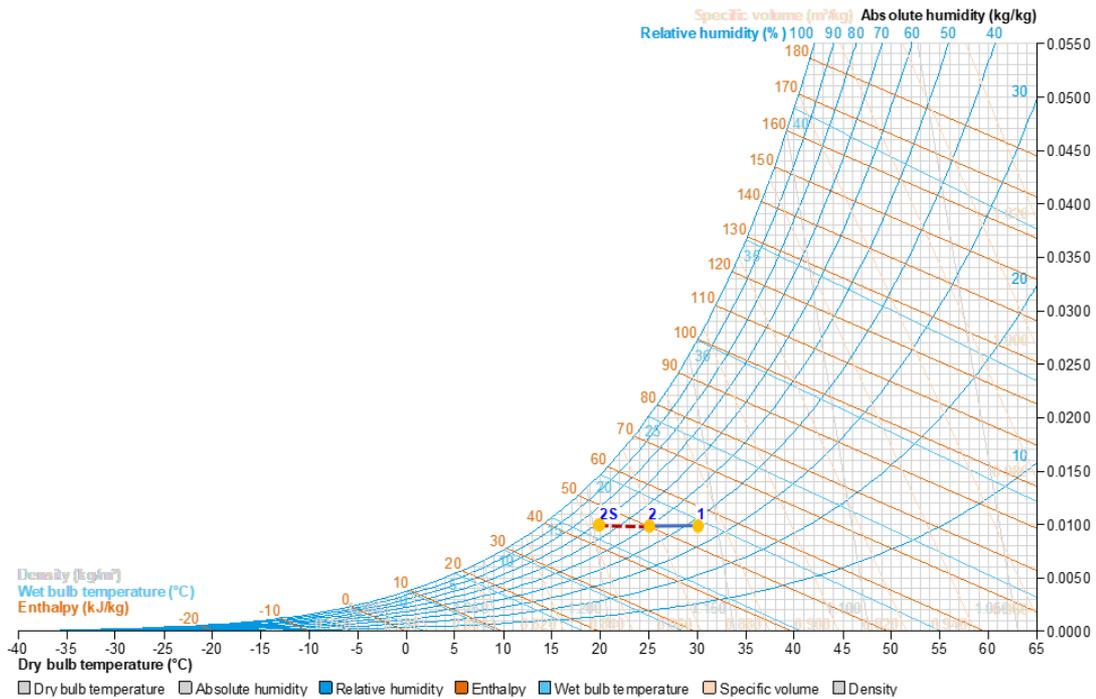


Figura 6. Processo de arrefecimento sensível do ar em uma bateria. Obtida com o auxílio do Psychrometric Diagram Viewer 4.1.0 Daikin.

Os pontos 2 e 2s representam os estados de saída real e ideal respetivamente, sendo esta diferença um indicador da eficiência do processo de transferência que ocorre na bateria.

A troca térmica que ocorre na bateria é dependente do fator de contato ou então do fator de bypass, em que estes se relacionam conforme demonstrado na Equação 28.

$$FC=1-BF \tag{28}$$

Entretanto o fator de contato pode ser estimado a partir de informações dos fabricantes. A avaliação do mesmo pode ser realizada a partir da Equação 29.

$$FC= \frac{T_1-T_2}{T_1-T_{2s}} \tag{29}$$

Onde:

T₁: Temperatura de entrada do ar [°C];

T₂: Temperatura de saída do ar [°C];

T_{2s}: Temperatura média da superfície da bateria [°C].

Em relação a temperatura de saída do ar, esta pode ser calculada conforme apresentado na Equação 30.

$$T_2 = T_1 - \frac{\dot{Q}_{s,b}}{\dot{m}_a * c_p} \quad (30)$$

Onde:

$\dot{Q}_{s,b}$: Componente sensível da potência de arrefecimento da bateria [W];

\dot{m}_a : Caudal mássico de ar seco que atravessa a bateria [kg/s];

c_p : calor específico a pressão constante do ar húmido referido à unidade de massa de ar seco [J/kg°C].

Outra variável importante é a temperatura de insuflação de ar, sendo esta calculada conforme demonstrado na Equação 31.

$$T_2 = T_1 - \frac{\dot{Q}_{s,z}}{(\dot{m}_{a,ins} * c_p)} \quad (31)$$

Onde:

T_2 : temperatura do ar de insuflação [°C];

T_1 : temperatura do ar interior [°C];

$\dot{Q}_{s,z}$: carga térmica sensível da zona [W];

$\dot{m}_{a,ins}$: caudal mássico do ar de insuflação [kg/s];

c_p : calor específico do ar [J/kg.°C].

Uma vez definido o fator de contato da bateria e a temperatura que o ar é insuflado, é possível obter a temperatura média da bateria, sendo esta calculada de acordo a Equação 32.

$$T_{2s} = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{FC} \quad (32)$$

Onde:

T_{2s} : temperatura média da bateria [$^{\circ}\text{C}$];

FC: fator de contato da bateria [-].

Caso a bateria esteja molhada ou parcialmente molhada, aplica-se o sistema de Equações 33 e se esta estiver seca aplica-se o sistema de Equações 34.

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{m}_{\text{vap},z} = \dot{m}_{a,2} * (w_i - w_2) \\ \dot{m}_{\text{cond},b} = \dot{m}_{a,2} * (w_1 - w_2) \\ w_1 = \left(\frac{\dot{m}_{a,v}}{\dot{m}_{a,2}} \right) * w_v + \left(\frac{1 - \dot{m}_{a,v}}{\dot{m}_{a,2}} \right) * w_i \\ \text{FC} = \frac{w_1 - w_2}{w_1 - w_{2s}} \\ w_{2s} = f(T_{2s}, \phi = 1) \end{array} \right. \quad (33)$$

Onde:

$\dot{m}_{\text{vap},z}$: Caudal de vapor associado à carga latente da zona [kg/s];

$\dot{m}_{a,v}$: Caudal de ar novo da zona [kg/s];

$\dot{m}_{\text{cond},b}$: Taxa de desumidificação que ocorre na bateria [kg/s];

w_{2s} : Conteúdo de humidade do ar saturado à temperatura T_{2s} [kg/kg];

w_i : Conteúdo de humidade do ar interior [kg/kg];

w_2 : Conteúdo de humidade do ar de insuflação [kg/kg];

w_1 : Conteúdo de humidade do ar misturado à entrada da bateria [kg/kg];

w_v : Conteúdo de humidade do ar novo à entrada de cada zona [kg/kg].

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{m}_{\text{vap},z} = \dot{m}_{a,2} * (w_i - w_2) \\ w_i = w_1 \\ w_1 = \left(\frac{\dot{m}_{a,v}}{\dot{m}_{a,2}} \right) * w_v + \left(\frac{1 - \dot{m}_{a,v}}{\dot{m}_{a,2}} \right) * w_i \end{array} \right. \quad (34)$$

O conteúdo de humidade dos espaços interiores caso a bateria esteja molhada/parcialmente molhada ou seca, pode ser calculado respetivamente a partir das Equações 35 e 36.

$$w_i = \frac{\left(\frac{\dot{m}_{ger}}{\dot{m}_{a,2}}\right) + \left(\frac{\dot{m}_{a,v}}{\dot{m}_{a,2}}\right) * w_v * (1-FC) + (FC * w_{2s})}{\left(\frac{\dot{m}_{a,v}}{\dot{m}_{a,2}}\right) + FC * \left(1 - \left(\frac{\dot{m}_{a,v}}{\dot{m}_{a,2}}\right)\right)} \quad (35)$$

$$w_i = w_v + \frac{\dot{m}_{ger}}{\dot{m}_{a,2} * \left(\frac{\dot{m}_{a,v}}{\dot{m}_{a,2}}\right)} \quad (36)$$

Onde:

\dot{m}_{ger} : Caudal mássico de vapor gerado no espaço interior [kg/s];

É importante ressaltar que nesta análise é desconsiderada qualquer tipo de inércia do sistema de condicionamento de ar, de maneira a assumir que o desempenho da bateria em cada instante é igual ao do regime permanente ditado pelas condições instantâneas de entrada do ar e do fluido da bateria.

3. METODOLOGIA ADOTADA NA SIMULAÇÃO

3.1. DESCRIÇÃO

O programa de simulação desenvolvido neste trabalho permite analisar o desempenho de um sistema de climatização de um conjunto de várias salas em que cada uma dispõe de uma unidade terminal para controlo da respetiva temperatura interior. A ventilação é processada através de uma Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN).

O sistema mostrado a título de exemplo na Figura 6 é um sistema do tipo misto ar-água. Cada Unidade Terminal (UT) é um ventiloconvetor com respetivo ventilador e bateria, que no modo de aquecimento controla a temperatura mínima da zona e no modo de arrefecimento controla a temperatura máxima da mesma zona.

Cada UT recebe um escoamento de ar novo e um escoamento de ar de retorno proveniente da sala, sendo a mistura destes dois escoamentos condicionada na bateria de modo a obter a temperatura de insuflação desejada.

No caso da Figura 7 a produção de água quente e a produção de água fria são efetuadas num único sistema operando com base no ciclo frigorífico de compressão mecânica, isto é, como bomba de calor no modo aquecimento e frigorífico no modo de arrefecimento.

O sistema hidráulico em causa trata-se de um sistema a dois tubos, ou seja, não permite que uma sala esteja a operar no modo arrefecimento e outra no modo de aquecimento.

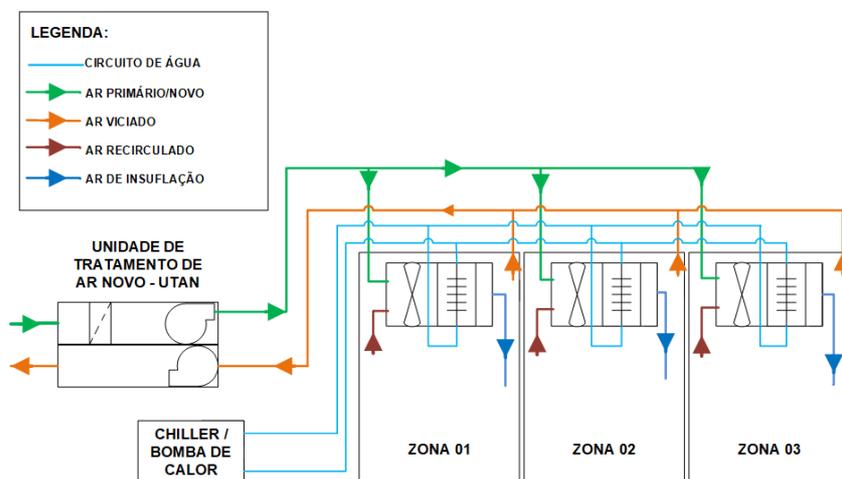


Figura 7. Desenho esquemático de um sistema de ar condicionado ar-água aplicado a um edifício multi-zona.

O modelo desenvolvido é capaz de analisar diversos cenários distintos, em que se pode apresentar variações quanto ao local, dia, número de espaços analisados, qualidade térmica das envolventes, perfis de ocupação, iluminação e equipamentos e, funcionamento das unidades terminais, dentre outras variações. Entretanto, é importante ressaltar que o sistema de ar condicionado a ser estudado neste trabalho é conforme apresentado na Figura 7, porém para um número diferente de ambientes, conforme demonstrado posteriormente na Secção 5.

Desta maneira, para gerar o caso de estudo, cabe ao utilizador do programa preencher os seguintes grupos de dados de entrada: parâmetros gerais, condições de projeto, parâmetros interiores, parâmetros construtivos das envolventes, ganhos internos máximos, unidade de tratamento de ar novo e unidades terminais.

Na Figura 8 está apresentado um desenho esquemático que demonstra a forma de funcionamento do programa desenvolvido.

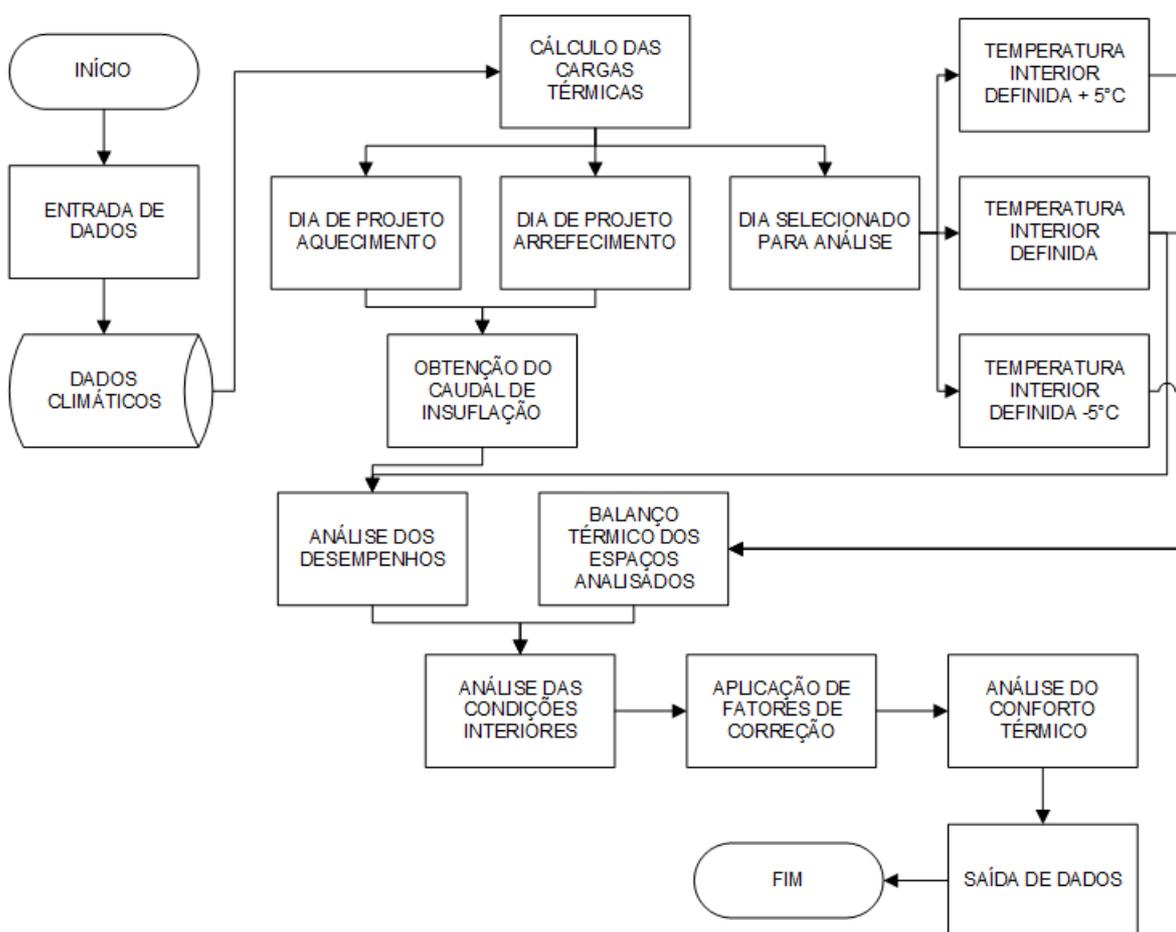


Figura 8. Desenho esquemático dos processos do programa desenvolvido.

Conforme apresentado na Figura 8, após preenchimento dos dados de entrada, o programa utiliza seu banco de dados para obter informações referentes aos dias de projeto de arrefecimento, aquecimento e também para o dia de análise.

Em seguida calculam-se as cargas térmicas com o método CLTD/CLF para cada um destes três dias. Porém, as cargas térmicas no dia selecionado para análise são calculadas para três situações distintas, primeiro ao considerar a temperatura interior que o sistema de climatização deve controlar, designada temperatura definida, segundo para uma temperatura inferior em 5°C à temperatura definida e terceiro para uma temperatura superior em 5°C à temperatura definida.

A partir dos resultados das cargas térmicas calcula-se o caudal de insuflação com as condições do dia de projeto de verão (DP_{ver}) e o caudal de insuflação de ar para o dia de projeto de inverno (DP_{inv}). O caudal de insuflação associado a cada unidade terminal (UT) é o máximo dos valores encontrados.

Com as cargas térmicas calculadas para o dia de simulação (D_{sim}), em que a temperatura interior é definida pelo utilizador do programa, analisa-se o desempenho de cada UT. Nesta análise determina-se a fração de ar novo no escoamento de ar insuflado, a temperatura do ar na entrada da bateria, a temperatura média da superfície da bateria, a temperatura de insuflação do ar e verifica-se se a superfície da bateria contactada pelo ar está molhada ou seca.

O balanço térmico dos espaços analisados é realizado a partir dos valores de carga térmica sensível obtidos após aplicação do método CLTD/CLF para o D_{sim}, a considerar a temperatura interior definida e também as temperaturas inferior e superior à temperatura interior definida em 5°C.

A análise das condições interiores é realizada após análise dos desempenhos e balanço térmico dos espaços analisados, obtendo assim os valores de temperatura interior, quando o sistema de ar condicionado está desligado.

A última análise a ser realizada é a do conforto térmico, em que são calculados os índices PMV e PPD. Por fim os principais valores obtidos a partir de cada análise são apresentados em formato de tabelas e gráficos, de maneira que o utilizador do programa possa analisar os dados gerados.

3.2. BANCO DE DADOS

3.1. Dados climáticos

Os dados climáticos foram obtidos a partir do Despacho 15793-F/2013 com o auxílio do SCE.CLIMA para as cidades apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Localidades presentes no programa de simulação. Dados obtidos a partir do SCE.Clima e Despacho 15793-F/2013.

Cidade	NUTS III	Altitude [m]	Latitude [°]	Zona Climática Verão	Zona Climática Inverno
Bragança	Alto Trás-os-Montes	680	41,6	V2	I3
Coimbra	Baixo Mondego	67	40,3	V2	I2
Faro	Algarve	145	37,3	V3	I1
Lisboa	Grande Lisboa	109	38,9	V2	I1
Porto	Grande Porto	94	41,3	V2	I1
Viana do Castelo	Minho-Lima	268	41,9	V2	I2

Os critérios de seleção das cidades foram as Zonas Climáticas de Verão e Inverno. Em que, as cidades foram selecionadas de forma a obter um banco de dados para as seis zonas climáticas possíveis.

Entretanto, conforme observado na Tabela 8, não houve cidade selecionada para a Zona Climática de Verão V1. Isto se dá pelo fato de que os dados gerados pelo SCE.Clima serem processados apenas em função da NUTS III, ou seja, todos os municípios de determinada NUTS III apresentam as mesmas zonas climáticas, por mais que isto não seja totalmente verdadeiro.

Como forma de exemplo, Viana do Castelo que de acordo com o Decreto-Lei n.º 80/2006 é classificada como V1, no SCE.Clima por esta ser analisada a partir de sua NUTS III possui classificação V2.

Com o auxílio do SCE.Clima foram obtidos valores horários a considerar o período de um ano para as seguintes variáveis, temperatura de bolbo seco, temperatura de bolbo húmido e humidade relativa referentes aos municípios apresentados anteriormente.

Os dias típicos (verão/inverno com céu limpo/nublado) foram definidos conforme mencionado por Meza e Varas (2000), em que, ao aplicar o modelo Bristow-Campbell associa-se o dia de céu limpo ao dia que apresenta elevada amplitude térmica.

Desta forma, ao considerar os meses de agosto e janeiro como os meses de verão e inverno respetivamente, foram definidos os dias de céu limpo como aqueles que apresentaram maior valor de amplitude térmica e os de céu nublado aqueles que apresentaram menor resultado.

Na Figura 9, é possível a variação da amplitude térmica para os meses de janeiro e agosto das cidades definidas.

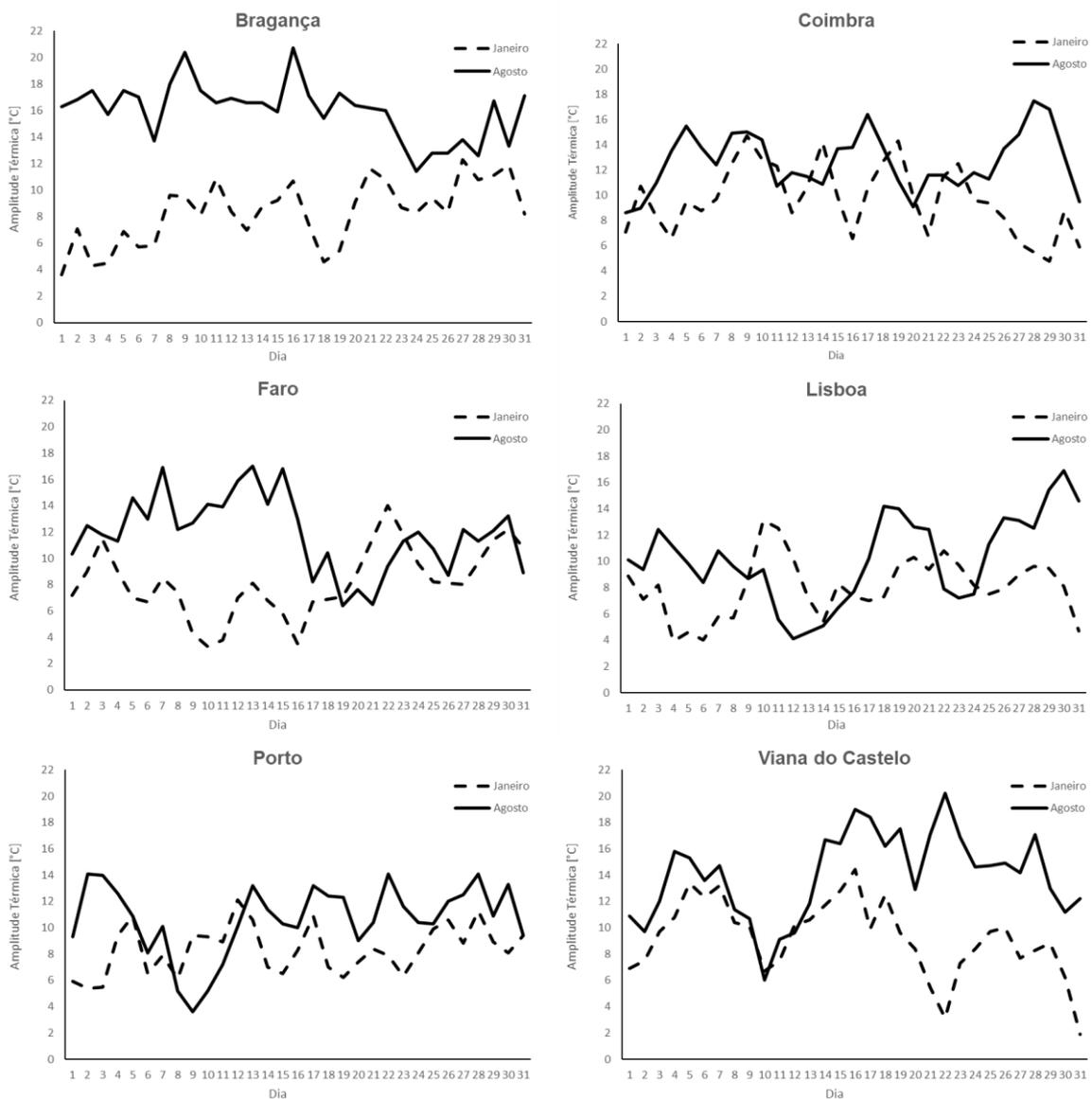


Figura 9. Variação da amplitude térmica.

Na Tabela 9 é possível verificar quais foram os dias típicos definidos.

Tabela 9. Dias típicos de inverno e verão. Dados obtidos e calculados pelo autor a partir do SCE.Clima.

Cidade	Dias Típicos			
	Verão Limpo	Verão Nublado	Inverno Limpo	Inverno Nublado
Bragança	16/08	24/08	27/01	01/01
Coimbra	28/08	01/08	09/01	29/01
Faro	13/08	19/08	22/01	10/01
Lisboa	30/08	12/08	10/01	04/01
Porto	22/08	09/08	12/01	02/01
Viana do Castelo	22/08	10/08	16/01	31/01

Em relação aos dias de projeto de arrefecimento e aquecimento, estes foram considerados como sendo os dias típicos de céu limpo e céu nublado no inverno, respetivamente.

De forma que fosse possível determinar o modo de funcionamento do sistema de ar condicionado, foi necessário definir as estações de aquecimento e arrefecimento. Desta maneira, de acordo com o Despacho n.º 15793-F/2013 a duração da estação de aquecimento tem início no primeiro decêndio posterior a 1 de outubro momento no qual a temperatura média diária é inferior a 15°C e tem término no último decêndio anterior a 31 de maio em que a referida temperatura não é superior a 15°C.

A Figura 10 apresenta um desenho esquemático da duração das estações de aquecimento e arrefecimento para o período de um ano.

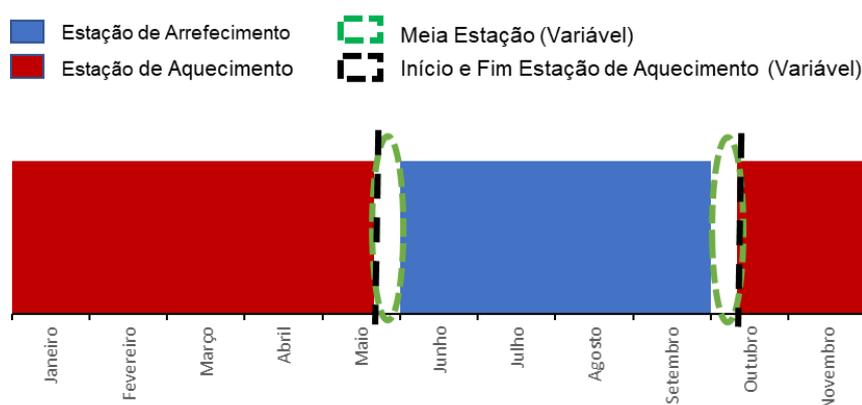


Figura 10. Início e fim da estação de aquecimento.

Conforme observado na Figura 10 o período de meia estação é variável, ou seja, os dias de início e fim da estação de aquecimento variam para cada município. A duração desta estação foi definida a partir dos dados obtidos do SCE.Clima, enquanto o início e fim foram definidos a partir da análise da temperatura média diária.

Nas Figuras 11, 12, 13, 14, 15 e 15 estão apresentadas as variações da temperatura média diária no decorrer do ano para as cidades analisadas.

	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	
1º Dec.	1	6,63	4,60	10,46	10,18	12,99	16,28	22,58	24,38	21,42	16,66	9,88	7,18
	2	3,86	4,45	10,97	8,74	14,28	16,30	22,35	24,41	21,68	17,43	9,79	8,90
	3	3,08	4,35	8,90	7,14	14,97	16,73	22,07	24,56	20,62	18,50	8,33	9,27
	4	3,55	5,65	8,20	8,57	15,87	16,02	22,15	24,43	21,48	17,11	9,20	7,68
	5	4,92	4,32	9,00	7,77	15,08	15,81	23,98	24,82	20,48	16,25	8,87	8,15
	6	5,98	5,68	10,08	8,20	13,31	16,57	25,61	24,29	21,57	15,70	7,64	8,18
	7	6,36	6,50	9,20	8,84	12,54	18,08	27,08	23,55	23,10	16,97	8,78	6,88
	8	7,48	4,91	9,05	10,89	11,61	17,83	26,44	24,90	22,17	16,32	10,27	6,63
	9	5,94	6,17	7,78	10,79	10,23	18,80	25,90	25,68	21,09	16,26	10,50	7,74
	10	5,57	6,55	6,50	10,71	10,90	20,10	25,80	25,37	20,60	16,97	10,39	5,77
2º Dec.	11	5,88	4,79	8,52	12,57	12,80	19,03	24,38	23,98	21,44	17,75	10,29	6,86
	12	6,38	6,05	7,65	14,53	14,00	17,75	23,10	24,13	21,00	16,75	9,93	6,15
	13	4,66	8,10	9,50	14,15	14,47	17,18	23,86	22,48	21,64	17,28	9,13	4,89
	14	4,38	6,29	8,12	14,59	14,68	17,63	24,53	22,63	20,92	16,29	8,95	5,49
	15	2,94	6,65	8,07	12,94	12,97	18,85	23,98	23,74	20,88	16,08	10,95	5,03
	16	3,35	6,92	7,80	13,10	13,17	19,95	23,68	23,64	19,93	14,13	10,73	5,44
	17	3,67	8,88	9,40	12,38	13,57	19,86	23,86	22,55	20,28	13,30	9,97	5,20
	18	3,68	9,48	9,93	10,89	15,40	20,66	23,90	21,70	20,83	12,63	8,22	4,95
	19	4,12	10,47	9,55	10,45	16,85	22,45	23,43	20,63	20,90	13,57	8,99	5,94
	20	4,95	11,43	10,65	8,54	17,94	23,58	21,90	22,50	19,98	13,33	9,22	7,14
3º Dec.	21	5,64	9,63	10,22	10,32	17,03	25,31	21,77	23,13	19,96	12,88	9,37	8,00
	22	5,58	8,10	8,74	12,09	16,61	24,88	23,00	22,70	18,08	12,84	8,24	9,05
	23	7,17	9,39	8,90	12,22	15,35	23,15	21,59	21,09	19,47	11,55	9,56	7,43
	24	7,41	8,73	10,48	12,98	16,08	21,25	19,72	21,28	18,38	11,56	10,69	7,61
	25	6,99	7,72	10,30	12,80	17,72	21,94	20,54	20,28	16,67	9,97	9,95	6,45
	26	6,83	6,13	9,13	13,02	17,70	21,92	22,11	21,63	16,99	9,55	11,40	4,50
	27	7,70	7,77	10,63	12,58	16,09	21,95	22,14	22,62	18,53	11,55	10,37	5,32
	28	5,92	9,18	11,99	13,58	17,34	22,54	22,34	23,01	16,80	12,05	8,37	6,62
	29	5,99		13,74	13,66	17,52	22,24	23,23	22,06	15,20	12,10	8,08	6,67
	30	7,73		11,71	13,58	18,94	20,73	21,90	21,58	16,28	13,28	7,55	7,45
	31	7,30		12,05		18,06		21,69	22,82		11,75		6,67

Figura 11. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município de Bragança.

	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	
1º Dec.	1	8,69	11,18	10,55	14,25	15,40	17,63	21,15	23,71	21,38	19,65	16,29	10,29
	2	9,58	10,87	12,52	15,24	14,13	19,36	21,62	24,30	22,08	17,85	14,52	10,24
	3	8,73	10,32	13,48	16,02	14,10	20,95	22,47	23,29	20,50	17,24	13,48	12,15
	4	7,00	8,50	13,15	15,87	16,02	19,20	23,84	22,42	21,22	18,22	12,00	11,06
	5	7,65	8,79	13,69	14,06	15,85	19,38	22,79	22,61	22,25	17,60	12,40	13,00
	6	8,28	8,36	13,28	13,94	16,70	17,74	22,90	21,59	20,84	18,45	12,25	13,26
	7	6,74	7,37	13,45	14,79	18,64	17,56	23,04	21,30	20,13	20,09	12,30	12,45
	8	8,62	7,21	14,61	13,73	18,70	16,77	24,83	22,57	20,85	20,15	12,90	11,04
	9	10,04	8,95	12,60	15,65	17,65	17,53	22,95	24,04	19,12	19,27	14,08	11,78
	10	8,86	10,09	13,43	14,48	18,23	17,99	24,75	22,32	20,90	18,74	12,45	11,12
2º Dec.	11	8,17	11,67	13,75	13,69	16,65	18,63	23,07	21,65	20,20	17,20	13,15	11,05
	12	8,53	10,83	12,00	13,13	15,33	18,80	22,36	22,19	20,57	16,03	13,17	13,05
	13	8,38	11,18	10,07	12,30	14,29	19,54	21,07	23,15	18,80	14,96	12,51	12,88
	14	8,99	12,10	11,72	13,29	12,68	20,34	20,80	22,15	19,30	13,51	11,89	12,65
	15	9,15	12,53	12,45	12,55	14,61	18,94	19,76	21,77	18,79	14,47	11,50	12,02
	16	10,97	12,54	12,20	12,79	16,28	19,80	19,13	21,92	19,19	12,60	11,25	11,73
	17	12,35	14,46	12,60	13,21	14,43	20,11	20,33	21,34	19,44	14,05	11,64	12,58
	18	11,02	13,36	11,30	12,36	14,04	20,21	19,11	22,44	18,83	15,59	12,92	11,16
	19	11,85	12,95	10,85	12,13	14,89	19,52	19,83	21,70	20,14	16,79	12,48	9,85
	20	12,13	11,34	11,80	12,52	15,18	19,69	21,35	22,13	20,44	15,98	14,18	10,49
3º Dec.	21	10,23	10,22	12,01	12,34	16,24	21,11	20,47	22,20	19,85	16,31	13,73	10,20
	22	9,33	11,03	10,96	13,29	15,10	21,70	21,10	20,88	21,05	16,16	13,77	9,14
	23	10,53	11,50	12,14	14,62	16,00	21,44	21,25	19,39	19,35	17,02	13,45	9,73
	24	10,12	11,73	11,69	14,13	17,47	20,32	22,81	17,96	19,12	17,68	12,99	8,28
	25	10,52	11,22	11,95	13,34	18,22	19,20	23,59	19,26	20,31	16,82	14,24	7,10
	26	12,31	10,54	12,65	14,05	18,28	20,62	23,80	20,63	19,70	17,40	12,86	8,90
	27	12,08	11,05	12,94	15,88	18,13	21,48	21,90	22,00	20,48	16,31	11,40	9,58
	28	10,25	12,85	14,41	15,60	18,37	22,75	21,32	21,18	20,64	17,68	12,50	11,20
	29	8,51		13,80	14,34	18,32	22,01	21,69	20,16	21,62	16,07	13,21	10,76
	30	10,32		12,83	15,08	17,82	20,36	20,29	19,65	22,97	15,24	14,64	8,76
	31	9,86		14,17		19,10		20,45	19,83		14,58		8,67

Figura 12. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município de Coimbra.

	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	
1º Dec.	1	9,48	13,10	12,78	14,02	17,85	19,35	22,58	25,35	25,31	21,47	15,38	14,67
	2	11,80	13,25	13,09	13,85	16,60	19,44	21,00	25,56	25,34	20,77	17,27	16,24
	3	12,41	11,45	11,94	12,09	14,87	18,91	21,07	25,90	23,88	21,86	16,88	14,74
	4	10,70	11,62	10,67	11,54	15,96	19,06	19,67	27,28	23,99	20,59	17,16	13,90
	5	10,90	11,67	12,67	12,26	15,10	19,92	21,38	25,90	24,72	21,39	16,53	15,75
	6	10,46	13,02	11,53	12,60	16,76	20,18	21,53	25,19	23,23	20,85	15,18	16,35
	7	11,23	12,36	12,67	14,38	17,47	19,70	22,05	25,66	22,95	21,23	14,57	16,76
	8	12,10	12,87	12,52	15,63	19,17	19,63	23,70	26,41	21,17	22,33	14,95	15,38
	9	10,37	11,35	13,87	16,15	19,62	20,05	23,15	24,86	21,83	20,83	15,56	15,06
	10	11,08	11,08	13,02	16,87	19,55	21,85	23,98	24,63	23,14	20,60	15,03	15,34
2º Dec.	11	12,01	11,20	12,68	17,03	18,55	20,13	23,40	22,96	23,00	20,00	15,01	14,30
	12	12,42	10,63	13,60	15,33	18,81	19,57	22,72	24,05	22,28	18,36	15,42	13,73
	13	12,72	12,21	13,07	16,07	19,70	20,89	23,90	23,87	23,03	18,31	13,66	12,99
	14	11,00	11,95	14,53	15,07	18,32	22,75	25,45	22,63	21,75	17,40	14,35	11,46
	15	10,94	10,73	14,49	15,57	17,79	23,73	25,99	22,70	20,12	17,29	16,25	10,45
	16	12,06	11,67	12,61	16,99	17,23	24,88	26,45	22,12	19,29	16,15	14,75	11,25
	17	10,48	11,41	14,25	16,90	18,61	24,60	26,33	22,99	19,81	16,88	16,40	11,82
	18	8,65	10,04	14,37	15,77	18,33	23,20	26,92	22,53	19,43	17,30	17,19	11,48
	19	8,74	9,95	14,59	16,95	17,06	22,91	27,30	21,92	18,84	16,33	17,08	12,53
	20	9,43	10,65	13,96	16,31	15,35	22,80	25,99	22,51	19,06	16,15	16,54	12,59
3º Dec.	21	10,46	10,59	14,28	15,65	16,30	21,35	25,34	23,88	19,99	15,12	15,18	13,90
	22	11,29	11,13	14,28	15,32	16,95	20,40	24,56	22,83	21,25	16,43	13,83	11,98
	23	11,40	12,90	13,61	17,00	17,25	21,96	26,02	24,06	22,58	18,26	14,77	10,11
	24	11,80	13,13	14,58	15,05	17,07	20,43	24,59	24,51	22,50	17,25	14,30	9,38
	25	11,31	13,43	14,04	14,00	15,98	21,46	26,10	24,27	24,37	18,94	12,67	7,53
	26	12,23	14,07	14,85	15,14	15,42	20,35	25,33	24,03	25,97	17,28	13,76	9,43
	27	11,68	14,97	13,91	14,85	17,05	21,01	24,12	24,90	25,73	17,26	13,43	11,05
	28	11,23	16,18	15,06	14,03	17,67	22,32	25,32	26,72	24,41	17,70	12,04	9,52
	29	13,21		16,63	14,47	18,67	23,75	24,55	26,05	23,85	17,50	11,73	10,80
	30	13,50		16,73	16,44	19,29	23,74	26,40	25,50	23,23	17,32	11,60	9,16
	31	12,03		16,55		21,04		27,60	23,85		18,11		9,42

Figura 13. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município de Faro.

	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	
1º Dec.	1	10,56	10,75	11,68	13,69	15,30	18,74	22,58	21,36	21,49	19,76	15,76	11,35
	2	10,75	9,18	11,45	13,80	13,88	19,70	21,54	20,90	21,78	19,41	14,65	9,65
	3	10,25	8,80	12,92	11,86	13,74	19,65	22,78	22,20	21,01	19,15	14,70	9,41
	4	10,34	9,89	11,59	13,63	15,08	21,12	21,88	23,25	22,54	19,09	14,23	7,95
	5	11,30	9,39	11,55	12,60	14,70	20,19	21,00	23,86	23,62	20,67	15,73	9,56
	6	9,78	10,48	12,62	12,63	15,48	19,71	21,63	24,28	23,00	19,25	15,45	10,35
	7	9,91	12,45	12,96	12,51	16,33	20,45	20,93	25,19	22,10	17,64	16,13	11,86
	8	10,56	11,12	13,79	10,80	15,70	20,51	21,21	25,40	22,04	18,30	15,44	13,64
	9	10,35	12,68	13,52	12,68	15,83	20,05	21,25	25,28	20,77	18,43	15,20	12,14
	10	12,35	12,68	15,40	14,53	17,06	20,16	22,98	24,51	21,02	19,21	15,00	13,18
2º Dec.	11	12,11	11,82	15,00	16,12	18,63	18,83	21,18	22,91	20,58	19,74	14,83	14,63
	12	12,02	12,05	13,29	14,97	20,10	18,43	19,48	22,75	20,00	19,82	16,23	15,99
	13	10,49	11,48	12,47	14,35	19,04	18,90	20,93	23,41	18,65	19,21	16,90	15,21
	14	9,49	10,48	11,95	15,95	18,65	20,71	20,44	22,25	19,73	20,13	14,98	14,45
	15	9,25	12,01	12,98	16,53	17,24	20,68	22,04	22,05	21,40	19,58	13,31	14,73
	16	9,09	10,56	13,54	17,53	16,35	20,70	22,30	21,48	21,45	18,00	15,15	13,14
	17	9,70	9,53	13,85	15,80	17,68	19,59	23,34	20,23	21,96	16,90	15,65	12,63
	18	8,89	11,15	14,20	16,94	18,09	18,98	23,35	20,28	21,01	17,53	13,78	11,57
	19	10,39	11,71	12,94	15,85	16,91	18,67	22,33	20,11	20,91	17,67	13,45	11,62
	20	9,73	11,43	13,73	14,30	15,60	19,80	23,75	21,97	21,54	17,61	12,31	12,73
3º Dec.	21	11,02	12,86	12,90	15,15	15,97	21,35	22,42	22,40	21,86	16,66	12,60	12,84
	22	12,60	13,11	12,21	15,04	16,16	21,98	22,15	20,93	21,53	16,32	10,75	12,98
	23	11,56	14,86	12,54	14,57	16,31	21,18	22,98	21,02	23,12	15,80	11,70	11,83
	24	12,42	15,05	14,24	14,12	16,56	20,40	23,17	21,13	22,40	14,82	12,10	11,55
	25	11,42	14,53	14,33	14,64	16,27	20,25	24,60	21,33	21,69	15,58	11,67	11,17
	26	11,03	14,49	16,27	15,04	17,40	20,80	25,40	22,22	20,48	16,44	12,95	11,60
	27	13,00	13,35	15,42	14,77	17,85	20,80	24,26	24,07	21,68	16,73	14,56	10,05
	28	12,99	12,19	14,83	16,10	18,64	19,46	24,61	23,00	21,40	15,30	15,48	11,28
	29	11,15		14,64	16,45	17,21	20,38	23,68	23,59	21,45	16,67	14,00	11,95
	30	10,73		14,40	16,93	18,67	20,61	23,74	23,63	22,28	17,79	14,32	10,45
	31	9,45		15,03		18,30		21,91	24,20		17,90		10,47

Figura 14. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município de Lisboa.

	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	
1º Dec.	1	7,68	11,27	13,05	15,13	14,49	18,77	20,36	21,26	21,58	19,18	14,20	13,78
	2	10,60	10,43	14,43	14,35	13,17	17,51	21,38	20,16	21,53	19,15	13,76	12,68
	3	11,48	9,40	13,79	13,33	11,79	17,90	22,35	19,93	20,93	18,92	12,10	14,10
	4	11,22	9,81	12,28	12,33	11,45	18,19	22,97	19,88	21,00	19,22	12,20	14,20
	5	9,25	9,40	10,45	12,08	13,20	19,98	21,68	20,28	19,37	18,13	13,14	13,31
	6	10,13	11,41	12,30	12,25	14,86	19,75	22,11	18,66	20,96	18,75	14,70	11,45
	7	9,75	10,07	12,72	13,94	13,44	21,17	21,60	18,74	19,81	20,56	13,35	12,29
	8	9,05	8,33	11,19	12,53	13,48	20,11	23,04	20,10	20,45	19,88	12,99	11,30
	9	9,33	9,63	11,08	11,83	13,58	19,25	21,53	20,98	22,20	18,86	14,53	11,54
	10	10,22	9,36	10,27	11,38	15,54	19,31	20,23	20,60	23,83	17,98	14,40	12,93
2º Dec.	11	10,38	11,00	11,38	10,72	17,44	19,50	19,88	21,40	22,89	16,00	15,25	13,03
	12	8,75	10,22	11,95	11,05	17,95	19,73	19,98	20,66	21,45	16,52	13,34	12,07
	13	10,23	12,02	11,56	12,83	16,46	19,12	19,49	21,98	21,38	17,60	12,83	11,50
	14	8,41	10,87	12,13	13,86	15,30	20,81	19,03	21,57	21,63	18,33	13,54	12,10
	15	10,31	9,48	12,44	12,14	15,53	21,00	20,60	20,29	22,47	17,90	15,00	13,50
	16	10,25	9,48	12,34	12,93	14,65	20,57	21,53	21,71	20,65	17,61	13,22	12,69
	17	11,77	9,66	13,75	12,67	15,80	20,99	22,06	22,30	20,30	16,98	14,32	10,72
	18	12,30	11,59	15,25	14,43	16,40	19,69	21,80	23,70	18,45	15,75	15,25	9,35
	19	12,91	10,78	14,79	14,70	16,68	19,79	23,28	22,65	18,68	17,33	13,94	9,89
	20	12,10	11,10	15,05	15,63	18,61	18,96	23,39	23,80	19,35	15,39	15,35	11,04
3º Dec.	21	11,12	11,68	14,18	14,53	17,52	18,88	24,20	25,34	18,63	16,19	13,89	10,23
	22	10,25	12,16	12,85	14,12	18,55	20,18	23,40	25,65	19,75	14,27	13,17	10,72
	23	10,16	11,08	13,80	15,75	20,35	20,50	22,40	24,84	18,69	14,97	13,53	9,22
	24	9,66	12,98	13,35	15,58	18,95	22,06	23,48	23,60	18,97	15,10	13,11	9,71
	25	10,43	14,80	12,82	17,35	18,83	21,91	22,54	21,75	17,30	14,31	12,96	9,32
	26	8,59	13,35	13,03	17,10	17,55	20,63	22,05	21,20	17,47	14,64	11,61	10,90
	27	9,71	12,76	12,96	16,26	18,89	18,80	21,99	21,53	18,60	15,82	11,68	10,25
	28	8,06	13,50	12,46	14,91	18,02	18,97	22,86	21,36	19,84	14,60	11,24	10,28
	29	8,57		12,70	15,95	19,10	17,41	22,13	21,64	21,15	13,62	11,65	8,35
	30	7,25		11,07	15,61	17,62	19,10	22,21	22,05	19,38	14,65	10,37	8,51
	31	6,93		10,61		17,04		21,80	22,08		16,05		7,69

Figura 15. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município do Porto.

	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	
1º Dec.	1	7,92	8,96	12,27	11,12	14,53	15,78	21,99	21,38	21,12	16,11	13,87	9,92
	2	9,45	10,38	12,15	11,38	13,42	17,01	22,71	22,65	21,15	15,85	12,71	9,63
	3	11,05	10,03	12,02	13,08	13,60	17,03	22,00	24,17	20,07	16,32	13,66	9,61
	4	10,10	9,82	11,33	15,01	12,74	17,27	20,10	22,28	20,88	16,77	12,68	9,31
	5	8,88	8,60	11,28	14,77	13,63	17,39	21,08	21,83	22,33	17,20	12,70	9,04
	6	9,43	8,75	11,53	13,71	14,68	15,91	20,17	20,90	22,71	17,90	11,86	10,56
	7	8,49	10,70	10,35	12,46	15,35	17,03	19,85	19,25	21,36	18,30	10,15	11,18
	8	10,38	12,01	10,70	13,38	14,74	17,24	21,25	19,53	19,55	17,36	9,80	10,45
	9	11,88	10,62	10,61	12,32	13,43	16,38	21,08	21,05	19,36	15,43	11,70	11,84
	10	9,93	10,16	10,64	13,72	11,55	15,12	20,58	20,47	18,74	15,00	11,40	12,97
2º Dec.	11	11,27	8,84	9,46	14,18	10,23	16,80	20,33	22,19	16,80	13,47	12,38	11,34
	12	9,76	6,90	9,91	13,57	11,49	15,86	21,38	20,31	17,84	14,46	14,20	9,80
	13	8,00	6,61	9,28	13,18	12,64	17,65	22,93	20,77	19,03	16,23	13,10	10,55
	14	8,77	6,67	8,49	12,88	14,27	17,89	23,75	22,46	17,59	16,67	12,00	8,94
	15	8,60	7,83	9,53	11,28	14,13	17,93	23,24	23,04	19,23	15,65	11,99	9,77
	16	7,90	7,80	10,75	11,03	15,95	18,52	22,17	23,78	19,90	14,57	10,70	8,63
	17	9,31	9,65	11,34	9,73	17,08	20,15	21,30	23,49	20,45	15,40	10,25	8,99
	18	8,92	10,70	13,14	10,80	16,35	20,63	20,37	22,78	19,10	16,18	10,13	7,69
	19	10,13	12,18	12,50	11,95	17,48	22,07	20,70	21,55	19,67	16,85	11,24	7,40
	20	8,90	11,02	11,82	11,22	17,82	20,80	20,13	21,55	19,55	15,97	10,73	9,08
3º Dec.	21	7,35	9,09	12,17	10,79	16,64	20,57	21,85	21,79	19,16	14,30	10,27	10,03
	22	5,85	8,49	10,55	10,03	17,77	22,16	21,28	21,01	18,95	12,70	9,31	9,10
	23	5,94	8,55	10,60	10,30	17,29	21,19	20,76	21,95	19,81	14,46	8,83	8,75
	24	5,30	9,40	11,02	11,00	16,40	21,92	22,61	21,71	19,96	14,35	9,65	7,64
	25	5,85	9,45	13,03	11,97	16,36	22,42	22,96	21,21	18,18	14,85	11,04	6,42
	26	7,00	9,55	11,53	13,64	17,45	20,89	23,18	21,42	19,58	13,65	11,13	7,65
	27	5,93	7,70	11,98	13,33	17,18	21,29	24,10	20,11	18,57	12,92	11,96	7,38
	28	5,52	8,29	12,75	13,56	15,53	22,15	23,96	21,19	17,05	11,85	11,25	8,70
	29	4,60		10,84	14,51	16,58	23,10	23,65	20,48	17,46	13,25	9,74	9,06
	30	6,10		10,99	14,03	14,85	23,93	22,13	22,01	18,16	13,56	10,09	8,78
	31	6,54		9,24		16,81		20,68	21,70		12,57		7,92

Figura 16. Variação anual da temperatura média de bolbo seco para o município de Viana do Castelo.

Desta forma, na Tabela 10 estão apresentados os períodos referentes às estações de aquecimento e arrefecimento.

Tabela 10. Períodos das estações de aquecimento e arrefecimento. Dados obtidos pelo autor.

Cidade	Estação de Aquecimento	Estação de Arrefecimento
Bragança	16/10 - 17/05	18/05 - 15/10
Coimbra	02/11 - 26/04	27/04 - 01/11
Faro	22/11 - 07/04	08/04 - 21/11
Lisboa	18/11 - 10/04	11/04 - 17/11
Porto	22/10 - 09/05	10/05 - 19/10
Viana do Castelo	21/10 - 15/05	16/05 - 20/10

Importante ressaltar que a definição das estações de arrefecimento e aquecimento limita o funcionamento do programa para que o sistema de ar condicionado funcione apenas no modo de sua respetiva estação, não sendo possível por exemplo simular uma situação de aquecimento nos dias referentes a estação de arrefecimento.

3.2. Parâmetros interiores

3.2.2.1. Dias de projeto

Os dias de projeto foram definidos de acordo com a definição dos dias típicos de verão e inverno. O valor da temperatura de bolbo seco do ar interior já está definido no banco de dados do programa, sendo este igual à 20°C na estação de aquecimento e 25°C na de arrefecimento, a escolha destes valores estão de acordo com Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) sendo estes adequados para as condições de conforto térmico e também responsáveis pelo menor consumo de energia dos equipamentos nas respetivas funções.

Vale ressaltar que a temperatura interior está relacionada à temperatura operativa sendo esta um indicador do conforto térmico, de acordo com Kristiansen et al. (2022) valores entre 19°C e 26°C estão no intervalo aceitável para esta temperatura.

Enquanto Matias e Santos (2013) em sua análise definem intervalos para temperatura de conforto sendo estes entre 15°C e 25°C para situações de inverno quando a temperatura exterior está entre 6°C e 14°C, e 21°C e 31°C para situações de verão quando a temperatura exterior está entre 20°C e 29°C.

Outro ponto importante a ser mencionado são os perfis de ocupação, iluminação e funcionamento dos equipamentos para os espaços objetos de estudo. Em relação ao dia de projeto de arrefecimento, estes perfis são passíveis de definição enquanto para o dia de projeto de aquecimento estes perfis são considerados nulos, uma vez que, os ganhos internos de calor são desprezados nesta análise.

3.2.2.2. Ganhos de calor internos

De forma a simplificar a execução do programa, não foram criados banco de dados para os ganhos internos referentes aos equipamentos e iluminação, sendo necessário ter conhecimento da potência de iluminação instalada e dos ganhos dos equipamentos, sejam estes sensíveis e/ou latentes.

Entretanto, em relação às atividades realizadas pelos ocupantes, foram definidas cinco atividades distintas conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11. Calor sensível e latente libertado por um homem médio em diferentes atividades.

Atividade	Calor Total [W]	$T_i = 20^\circ\text{C}$		$T_i = 22^\circ\text{C}$		$T_i = 24^\circ\text{C}$		$T_i = 26^\circ\text{C}$	
		Sensível [W]	Latente [W]						
Sentado	115	90	25	80	35	75	40	65	50
Trabalho de Escritório	140	100	40	90	50	80	60	70	70
De Pé	150	105	45	95	55	82	68	72	78
Trabalho Fabril Leve	235	130	105	115	120	100	135	80	155
Dança	265	140	125	125	140	105	160	90	175

Conforme observado na Tabela 11 os valores do calor sensível e latente variam em função da temperatura de bolbo seco do ar interior. Desta maneira, para que fosse possível obter valores para além dos tabelados, foram desenvolvidas pelo autor duas relações sob a forma de um polinómio, utilizando o conceito de equações do segundo e terceiro grau em que foram relacionadas as seguintes variáveis, calor sensível, temperatura de bolbo seco do ar interior e calor total, conforme apresentado nas Equações 37 e 38.

$$\dot{Q}_s = a \cdot T_i^2 + b \cdot T_i + \dot{Q}_{\text{total}} \quad (37)$$

$$\dot{Q}_s = d \cdot T_i^3 + e \cdot T_i^2 + f \cdot T_i + \dot{Q}_{\text{total}} \quad (38)$$

Onde:

\dot{Q}_s : Calor sensível libertado por um homem médio [W];

a: Coeficientes da função [W/°C²];

b: Coeficientes da função [W/°C];

d: Coeficiente da função [W/°C³];

e: Coeficientes da função [W/°C²];

f: Coeficientes da função [W/°C];

T_i : Temperatura de bolbo seco interior [°C];

\dot{Q}_{total} : Calor total [W].

Para a aplicação de ambas as relações, foi necessário estabelecer um limite inferior e superior para a variação do calor sensível, desta forma, foi adotado que para uma temperatura de 0°C todo o calor libertado referente à atividade será calor latente enquanto todo o calor será sensível para quando a temperatura for 35°C ou superior.

Com estas correlações foi possível obter os valores de calor sensível e latente para as atividades apresentadas com temperatura de bolbo seco diferente das tabeladas. Enquanto o calor latente foi obtido a partir da subtração da carga total (que não varia com a temperatura) e o valor de carga sensível calculado.

Sendo assim, novos valores de carga sensível e latente foram obtidos, na Tabela 12 estão apresentados estes valores para as temperaturas de bolbo seco anteriormente tabeladas, assim como seus respectivos erros relativos.

Tabela 12. Calor sensível libertado por um homem médio em diferentes atividades com seus respectivos erros. Valores calculados pelo autor.

Atividade	$T_i = 20^\circ\text{C}$		$T_i = 22^\circ\text{C}$		$T_i = 24^\circ\text{C}$		$T_i = 26^\circ\text{C}$	
	Sensível [W]	Erro Relativo [%]						
Sentado	89.3	0.78	82.4	3.00	74.2	1.07	64.5	0.77
Trabalho de Escritório	99.5	0.50	90.5	0.56	80.4	0.50	69.0	1.43
De Pé	104.3	0.67	94.2	0.84	83.1	1.34	70.7	1.81
Trabalho Fabril Leve	131.1	0.85	115.3	0.26	98.8	1.20	81.8	2.25
Dança	139.8	0.14	125.0	0.00	107.9	2.76	90.0	0.00

Como pode ser visto na Tabela 12, após aplicação das correlações do segundo e terceiro grau, os valores de calor sensível variaram dos apresentados anteriormente na Tabela 11, entretanto ao avaliar o erro relativo, observa-se que o mesmo não é maior que 3%, fato este que valida a aplicação das relações criadas.

Na Tabela 13 estão apresentados valores de calor sensível em função da variação da temperatura interior de bolbo de seco, sendo estes obtidos a partir da média aritmética entre os resultados obtidos pelas Equações 38 e 39.

Tabela 13. Calor sensível libertado por um homem médio em diferentes atividades em função da temperatura interior T_i . Valores calculados pelo autor.

Atividade	Calor Total [W]	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C
		Sensível [W]								
Sentado	115,0	95,1	92,4	89,3	86,0	82,4	78,5	74,2	69,5	64,5
Trabalho de Escritório	140,0	107,3	103,5	99,5	95,1	90,5	85,6	80,4	74,8	69,0
De Pé	150,0	113,2	108,9	104,3	99,4	94,2	88,8	83,1	77,0	70,7
Trabalho Fabril Leve	235,0	146,1	138,7	131,1	123,3	115,3	107,2	98,8	90,4	81,8
Dança	265,0	155,4	147,7	139,8	131,7	125,0	115,0	107,9	167,3	90,0

Em relação a taxa metabólica de cada atividade, esta foi obtida a partir da ASHRAE (2017), sendo estes valores apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Taxa metabólica em diferentes atividades. Dados obtidos a partir de ASHRAE (2017).

Atividade	Taxa Metabólica (met)
Sentado	1.0
Trabalho de Escritório	1.1
De Pé	1.2
Trabalho Fabril Leve	2.0
Dança	2.5

3.3. Parâmetros construtivos das envolventes

Em relação às envolventes foram definidos dois grupos baseados nas características construtivas e de isolamento das mesmas, sendo estes, envolventes com alta qualidade térmica e envolventes com baixa qualidade térmica.

As paredes exteriores opaca, foram selecionadas de acordo com a ASHRAE (1985), em que buscou-se selecionar paredes de alvenaria com tijolo, sendo este um dos tipos de construção mais aplicados em Portugal. Desta forma, na Tabela 15 estão apresentados os modelos selecionados.

Tabela 15. Envolventes exteriores de acordo com a ASHRAE. Valores obtidos a partir de ASHRAE (1985).

Qualidade Térmica	Modelo - CLTD	m [kg/m ²]	U [W/m ² °C]	Tipo - CLTD
Alta	50 mm de isolamento + 100 mm tijolo comum	430	0,63	B
Baixa	25 mm isolamento ou caixa de ar + 100 mm de tijolo comum	440	1,00 - 1,71	C

De maneira que fosse possível obter envolventes equivalentes aplicadas em Portugal, foi analisada a publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) elaborada por Matias e Santos (2006). Sendo assim, na Tabela 16, estão apresentadas as paredes envolventes equivalentes a serem utilizadas neste trabalho, em que é possível observar a proximidade dos valores do coeficiente global de transferência de calor com os publicados pela ASHRAE.

Tabela 16. Envolventes exteriores de acordo com documento do LNEC. Valores obtidos a partir de Matias e Santos (2006).

Qualidade Térmica	Descrição	U [W/m ² °C]
Alta	Parede simples de fachada com isolamento no exterior - tijolo furado (0,20-0,24 m) + MW (40 mm)	0,59
Baixa	Parede simples de fachada - tijolo furado (0,20-0,24 m)	1,3

Ainda em relação às envolventes exteriores, para além das superfícies opacas, há também as janelas envidraçadas. Na Tabela 17 estão apresentados os diferentes modelos de janela com seus respectivos coeficientes globais de transferência de calor.

Tabela 17. Descrição das envolventes exteriores transparentes. Valores obtidos a partir de ASHRAE (2017).

Qualidade Térmica	Descrição	U [W/m ² °C]
Alta	Vidro duplo 6 mm - com caixa de ar - caixilharia de alumínio com corte térmico	3,61
Baixa	Vidro simples 3.2 mm - caixilharia de alumínio sem corte térmico	7,01

Importante mencionar que as envolventes exteriores transparentes podem apresentar palas verticais ou horizontais como mecanismos de sombreamento. O programa permite a

aplicação destes sistemas, entretanto há a limitação de que ao considerar estas construções, a única variável possível de alteração é o comprimento das mesmas.

Já em relação às envoltentes interiores sua seleção foi apenas de acordo com Matias e Santos (2006), uma vez que o cálculo das cargas térmicas por meio destas envoltentes não é dependente de parâmetros tabelados do método CLTD/CLF.

Na Tabela 18 estão descritas as envoltentes interiores.

Tabela 18. Envoltentes interiores de acordo com documento do LNEC. Valores obtidos a partir de Matias e Santos (2006).

Qualidade Térmica	Descrição	U [W/m ² °C]
Alta	Parede simples de alvenaria - com isolamento interior (MW - 40 mm)	0,56
Baixa	Parede simples de fachada - tijolo furado (0,20-0,24 m)	1,16

Entretanto, para além das envoltentes opacas, é possível selecionar envidraçados para estas paredes, sendo estes descritos na Tabela 19.

Tabela 19. Envoltentes interiores - envidraçados. Dados definidos pelo autor a partir de ASHRAE (2017).

Qualidade Térmica	Descrição
Alta	Vidro duplo 6 mm - com caixa de ar - caixilharia fixa de alumínio com corte térmico
Baixa	Vidro simples 3.2 mm - caixilharia fixa de alumínio sem corte térmico

O cálculo do coeficiente global de transferência de calor (U) para estas divisórias é em função das suas respetivas áreas conforme apresentado na Equação 39.

$$U_1 = \frac{U_{cv} \cdot A_{cv} + U_{bv} \cdot A_{bv} + U_c \cdot A_c}{A_{Total}} \quad (39)$$

Onde:

U_{cv} : Coeficiente global de transferência de calor do centro do vidro [W/m²°C];

A_{cv} : Área do centro do vidro [m²];

U_{bv} : Coeficiente global de transferência de calor da borda do vidro [W/m²°C];

A_{bv} : Área da borda do vidro [m²];

U_c : Coeficiente global de transferência de calor da caixilharia [W/m²°C];

A_c : Área da caixilharia [m²];

A_{Total} : Área total [m²].

Na Tabela 20, estão apresentados os valores tabelados do coeficiente U para cada elemento destas divisórias.

Tabela 20. Coeficientes globais de transferência de calor dos elementos que compõem a parede de divisória transparente. Dados obtidos a partir de ASHRAE (2017)

Descrição	U [W/m ² °C]		
	Centro	Borda	Caixilharia
Vidro duplo 6 mm - com caixa de ar – caixilharia fixa de alumínio com corte térmico	3,12	3,63	7,49
Vidro simples 3.2 mm – caixilharia fixa de alumínio sem corte térmico	5,91	5,91	10,90

Ainda sobre as envolventes interiores foram selecionadas duas opções de materiais para as portas, sendo estas, madeira e vidro. Na Tabela 21 estão descritos cada modelo, importante ressaltar que as áreas das portas foram definidas igual a 4,40 m².

Tabela 21. Envolventes interiores - portas. Valores obtidos e calculados pelo autor a partir de ASHRAE (2017) e Matias e Santos (2006).

Qualidade Térmica	Material	Descrição	U [W/m ² °C]
Alta	Madeira	Porta composta por chapa de MDF, caixa de ar e madeira leve	1,85
Baixa	Madeira	Porta maciça - madeira leve	1,90
Alta	Vidro	Vidro duplo 6 mm – caixilharia de alumínio – com corte térmico – espaço de ar	3,85
Baixa	Vidro	Vidro simples 3,2 mm – caixilharia de alumínio – sem corte térmico	7,29

O valor de U para a porta de madeira com baixa qualidade térmica foi calculado de acordo com a Equação 40.

$$U = \frac{1}{2 \cdot R_{interior} + R_{porta}} \quad (40)$$

Onde R_{interior} e R_{porta} [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$] são a resistência térmica superficial interior e a resistência térmica condutiva da porta maciça, respetivamente.

De forma que fosse possível utilizar a Equação 40, foi necessário calcular a resistência térmica condutiva da madeira de acordo com a Equação 41.

$$R_{\text{porta}} = \frac{e}{k} \quad (41)$$

Onde e é a espessura da porta maciça [m] e k é a condutibilidade térmica da madeira que compõe a porta [$\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$].

Em relação a porta com alta qualidade térmica, foi definido que a mesma apresenta montagem conforme demonstrado na Figura 17, isto é, trata-se de uma porta de madeira com espaço de ar.

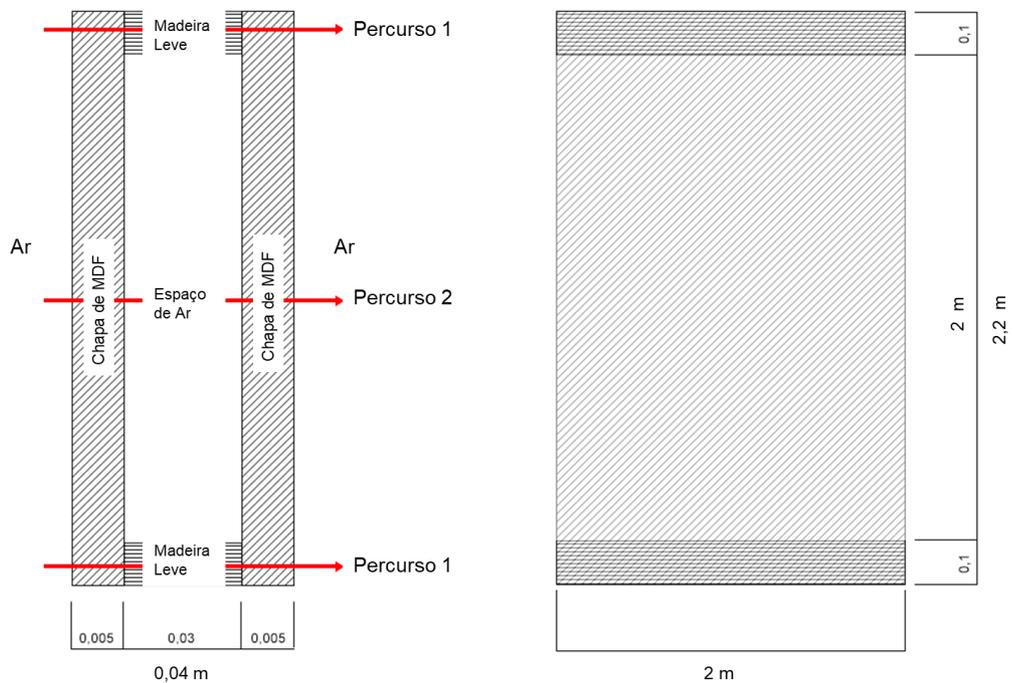


Figura 17. Vistas em corte e frontal da porta com alta qualidade térmica.

O cálculo do coeficiente U foi realizado conforme a Equação 42.

$$U = \frac{U_1 A_1 + U_2 A_2}{A_1 + A_2} \quad (42)$$

Onde:

U: Coeficiente global de transferência de calor da porta [W/m²C];

U1: Coeficiente global de transferência de calor associado ao percurso 1 [W/m²C];

U2: Coeficiente global de transferência de calor associado ao percurso 2 [W/m²C];

A1: Área referente ao percurso 1 [m²];

A2: Área referente ao percurso 2 [m²].

Em que os valores de U1 e U2 foram calculados de acordo com as Equações 43 e 44.

$$U_1 = \frac{1}{R_{\text{interior}} + (2 \times R_{\text{MDF}}) + R_{\text{ML}} + R_{\text{exterior}}} \quad (43)$$

$$U_2 = \frac{1}{R_{\text{interior}} + (2 \times R_{\text{MDF}}) + R_{\text{esp. ar}} + R_{\text{exterior}}} \quad (44)$$

Onde:

R_{interior}: Resistência térmica superficial ambiente interior [m²C/W];

R_{exterior}: Resistência térmica superficial ambiente exterior [m²C/W];

R_{MDF}: Resistência térmica da chapa de madeira de MDF [m²C/W];

R_{ML}: Resistência térmica da madeira leve [m²C/W];

R_{esp. ar}: Resistência térmica do espaço de ar [m²C/W].

Na Tabela 22 estão apresentados os valores considerados para aplicação das Equações 42, 43 e 44.

Tabela 22. Valores utilizados para calcular o coeficiente global de transferência de calor das portas de madeira. Valores obtidos a partir de Matias e Santos (2006).

Qualidade Térmica	Descrição	Condutibilidade Térmica [W/m°C]	Resistência Térmica [m²°C/W]	Espessura [m]	Área [m²]
Alta	Madeira Leve	0,150	0,200	0,040	0,200
	Chapa de MDF	0,100	0,050	0,005	4,400
	Espaço de Ar	-	0,180	0,030	4,000
Baixa	Madeira Leve	0,150	0,270	0,030	4,400

Em relação às portas de vidro, o coeficiente global U foi calculado por meio da Equação 40 apresentada anteriormente. Na Tabela 23 estão apresentados os valores considerados.

Tabela 23. Valores utilizados para calcular o coeficiente global de transferência de calor das portas envidraçadas. Valores obtidos a partir de ASHRAE (2017)

Descrição	U [W/m²°C]			A [m²]		
	Centro	Borda	Caixilharia	Centro	Borda	Caixilharia
Vidro duplo 6 mm - com caixa de ar - caixilharia de alumínio com corte térmico	3,12	3,63	6,81	3,12	0,48	0,80
Vidro simples 3.2 mm - caixilharia de alumínio sem corte térmico	5,91	5,91	13,51	3,12	0,48	0,80

Após serem definidas as paredes exteriores e interiores, foram definidos os tipos de cobertura e pavimento, conforme apresentados nas Tabelas 24 e 25.

Tabela 24. Envoltórios exteriores - coberturas. Dados obtidos a partir de ASHRAE (1997).

Qualidade Térmica	Descrição	m [kg/m²]	U [W/m²°C]
Alta	100 mm de betão denso com 25 mm de isolamento com teto falso	259	0,727
Baixa	100 mm de betão ligeiro sem teto falso	88	1,209

Tabela 25. Envolventes exteriores - pavimentos. Dados obtidos a partir de Matias e Santos (2006).

Qualidade Térmica	Descrição	U [W/m ² C]
Alta	Laje aligeirada – 0.33/0.35 m de espessura – blocos de betão normal com isolante térmico – EPS (13-15) / MW (35-100) / PIR/PUR Proj. (20-50)	0,72
Baixa	Laje aligeirada – 0.33/0.35 m de espessura – blocos de betão normal	1,4

É importante ressaltar que caso o ambiente a ser estudado apresente superfície superior, teto, em contacto com outro espaço, climatizado ou não, que seja diferente do ambiente exterior, o valor do coeficiente global de transferência de calor da superfície superior passa a ser considerado o do pavimento e não do teto.

Outro fator importante a ser destacado é que os coeficientes globais de transferência de calor apresentados, para os dois cenários de qualidade térmica, possuem variações em relação ao período de análise, estação de aquecimento ou de arrefecimento.

Os valores obtidos a partir da ASHRAE (2017), ASHRAE (1985) e, Matias e Santos (2006) foram calculados originalmente para a condição de aquecimento. Desta forma, foram utilizadas as Equações 45 e 46 para o cálculo destes coeficientes em uma situação de arrefecimento.

$$R = \frac{1}{U} - (R_{\text{exterior, inverno}} - R_{\text{interior, inverno}}) \quad (45)$$

Onde:

R: Resistência térmica da porta sem contabilizar as resistências superficiais exterior e interior [m²C/W];

U: Coeficiente global de transferência de calor [W/m²C];

R_{exterior, inverno}: Resistência térmica superficial exterior em condição de inverno [m²C/W];

R_{interior, inverno}: Resistência térmica superficial interior [m²C/W].

$$U_{\text{verão}} = \frac{1}{R_{\text{exterior, verão}} + R + R_{\text{interior}}} \quad (46)$$

Onde:

U_{verão}: Coeficiente global de transferência de calor na condição de verão [W/m²C];

$R_{\text{exterior,verão}}$: Resistência térmica do ar exterior em condição de verão [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$].

Já em relação às envoltentes interiores, a Equação 46 foi modificada conforme apresentado na Equação 47.

$$U_{\text{verão}} = \frac{1}{2R_{\text{interior}} + R} \quad (47)$$

Sendo assim, a Tabela 26 apresenta os valores dos coeficientes globais de transferência de calor utilizados neste trabalho referente a as suas respectivas superfícies.

Tabela 26. Coeficiente global de transferência de calor das envoltentes consideradas nas estações de aquecimento e arrefecimento. Valores calculados pelo autor obtidos a partir de ASHRAE (2017) e, Matias e Santos (2006).

Envoltentes	U [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$] - Alta Qualidade Térmica		U [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$] - Baixa Qualidade Térmica	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Envoltente Exterior Opaca	0,585	0,590	1,277	1,300
Envoltente Exterior Transparente	3,436	3,610	6,384	7,010
Envoltente Interior Opaca	0,533	0,533	1,050	1,050
Porta - Madeira	1,586	1,586	1,623	1,623
Porta - Vidro	2,859	2,859	4,402	4,402
Cobertura	0,720	0,727	1,189	1,209
Pavimento	0,713	0,720	1,373	1,400

3.4. Transferência de calor através das envoltentes interiores

O ganho ou perda de calor por meio das superfícies interiores, seja opaca ou transparente, é dependente apenas do coeficiente global de transferência de calor da superfície, área da mesma e diferença de temperatura entre o espaço analisado e o adjacente.

Desta maneira, caso ambos os espaços apresentem mecanismos de controlo de temperatura e apresentem o mesmo valor desta variável, o fluxo de calor será igual a sério. Entretanto, caso o espaço analisado esteja em contato com outro ambiente que não apresenta métodos de controlo de sua temperatura interior, conseqüentemente o fluxo de calor da parede de divisória será diferente de zero no decorrer do dia.

Sendo assim, para situações em que o espaço adjacente não é climatizado, se fez necessário definir um coeficiente (β) relacionado ao seu nível de ventilação. Na Tabela 27 é possível verificar os valores de β para as situações em que o ambiente apresenta alto e baixo nível de ventilação.

Tabela 27. Valor do coeficiente β de acordo com o nível de ventilação do espaço.

	Nível de Ventilação	
	Alto	Baixo
Coeficiente β [-]	0.1	0.9

Na Equação 48 é possível observar como o valor de β interfere na temperatura interior do ambiente não climatizado.

$$T_{adj} = \beta(T_i - T_{ext}) + T_{ext} \quad (48)$$

Onde:

T_{adj} : Temperatura do ar do espaço adjacente [$^{\circ}\text{C}$];

T_i : Temperatura do ar do espaço interior climatizado [$^{\circ}\text{C}$];

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

β : Coeficiente referente ao nível de ventilação [-].

Conforme pode ser observado na Equação 48, a temperatura do espaço não climatizado será próxima a temperatura do ar exterior para um alto nível de ventilação e apresentará valores mais elevados quando o nível de ventilação for baixo.

É importante ressaltar que se o ambiente não climatizado estiver em contato com mais de um espaço com a temperatura interior controlada, o valor da temperatura interior a ser aplicado na Equação 48 será a média das temperaturas interiores conforme demonstrado na Equação 49.

$$T_{i,med} = \frac{(T_{i1} * A_1 * U_1) + (T_{i2} * A_2 * U_2) + \dots + (T_{ij} * A_j * U_j)}{(A_1 * U_1) + (A_2 * U_2) + \dots + (A_j * U_j)} \quad (49)$$

Onde:

$T_{i,j}$: Temperatura interior do espaço climatizado j [$^{\circ}\text{C}$];

A_j : Área da superfície da parede de divisória entre o espaço climatizado e o não climatizado j [m^2];

U_j : Coeficiente global de transferência de calor da parede de divisória j [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$].

3.3. DESEMPENHO DAS BATERIAS DAS UNIDADES TERMINAIS

A análise do desempenho das baterias das unidades terminais foi realizada conforme mencionado por Ruivo (2005) e descrito na secção 3.4.1.2 em que a bateria pode assumir duas condições distintas, molhada/parcialmente molhada ou seca.

A definição do estado da bateria é realizada a partir da análise do conteúdo de humidade do ar antes e depois de passar pela mesma, em que o decréscimo do valor do conteúdo de humidade à saída da bateria, indica que a mesma está molhada/parcialmente molhada.

O cálculo da potência total da bateria foi de acordo a Equação 50.

$$\dot{Q}_{\text{total.bat.}} = \dot{m}_{\text{ar}} * (h_2 - h_1) \quad (50)$$

Onde:

$\dot{Q}_{\text{total.bat.}}$: Potência total da bateria [W];

\dot{m}_{ar} : Caudal mássico de ar insuflado [kg/s];

h_2 : Entalpia específica do ar à saída da bateria [J/kg];

h_1 : Entalpia específica do ar à entrada da bateria [J/kg].

Resultados positivos a partir da Equação 51 indicam que a bateria está a funcionar em modo de aquecimento, enquanto resultados negativos estão relacionados ao modo de arrefecimento.

Importante ressaltar que esta análise considerou apenas os parâmetros relacionados ao caudal de ar que escoar através da bateria bem como o estado desta. Parâmetros como caudal de água da bateria bem como as temperaturas de ida e retorno da água não foram consideradas nesta análise.

3.4. BALANÇO TÉRMICO DOS ESPAÇOS ANALISADOS

De forma que fosse possível obter valores da temperatura de bolbo seco do ar interior em momentos que o sistema de climatização está desligado, foi aplicada a primeira lei da termodinâmica para processos em regime permanente.

Desta maneira, foi considerado que cada ambiente a ser analisado é um volume de controle conforme apresentado na Figura 18.

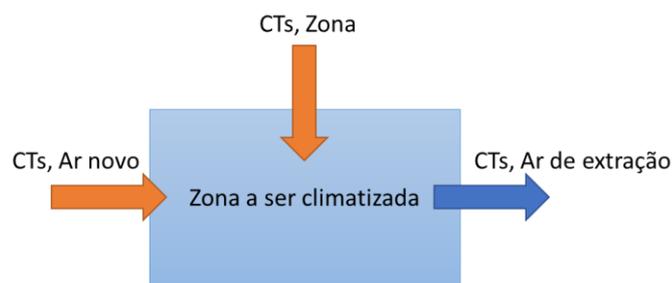


Figura 18. Ganhos e perdas térmicas de uma zona.

Conforme apresentado na Figura 18 é possível observar que a quantidade de calor sensível referente ao somatório das cargas térmicas locais, somado à carga térmica sensível do ar novo de ventilação é igual a carga térmica sensível do ar que é extraído na zona analisada.

A Equação 51 demonstra o balanço térmico aplicado às zonas analisadas.

$$\dot{Q}_{s,z} + \dot{m}_v * c_p * T_{ext} = \dot{m}_v * c_p * T_i \quad (51)$$

Onde:

$\dot{Q}_{s,z}$: carga térmica sensível da zona [W];

\dot{m}_v : Caudal de ar novo da zona [kg/s];

c_p : Calor específico do ar [J/Kg.°C].

T_{ext} : Temperatura do ar exterior [°C];

T_i : Temperatura do ar interior da zona [°C].

Entretanto, ao analisar a variação da carga térmica sensível em função da temperatura de bolbo seco do ar interior, observou-se que esta apresenta um comportamento aproximadamente linear.

As Figuras 19, 20, 21 e 22 representam a variação da carga térmica sensível em função da temperatura interior para os dias de projeto de aquecimento e arrefecimento referentes às cidades de Faro e Bragança respetivamente.

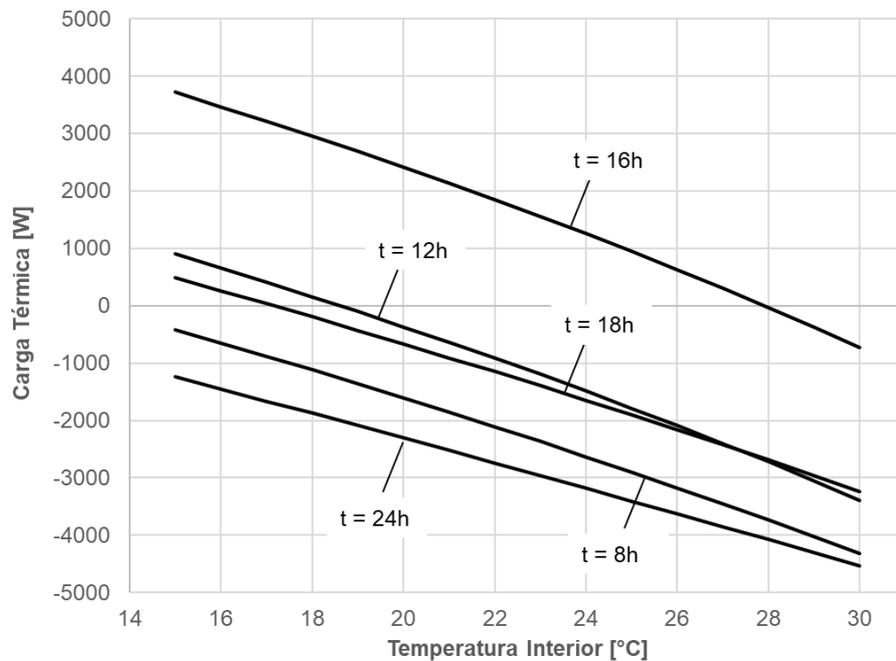


Figura 19. Variação da carga térmica sensível local em função da temperatura de bolbo seco interior para o modo de aquecimento na cidade de Faro.

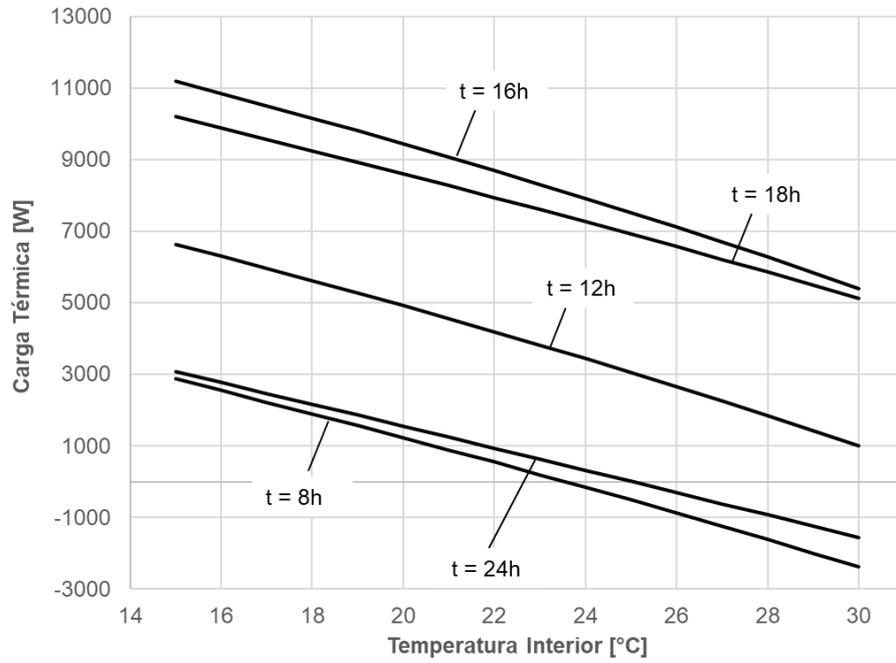


Figura 20. Variação da carga térmica sensível local em função da temperatura de bolbo seco interior para o modo de arrefecimento na cidade de Faro.

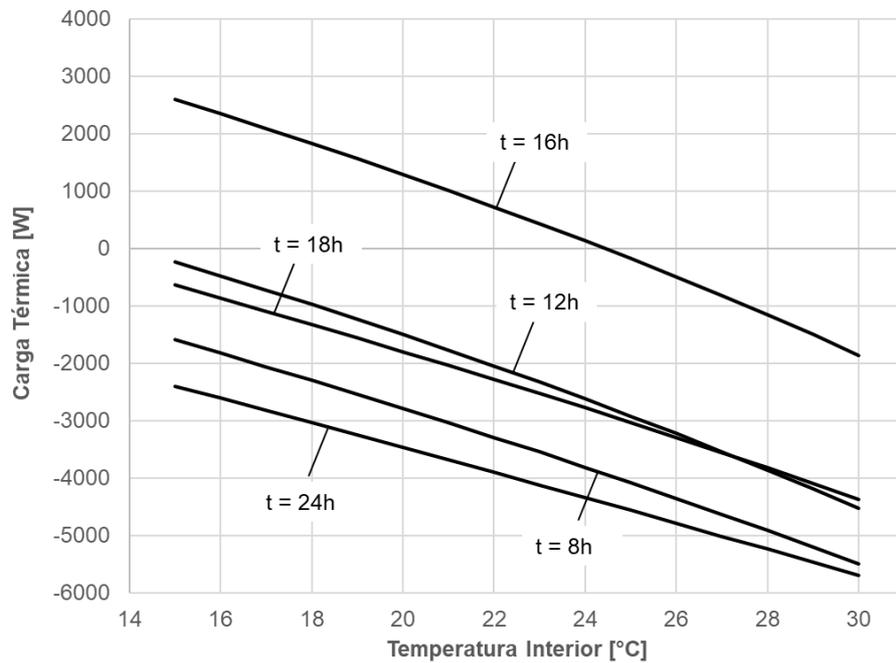


Figura 21. Variação da carga térmica sensível local em função da temperatura de bolbo seco interior para o modo de aquecimento na cidade de Bragança.

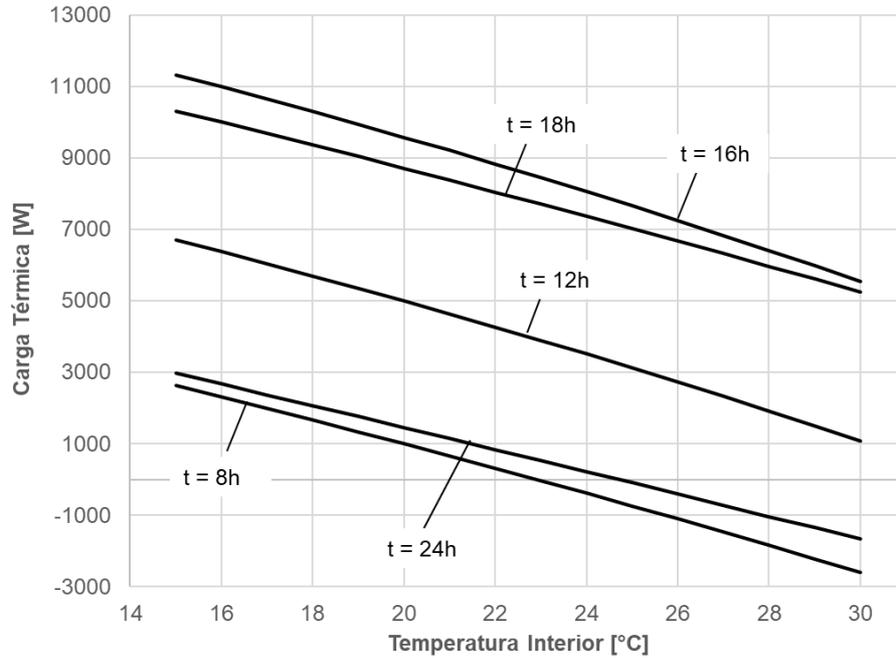


Figura 22. Variação da carga térmica sensível local em função da temperatura de bolbo seco interior para o modo de arrefecimento na cidade de Bragança.

Ao assumir que a variação da carga térmica sensível local em função da temperatura interior apresenta comportamento linear, então a Equação 51 pode ser reescrita conforme a Equação 52.

$$(g+h*T_i)+\dot{m}_a*cp*T_{ext}=\dot{m}_a*cp*T_i \quad (52)$$

Onde g [W] e h [W/°C] são os coeficientes da regressão linear

Desta maneira, a temperatura interior do ar para quando o sistema de climatização está desligado pode ser calculada de acordo com a Equação 53.

$$T_i = \frac{g+\dot{m}_a*cp*T_{ext}}{\dot{m}_a*cp-h} \quad (53)$$

Entretanto, é importante ressaltar que caso o espaço a ser analisado esteja em contato com outro espaço interior que não apresenta controlo de sua temperatura interior, o valor obtido a partir da Equação 53 necessita ser corrigido.

Esta correção é necessária uma vez que, o fluxo de calor por meio das paredes interiores é dependente da temperatura interior do espaço a ser analisado e a temperatura do ambiente que não possui controle da mesma.

Sendo assim, a partir das Equações 48, 54 e 55, a Equação 56 pode ser deduzida conforme demonstrado abaixo.

$$T_{adj} = \beta(T_i - T_{ext}) + T_{ext} \quad (48)$$

$$\dot{Q}_{s,z} = g + h * T_{i,corrig} \quad (54)$$

$$\dot{Q}_{ar\ novo} = \dot{m}_{ar} * c_{p_{ar}} * (T_{ext} - T_i) \quad (55)$$

Sendo:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{s,z} &= (g + h * T_{i,corrig}) - \dot{Q}_{s,corr} + \sum_{j=1}^n U_j A_j \{ [T_{ext} + \beta * (T_{i,corrig} - T_{ext})] - T_{i,corrig} \} \\ (g + h * T_{i,corrig}) - \dot{Q}_{s,corr} + \sum_{j=1}^n U_j A_j \{ [T_{ext} + \beta * (T_{i,corrig} - T_{ext})] - T_{i,corrig} \} + \dot{m}_a * c_p * \\ (T_{ext} - T_{i,corrig}) &= 0 \\ (g + h * T_{i,corrig}) - \dot{Q}_{s,corr} + \left(\sum_{j=1}^n U_j A_j T_{ext} + \sum_{j=1}^n U_j A_j \beta * T_{i,corrig} - \sum_{j=1}^n U_j A_j \beta * \right. \\ T_{ext} - \sum_{j=1}^n U_j A_j * T_{i,corrig} + \dot{m}_a * c_p * (T_{ext} - T_{i,corrig}) &= 0 \\ h * T_{i,corrig} + \sum_{j=1}^n U_j A_j \beta * T_{i,corrig} \\ - \sum_{j=1}^n U_j A_j * T_{i,corrig} - \dot{m}_{ar} * c_{p_{ar}} * T_{i,corrig} &= -g + \dot{Q}_{s,corr} - \sum_{j=1}^n U_j A_j T_{ext} \\ + \sum_{j=1}^n U_j A_j \beta * T_{ext} - \dot{m}_{ar} * c_{p_{ar}} * T_{ext} \end{aligned}$$

Logo:

$$T_{i,corr} = \frac{-g + \dot{Q}_{s,corr} - \sum_{j=1}^n U_j A_j * T_{ext} + \sum_{j=1}^n U_j A_j \beta * T_{ext} - \dot{m}_a * c_p * T_{ext}}{h + \sum_{j=1}^n U_j A_j \beta - \sum_{j=1}^n U_j A_j - \dot{m}_a * c_p} \quad (56)$$

Onde:

$T_{i,corr}$: Temperatura interior de bolbo seco corrigida [°C].

3.5. CORREÇÃO DA TEMPERATURA INTERIOR

Em situações em que os ventiloconvectores estão ligados com um valor de temperatura definido, a temperatura interior do ambiente tende a ser igual ao valor predefinido. Entretanto, em situações que o sistema de condicionamento do ar está desligado ou apenas a ventilação está operacional, a temperatura interior apresenta variação conforme mencionado na secção 3.4.

Desta maneira foi necessário atribuir um fator de correção para a temperatura interior em função da percentagem de ar novo insuflada no ambiente, sendo este fator definido pelo coeficiente (γ). Na Tabela 28 estão demonstrados os valores de γ .

Tabela 28. Valor do coeficiente γ de acordo com o a fração de ar novo.

	Fração de Ar Novo	
	Alta	Baixa
Coeficiente γ [-]	0.2	0.8

De maneira simplificada, o coeficiente γ foi atribuído apenas para as duas condições mencionadas na Tabela 28, onde um sistema com 100% de ar novo representa um valor de γ igual à 0,2 e um sistema com apenas 10% de ar novo corresponde a um γ igual à 0,8.

O coeficiente γ é aplicado de acordo com a Equação 57 apresentada a seguir:

$$T_{i,corr,final} = \gamma(\bar{T}_{i,corr} - T_{i,corr}) + T_{i,corr} \quad (57)$$

Onde:

$T_{i,corrig,final}$: Temperatura do ar interior corrigida final [°C];

$\bar{T}_{i,corrig}$: Valor médio diário da temperatura $T_{i,corrig}$ [°C];

$T_{i,corrig}$: Temperatura do ar interior corrigida após o balanço térmico [°C];

γ : Coeficiente referente a fração de ar novo [-].

A Figura 23 representa a variação da temperatura interior após aplicação do coeficiente γ para os diferentes níveis de percentagem de ar novo. Em ambos os casos, foi simulada uma situação em que apenas a ventilação estava ligada, sendo as variáveis referentes à zona térmica iguais em ambas as situações.

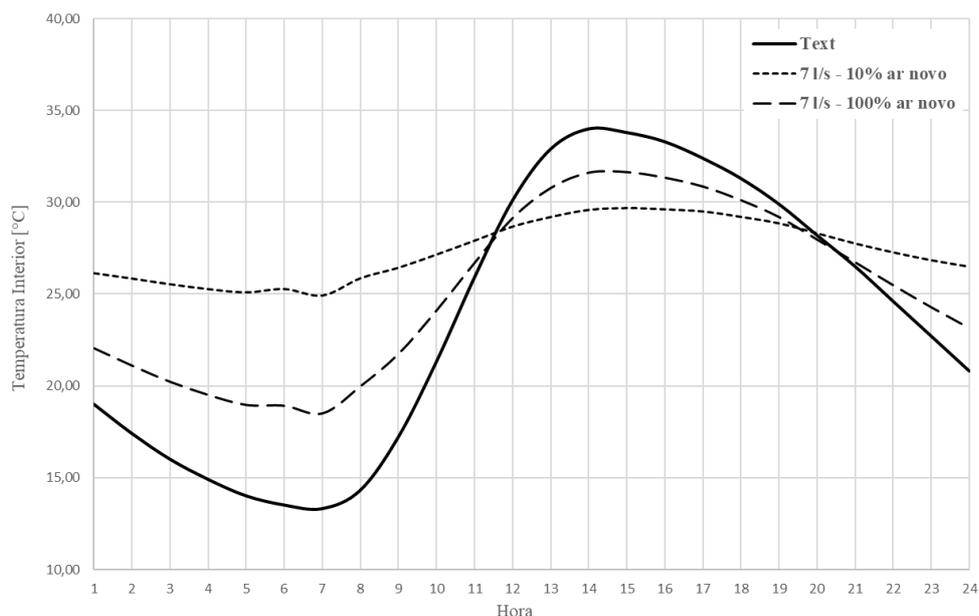


Figura 23. Variação da temperatura interior de acordo com γ .

Conforme pode ser observado na Figura 23, a temperatura interior tende a aproximar-se da temperatura exterior em situações que a percentagem de ar novo é de 100% e tende a diminuir sua amplitude térmica em situações em que a percentagem de ar novo é de 10%.

Este amortecimento da temperatura interior relacionado ao baixo índice de ar novo está relacionado à inércia térmica das superfícies.

4. ESTUDO DE CASO

Após o desenvolvimento do modelo foi necessário testar o mesmo, sendo assim como objeto de estudo foi considerado um grupo de quatro salas de aula, uma vez que, estes ambientes não requerem de um rígido controlo dos parâmetros psicrométricos interiores.

As Figuras 24 e 25 representam os espaços a serem analisados.

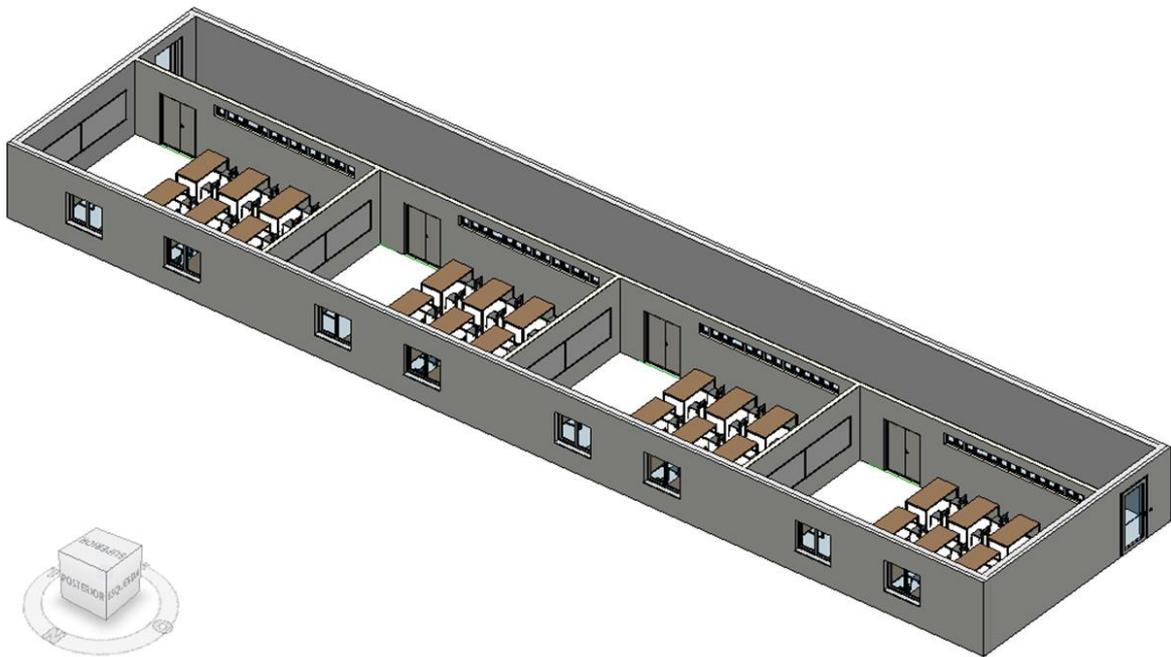


Figura 24. Desenho esquemático em 3D dos espaços avaliados no estudo de caso.

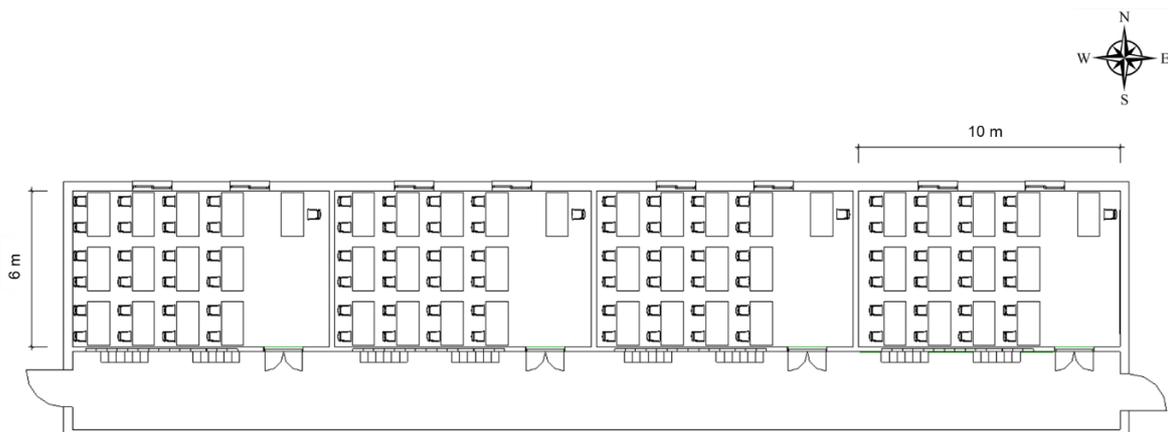


Figura 25. Desenho esquemático em 2D dos espaços avaliados no estudo de caso.

Apesar de não ser representado nas Figuras 24 e 25 foi considerado que a cobertura de cada sala avaliada está em contato com o ar exterior, enquanto o pavimento faz fronteira com outro espaço interior com temperatura não controlada que apresenta um nível de ventilação alto durante o verão e baixo durante o inverno.

Importante mencionar que todos os espaços possuem 3 m de altura e uma área igual a 60 m². Conforme pode ser observado nas Figuras 24 e 25, todas as salas apresentam parede exterior voltada para norte. Enquanto as zonas térmicas das extremidades apresentam também parede exterior para este e oeste. Foi também definido que a cor exterior das envolventes é de tom médio e que as salas estão localizadas em uma zona não industrial.

Cada espaço possui duas janelas (2,0 m x 2,5 m) em que estas apresentam recuo de 0,1 m na vertical e horizontal face a superfície exterior, uma porta de madeira e oito envidraçados de 0,30 m x 0,30 m que fazem divisória com o corredor.

Em relação ao corredor comum a todas as salas, foi considerado que este é um ambiente não climatizado e que apresenta um nível de ventilação alto durante o verão e baixo durante o inverno

O número máximo de ocupantes foi definido como sendo igual a 25 pessoas e as potências instaladas referentes aos sistemas de iluminação e equipamentos presentes foram de 884 W e 440 W respetivamente.

Foi também definido que cada sala possui uma unidade terminal que quando está com sua bateria ligada mantém a temperatura interior igual a 25°C e 20°C nas condições de arrefecimento e aquecimento respetivamente.

Conforme o esquema apresentado na Figura 7 as unidades terminais são do tipo ar-água e foi determinado que cada bateria apresenta valor do fator de contato igual à 0,8.

Foi determinado que as salas a serem analisadas estão localizadas em Faro e que os dias avaliados são os mesmos dias que os dias de projeto para arrefecimento (13 de agosto) e para aquecimento (10 de janeiro), assim como também dois dias distintos de cada estação, 18 de setembro e 22 de janeiro.

Em relação aos perfis de ocupação, iluminação e funcionamento dos equipamentos, foi definido que todas as salas possuem perfil de ocupação entre as 8 h e 18 h, sendo estes iguais aos adotados para as análises com as condições de projeto.

O perfil adotado para o funcionamento dos equipamentos foi igual ao perfil dos ocupantes, enquanto o da iluminação foi considerado nulo. Na Tabela 29 é apresentado um resumo referente aos perfis adotados.

Tabela 29. Perfis de ocupação, iluminação e funcionamento dos equipamentos.

	Ocupação	Iluminação	Equipamentos
Perfil - Início e Fim (h)	8 às 18	0	8 às 18

Importante também ressaltar que para cada zona térmica foi considerado um número total de ocupantes igual à capacidade máxima, em que os mesmos estão sentados e apresentam resistência térmica do vestuário igual à 0,6 clo e 1,08 clo para as situações de verão e inverno, respetivamente. Foi também aplicado um caudal de ar novo igual à 7 l/s para cada ocupante e velocidade do ar igual à 0,1 m/s.

Foram considerados dois modos de funcionamento da UT, bateria ligada com o perfil igual ao de ocupação e bateria desligada. Em situações que a bateria está desligada, foi considerado que o sistema de ventilação está ligado com 100% de ar novo para as situações de arrefecimento e com 10% de ar novo em situações de aquecimento.

Vale também mencionar que as análises realizadas contemplaram as duas opções de qualidade térmica das envolventes.

A Figura 26 demonstra um fluxograma com alguns dos cenários a serem analisados.

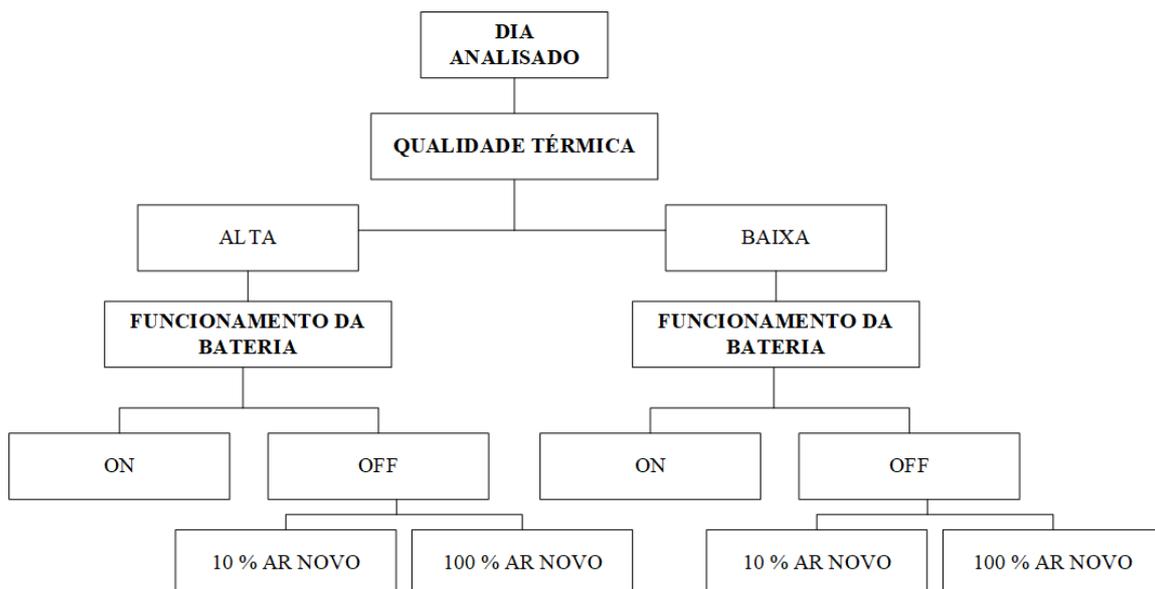


Figura 26. Cenários avaliados no estudo de caso.

Obviamente que o programa de simulação permite analisar diversos cenários além dos mostrados na Figura 26.

A Tabela 30 apresenta um resumo dos parâmetros construtivos adotados para cada zona térmica.

Tabela 30. Parâmetros construtivos adotados no estudo de caso.

Zona Térmica 01				
	Superfície 01	Superfície 02	Superfície 03	Superfície 04
Área - Parede [m ²]	18,00	24,88	18,00	20,00
Área - Envidraçados [m ²]	-	0,72	-	10,00
Pala Horizontal [m]	-	-	-	0,10
Pala Vertical [m]	-	-	-	0,10
Área - Porta [m ²]	-	4,40	-	-
Orientação	Este	Divisória	Divisória	Norte
Zona Térmica 02				
	Superfície 01	Superfície 02	Superfície 03	Superfície 04
Área - Parede [m ²]	18,00	24,88	18,00	20,00
Área - Envidraçados [m ²]	-	0,72	-	10,00
Pala Horizontal [m]	-	-	-	0,10
Pala Vertical [m]	-	-	-	0,10
Área - Porta [m ²]	-	4,40	-	-
Orientação	Divisória	Divisória	Divisória	Norte
Zona Térmica 03				
	Superfície 01	Superfície 02	Superfície 03	Superfície 04
Área - Parede [m ²]	18,00	24,88	18,00	20,00
Área - Envidraçados [m ²]	-	0,72	-	10,00
Pala Horizontal [m]	-	-	-	0,10
Pala Vertical [m]	-	-	-	0,10
Área - Porta [m ²]	-	4,40	-	-
Orientação	Divisória	Divisória	Divisória	Norte
Zona Térmica 04				
	Superfície 01	Superfície 02	Superfície 03	Superfície 04
Área - Parede [m ²]	18,00	24,88	18,00	20,00
Área - Envidraçados [m ²]	-	0,72	-	10,00
Pala Horizontal [m]	-	-	-	0,10
Pala Vertical [m]	-	-	-	0,10
Área - Porta [m ²]	-	4,40	-	-
Orientação	Divisória	Divisória	Oeste	Norte
	Zona Térmica 01	Zona Térmica 02	Zona Térmica 03	Zona Térmica 04
Área - Cobertura /Pavimento [m ²]			60,00	

A Tabela 31 apresenta os valores dos coeficientes globais de transferência de calor adotados para cada envolvente, conforme descrito anteriormente na seção 3.3.

Importante ressaltar que apesar do programa de simulação permitir que sejam selecionadas portas de vidro, neste estudo de caso foram apenas consideradas portas de madeira.

Tabela 31. Coeficiente global de transferência de calor das envoltentes consideradas no estudo de caso.

Envoltentes	U [W/m ² °C] - Alta Qualidade Térmica		U [W/m ² °C] - Baixa Qualidade Térmica	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
	Envoltente Exterior Opaca	0,585	0,590	1,277
Envoltente Exterior Transparente	3,436	3,610	6,384	7,010
Envoltente Interior Opaca		0,533		1,050
Envoltente Interior Transparente		3,317		4,454
Porta - Madeira		1,586		1,623
Cobertura	0,720	0,727	1,189	1,209
Pavimento	0,713	0,720	1,373	1,400

Nas Tabelas 32 e 33 estão apresentados os valores da temperatura de bolbo seco do ar, umidade relativa e conteúdo de umidade para os dias selecionados.

Tabela 32. Parâmetros do ar exterior para os dias 13 de agosto e 18 de setembro.

Hora	13 de agosto			18 de setembro		
	TBS [°C]	HR [%]	W [kg/kg]	TBS [°C]	HR [%]	W [kg/kg]
1	20,1	68,0	0,0101564	16,7	86,0	0,0103818
2	18,7	73,0	0,0099908	15,7	89,0	0,0100750
3	17,6	77,0	0,0098320	14,8	92,0	0,0098254
4	16,6	81,0	0,0097059	14,2	94,0	0,0096544
5	15,9	83,0	0,0095083	13,6	95,0	0,0093800
6	15,5	85,0	0,0094909	13,3	96,0	0,0092939
7	15,4	86,0	0,0095419	13,2	96,0	0,0092325
8	16,2	83,0	0,0096951	13,8	94,0	0,0094032
9	18,6	75,0	0,0102040	15,6	87,0	0,0097812
10	22,0	63,0	0,0105820	18,1	78,0	0,0102857
11	25,8	49,0	0,0103388	20,8	68,0	0,0106126
12	29,2	37,0	0,0095123	23,3	58,0	0,0105413
13	31,5	29,0	0,0084912	25,0	52,0	0,0104644
14	32,4	26,0	0,0080043	25,7	49,0	0,0102767
15	32,2	27,0	0,0082217	25,6	49,0	0,0102149
16	31,8	29,0	0,0086389	25,2	50,0	0,0101779
17	31,1	31,0	0,0088782	24,7	51,0	0,0100748
18	30,1	35,0	0,0094760	24,0	53,0	0,0100394
19	29,0	40,0	0,0101761	23,2	56,0	0,0101096
20	27,7	45,0	0,0106225	22,2	59,0	0,0100228
21	26,2	50,0	0,0108105	21,1	62,0	0,0098443
22	24,6	56,0	0,0110130	20,0	66,0	0,0097912
23	23,1	62,0	0,0111435	18,9	70,0	0,0096963
24	21,5	67,0	0,0109210	17,7	73,0	0,0093734

Tabela 33. Parâmetros do ar exterior para o dia 10 de janeiro e 22 de janeiro.

Hora	10 de janeiro			22 de janeiro		
	TBS [°C]	HR [%]	W [kg/kg]	TBS [°C]	HR [%]	W [kg/kg]
1	10,3	83,0	0,0065624	8,2	98,0	0,0067275
2	10,1	84,0	0,0065532	7,1	98,0	0,0062359
3	9,9	85,0	0,0065428	6,1	98,0	0,0058172
4	9,7	86,0	0,0065314	5,3	98,0	0,0055005
5	9,5	87,0	0,0065190	4,8	98,0	0,0053104
6	9,5	88,0	0,0065947	4,4	98,0	0,0051626
7	9,4	89,0	0,0066252	4,3	98,0	0,0051263
8	9,6	89,0	0,0067159	5,0	98,0	0,0053857
9	10,1	88,0	0,0068687	6,9	98,0	0,0061501
10	10,7	86,0	0,0069883	9,7	98,0	0,0074537
11	11,5	84,0	0,0072007	12,8	87,0	0,0081367
12	12,1	82,0	0,0073147	15,7	77,0	0,0086976
13	12,6	80,0	0,0073756	17,6	70,0	0,0089253
14	12,7	80,0	0,0074247	18,3	67,0	0,0089276
15	12,7	80,0	0,0074247	18,2	68,0	0,0090053
16	12,6	80,0	0,0073756	17,8	69,0	0,0089093
17	12,5	80,0	0,0073268	17,2	70,0	0,0086994
18	12,3	81,0	0,0073214	16,5	73,0	0,0086776
19	12,1	82,0	0,0073147	15,5	76,0	0,0084723
20	11,8	83,0	0,0072582	14,4	80,0	0,0083058
21	11,5	84,0	0,0072007	13,2	84,0	0,0080635
22	11,2	84,0	0,0070573	11,9	88,0	0,0077525
23	10,9	85,0	0,0069998	10,6	92,0	0,0074314
24	10,6	85,0	0,0068598	9,4	97,0	0,0072277

Valores como amplitude térmica e temperatura de bolbo seco exterior média podem ser observados na Tabela 34.

Tabela 34. Amplitude térmica e temperatura de bolbo seco exterior média referentes aos dias selecionados.

	Amplitude Térmica [°C]	Temperatura Média de Bolbo Seco [°C]
13 de agosto	17,0	23,9
18 de setembro	12,5	19,4
10 de janeiro	3,3	11,1
22 de janeiro	14,0	11,3

Em relação a UTAN não foi considerada qualquer bateria na construção da mesma, desta forma o ar novo apresenta as características do ar exterior conforme apresentado nas Tabelas 32 e 33.

Nos Apêndices A e B é possível observar como é feito o preenchimento dos dados de entrada do programa de simulação. Enquanto nos Apêndices C, D e E é estão apresentados os resultados da referida simulação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados nesta secção estão divididos de acordo com o modo de funcionamento do sistema, aquecimento ou arrefecimento. e em sequência são apresentados os resultados da análise das unidades terminais e de suas respectivas baterias.

5.1. ANÁLISE DOS PARÂMETROS INTERIORES E CONFORTO TÉRMICO – MODO DE ARREFECIMENTO

Primeiramente foi realizada a análise dos ambientes com baixa qualidade térmica de suas envolventes Na Tabela 35 estão apresentados os valores da temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade para as quatro zonas térmicas, com funcionamento da bateria da UT semelhante ao perfil de ocupação.

Tabela 35. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de arrefecimento – 13 de agosto.

Hora	Zona Térmica 01			Zona Térmica 02			Zona Térmica 03			Zona Térmica 04		
	T [°C]	HR [%]	W [g/kg]									
1	21,99	60,53	10,16	21,80	61,25	10,16	21,80	61,25	10,16	22,02	60,45	10,16
2	20,99	63,32	9,99	20,79	64,10	9,99	20,79	64,10	9,99	21,04	63,16	9,99
3	20,15	65,67	9,83	19,93	66,58	9,83	19,93	66,58	9,83	20,19	65,50	9,83
4	19,40	67,93	9,71	19,16	68,96	9,71	19,16	68,96	9,71	19,42	67,83	9,71
5	18,89	68,72	9,51	18,65	69,75	9,51	18,65	69,75	9,51	18,93	68,54	9,51
6	18,89	68,59	9,49	18,66	69,60	9,49	18,66	69,60	9,49	18,93	68,41	9,49
7	18,46	70,81	9,54	18,23	71,85	9,54	18,23	71,85	9,54	18,50	70,63	9,54
8	25,00	59,07	11,91	25,00	59,09	11,92	25,00	59,09	11,92	25,00	59,07	11,91
9	25,00	61,49	12,41	25,00	61,50	12,41	25,00	61,50	12,41	25,00	61,48	12,41
10	25,00	63,25	12,78	25,00	63,25	12,78	25,00	63,25	12,78	25,00	63,25	12,77
11	25,00	61,99	12,52	25,00	61,98	12,51	25,00	61,98	12,51	25,00	61,99	12,51
12	25,00	57,88	11,67	25,00	57,87	11,67	25,00	57,87	11,67	25,00	57,88	11,67
13	25,00	52,83	10,63	25,00	52,81	10,63	25,00	52,81	10,63	25,00	52,83	10,63
14	25,00	50,40	10,14	25,00	50,37	10,13	25,00	50,37	10,13	25,00	50,39	10,14
15	25,00	51,45	10,35	25,00	51,43	10,35	25,00	51,43	10,35	25,00	51,45	10,35
16	25,00	52,34	10,53	25,00	52,47	10,56	25,00	52,47	10,56	25,00	52,41	10,55
17	25,00	52,88	10,64	25,00	53,02	10,67	25,00	53,02	10,67	25,00	52,96	10,66
18	30,21	34,77	9,48	30,25	34,69	9,48	30,25	34,69	9,48	30,19	34,82	9,48
19	29,27	39,37	10,18	29,27	39,38	10,18	29,27	39,38	10,18	29,23	39,47	10,18
20	28,03	44,14	10,62	28,00	44,23	10,62	28,00	44,23	10,62	28,00	44,21	10,62
21	26,66	48,65	10,81	26,59	48,86	10,81	26,59	48,86	10,81	26,65	48,68	10,81
22	25,36	53,53	11,01	25,25	53,87	11,01	25,25	53,87	11,01	25,36	53,51	11,01
23	24,17	58,11	11,14	24,04	58,60	11,14	24,04	58,60	11,14	24,18	58,09	11,14
24	23,03	61,05	10,92	22,86	61,67	10,92	22,86	61,67	10,92	23,05	60,96	10,92

Já na Tabela 36 é possível observar os valores dos índices PMV e PPD referentes aos períodos de ocupação das zonas térmicas.

Tabela 36. PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de arrefecimento – 13 de agosto.

Hora	Zona Térmica 01		Zona Térmica 02		Zona Térmica 03		Zona Térmica 04	
	PMV	PPD [%]						
8	-0,24	6,23	-0,25	6,32	-0,25	6,32	-0,24	6,19
9	-0,17	5,62	-0,18	5,67	-0,18	5,67	-0,17	5,60
10	-0,09	5,15	-0,09	5,18	-0,09	5,18	-0,08	5,14
11	-0,01	5,00	-0,02	5,01	-0,02	5,01	-0,01	5,00
12	0,04	5,03	0,03	5,02	0,03	5,02	0,04	5,03
13	0,06	5,07	0,05	5,05	0,05	5,05	0,06	5,07
14	0,09	5,17	0,08	5,13	0,08	5,13	0,09	5,16
15	0,11	5,27	0,10	5,22	0,10	5,22	0,11	5,25
16	0,13	5,36	0,12	5,30	0,12	5,30	0,13	5,33
17	0,13	5,34	0,12	5,29	0,12	5,29	0,12	5,32

A Figura 27 demonstra a variação do PMV e PPD enquanto a Figura 28 apresenta a variação da humidade relativa do espaço interior.

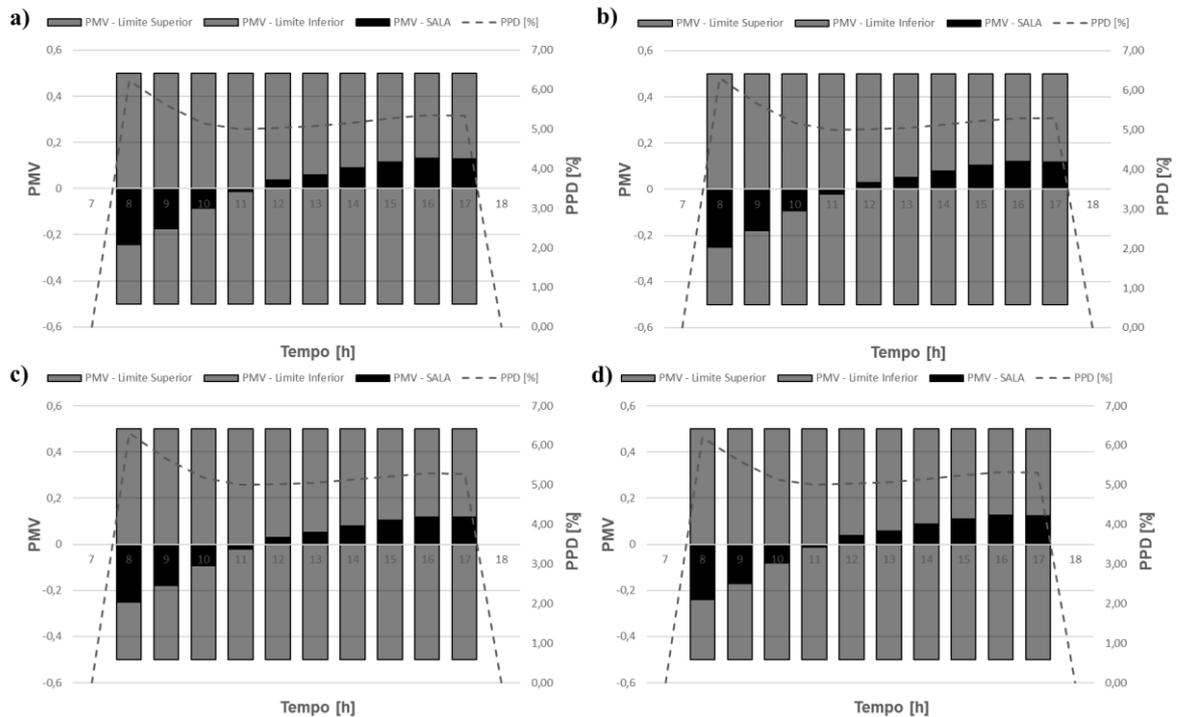


Figura 27. Variação do PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de arrefecimento – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

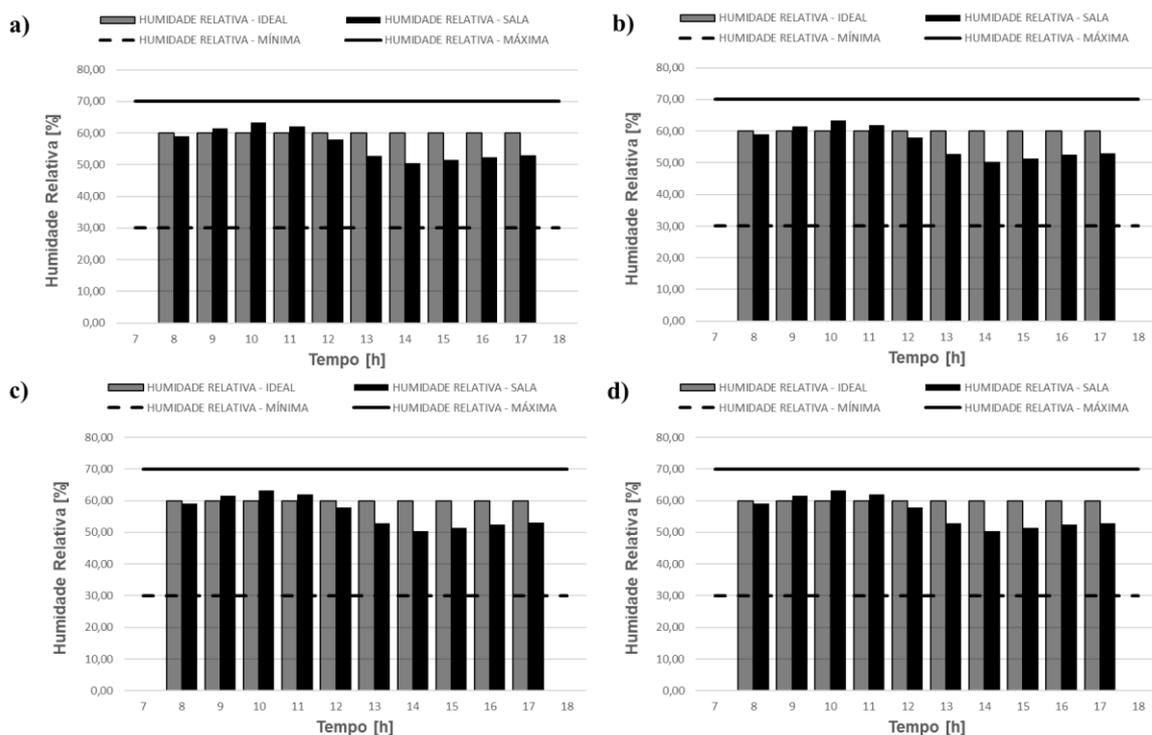


Figura 28. Variação da humidade relativa interior – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de arrefecimento – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

Conforme pode ser observado na Tabela 35 e Figura 28 o valor da humidade relativa interior apresentou variação no decorrer do dia, fato este já esperado, uma vez que o sistema não possui mecanismos de controlo desta variável.

Entretanto, de acordo com o apresentado na Figura 28, é importante destacar que esta variação se manteve dentro do limite aceitável, ou seja, abaixo dos 70% e acima dos 30%, fato este que não implicou com as condições de conforto térmico, conforme apresentado na Tabela 36 e Figura 27.

Em relação ao índice PMV é possível observar que os valores estiveram no intervalo expectável, não sendo superior a 0,5 e nem inferior a -0,5, fato este que implicou em valores de PPD inferiores a 10%.

Sendo assim, é possível observar que para esta situação de funcionamento do sistema, aproximadamente 95% das pessoas presentes em cada espaço estão satisfeitas termicamente.

As Tabelas 37 e 38 apresentam os valores dos parâmetros internos e dos parâmetros PMV e PPD respetivamente, para o mesmo perfil de ocupação adotado anteriormente. Porém neste caso a bateria da UT está desligada, sendo considerado apenas o sistema de ventilação a funcionar, sendo este com 100% de ar novo no caudal de insuflação.

Tabela 37. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto.

Hora	Zona Térmica 01			Zona Térmica 02			Zona Térmica 03			Zona Térmica 04		
	T	HR	W									
	[°C]	[%]	[g/kg]									
1	22,34	59,27	10,16	22,15	59,97	10,16	22,15	59,97	10,16	22,36	59,19	10,16
2	21,34	61,99	9,99	21,14	62,76	9,99	21,14	62,76	9,99	21,38	61,83	9,99
3	20,49	64,28	9,83	20,27	65,17	9,83	20,27	65,17	9,83	20,53	64,12	9,83
4	19,74	66,49	9,71	19,50	67,49	9,71	19,50	67,49	9,71	19,77	66,39	9,71
5	19,23	67,26	9,51	18,99	68,26	9,51	18,99	68,26	9,51	19,27	67,09	9,51
6	19,23	67,13	9,49	19,00	68,11	9,49	19,00	68,11	9,49	19,28	66,95	9,49
7	18,81	69,30	9,54	18,58	70,31	9,54	18,58	70,31	9,54	18,85	69,12	9,54
8	20,60	70,17	10,82	20,44	70,67	10,79	20,44	70,67	10,79	20,64	70,02	10,83
9	22,37	67,91	11,69	22,28	68,19	11,67	22,28	68,19	11,67	22,42	67,78	11,70
10	24,74	63,77	12,68	24,69	63,88	12,67	24,69	63,88	12,67	24,78	63,67	12,69
11	27,31	57,37	13,29	27,32	57,35	13,30	27,32	57,35	13,30	27,33	57,33	13,30
12	29,68	50,61	13,46	29,73	50,55	13,48	29,73	50,55	13,48	29,69	50,60	13,46
13	31,31	45,38	13,24	31,39	45,31	13,29	31,39	45,31	13,29	31,30	45,39	13,24
14	32,18	43,14	13,23	32,27	43,08	13,28	32,27	43,08	13,28	32,16	43,16	13,21
15	32,23	43,79	13,47	32,32	43,73	13,52	32,32	43,73	13,52	32,21	43,81	13,46
16	32,14	45,18	13,84	32,22	45,12	13,88	32,22	45,12	13,88	32,11	45,21	13,82
17	31,78	46,24	13,87	31,85	46,17	13,91	31,85	46,17	13,91	31,74	46,27	13,85
18	30,56	34,09	9,48	30,60	34,02	9,48	30,60	34,02	9,48	30,53	34,14	9,48
19	29,62	38,60	10,18	29,62	38,60	10,18	29,62	38,60	10,18	29,58	38,69	10,18
20	28,38	43,26	10,62	28,34	43,35	10,62	28,34	43,35	10,62	28,35	43,33	10,62
21	27,01	47,67	10,81	26,94	47,88	10,81	26,94	47,88	10,81	27,00	47,70	10,81
22	25,70	52,44	11,01	25,60	52,78	11,01	25,60	52,78	11,01	25,71	52,42	11,01
23	24,52	56,93	11,14	24,38	57,40	11,14	24,38	57,40	11,14	24,53	56,91	11,14
24	23,37	59,79	10,92	23,21	60,39	10,92	23,21	60,39	10,92	23,40	59,71	10,92

Tabela 38. PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto.

Hora	Zona Térmica 01		Zona Térmica 02		Zona Térmica 03		Zona Térmica 04	
	PMV	PPD [%]						
8	-1,70	61,76	-1,76	65,01	-1,76	65,01	-1,68	60,74
9	-1,03	27,75	-1,07	29,45	-1,07	29,45	-1,02	26,98
10	-0,17	5,63	-0,19	5,79	-0,19	5,79	-0,16	5,51
11	0,76	17,30	0,76	17,20	0,76	17,20	0,77	17,63
12	1,63	58,10	1,64	58,50	1,64	58,50	1,63	58,22
13	2,22	85,78	2,24	86,48	2,24	86,48	2,22	85,59
14	2,56	94,73	2,58	95,09	2,58	95,09	2,55	94,50
15	2,61	95,44	2,63	95,79	2,63	95,79	2,59	95,24
16	2,60	95,38	2,62	95,60	2,62	95,60	2,58	95,04
17	2,47	92,93	2,49	93,21	2,49	93,21	2,45	92,52

As Figuras 29 e 30 representam as variações dos índices PMV e PPD, e os valores da humidade relativa interior, respetivamente.

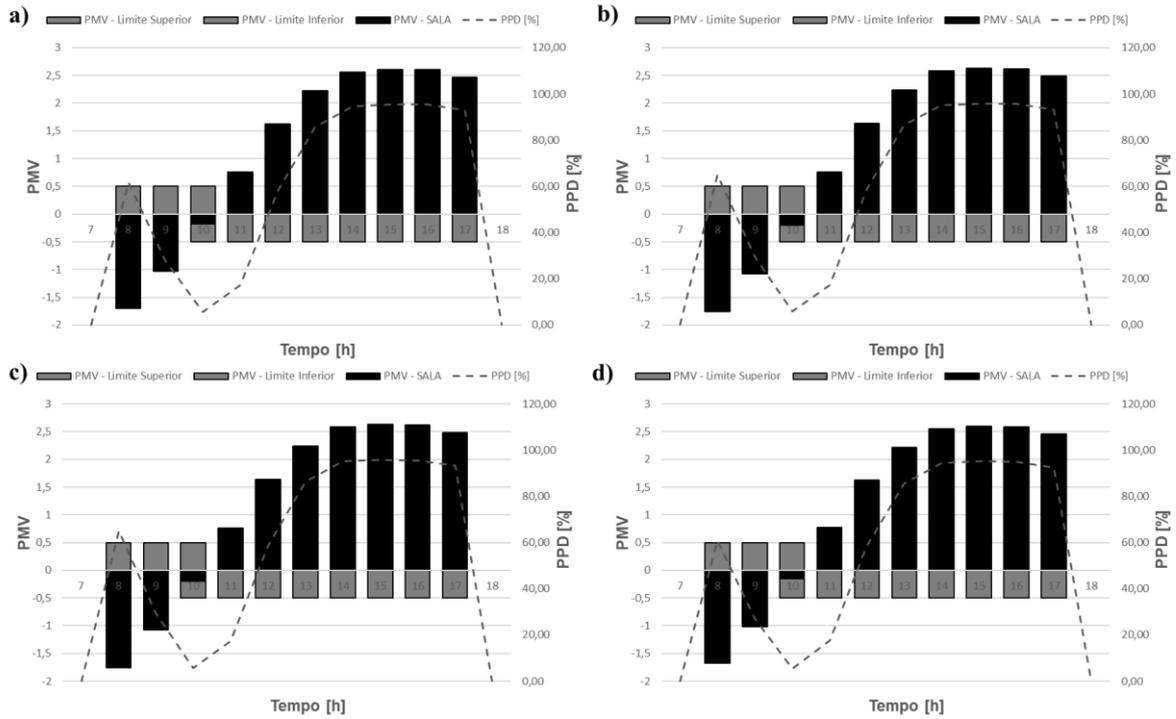


Figura 29. Variação do PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

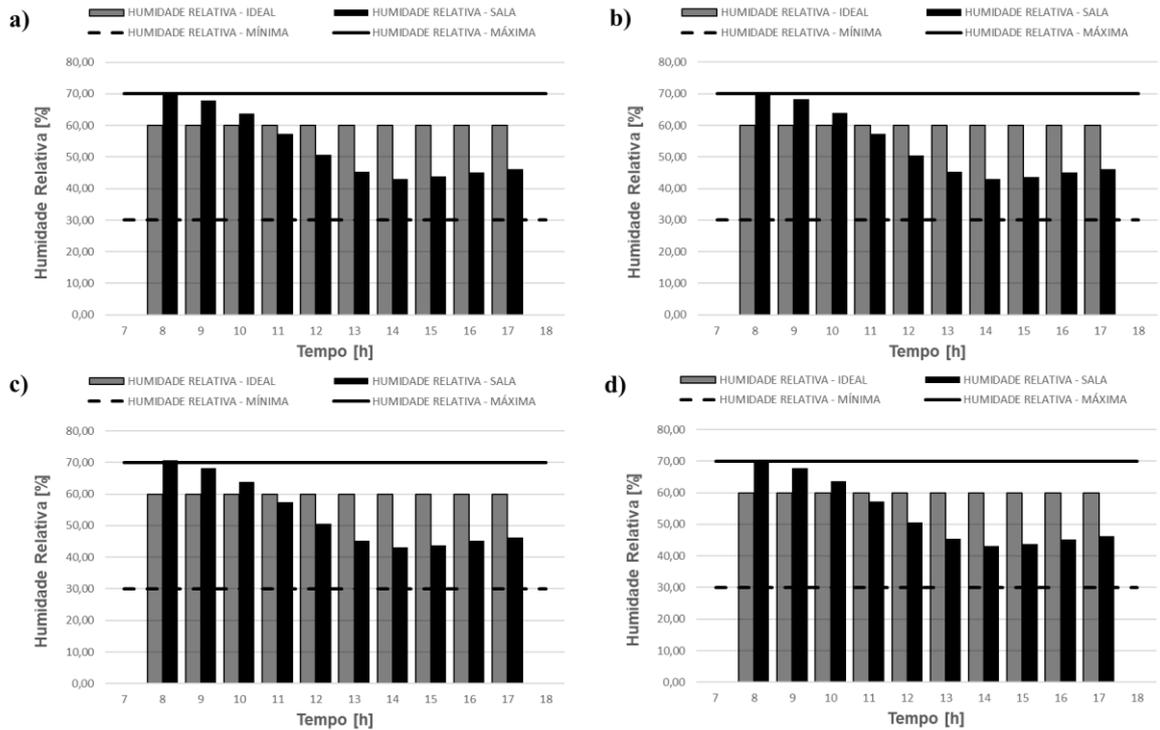


Figura 30. Variação da humidade relativa interior – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

Diferentemente de quando as baterias das unidades terminais estavam em funcionamento, nesta situação em que o sistema está a trabalhar apenas com a ventilação foi possível observar valores de humidade relativa acima do limite que é considerado para conforto e também foi possível verificar valores de PPD na ordem dos 90% para cada zona térmica, ou seja, nesta situação quase todos os ocupantes dos ambientes estão insatisfeitos termicamente.

Chama a atenção o horário das 10 h em que a temperatura interior de todas as zonas térmicas é de aproximadamente 25°C e a humidade relativa ligeiramente superior aos 60%. É possível destacar este horário como sendo o melhor momento para este cenário, em que foi possível observar índices PMV próximo a zero e uma percentagem de pessoas insatisfeitas de aproximadamente 6% em cada zona.

Esta situação só é possível uma vez que este horário representa o momento em que a temperatura interior começa a aumentar devido aos ganhos térmicos e o conteúdo de humidade ainda não é tão elevado.

Outra análise realizada foi quanto a variação da qualidade térmica das envolventes, neste caso foram mantidas as condições de cada zona térmica e o modo de funcionamento das UT, os valores obtidos para esta análise estão apresentados nas Tabelas 39 e 40.

Tabela 39. PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto.

Hora	Zona Térmica 01		Zona Térmica 02		Zona Térmica 03		Zona Térmica 04	
	PMV	PPD [%]						
8	-1,22	36,43	-1,24	37,20	-1,24	37,20	-1,20	35,38
9	-0,65	14,00	-0,66	14,18	-0,66	14,18	-0,64	13,55
10	0,08	5,13	0,08	5,12	0,08	5,12	0,08	5,15
11	0,85	20,40	0,86	20,69	0,86	20,69	0,86	20,55
12	1,54	53,41	1,56	54,10	1,56	54,10	1,54	53,06
13	2,02	77,97	2,03	78,34	2,03	78,34	2,01	77,23
14	2,25	86,69	2,26	86,97	2,26	86,97	2,23	85,95
15	2,27	87,27	2,27	87,57	2,27	87,57	2,24	86,57
16	2,26	87,14	2,27	87,31	2,27	87,31	2,24	86,31
17	2,17	83,78	2,17	83,88	2,17	83,88	2,15	83,03

Tabela 40. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto.

Hora	Zona Térmica 01			Zona Térmica 02			Zona Térmica 03			Zona Térmica 04		
	T [°C]	HR [%]	W [g/kg]									
1	23,09	56,64	10,16	22,98	57,00	10,16	22,98	57,00	10,16	23,14	56,47	10,16
2	22,12	59,10	9,99	22,00	59,54	9,99	22,00	59,54	9,99	22,17	58,91	9,99
3	21,29	61,19	9,83	21,17	61,66	9,83	21,17	61,66	9,83	21,35	60,99	9,83
4	20,52	63,38	9,71	20,39	63,88	9,71	20,39	63,88	9,71	20,57	63,17	9,71
5	19,99	64,16	9,51	19,86	64,66	9,51	19,86	64,66	9,51	20,06	63,90	9,51
6	20,15	63,42	9,49	20,03	63,88	9,49	20,03	63,88	9,49	20,21	63,20	9,49
7	19,52	66,29	9,54	19,40	66,79	9,54	19,40	66,79	9,54	19,57	66,07	9,54
8	21,74	66,61	11,02	21,70	66,73	11,01	21,70	66,73	11,01	21,80	66,44	11,03
9	23,38	65,03	11,90	23,36	65,07	11,90	23,36	65,07	11,90	23,43	64,91	11,91
10	25,47	61,94	12,87	25,48	61,94	12,87	25,48	61,94	12,87	25,49	61,90	12,88
11	27,72	56,51	13,42	27,76	56,46	13,43	27,76	56,46	13,43	27,74	56,49	13,42
12	29,75	50,39	13,46	29,80	50,33	13,48	29,80	50,33	13,48	29,74	50,41	13,45
13	31,17	45,37	13,13	31,21	45,33	13,16	31,21	45,33	13,16	31,13	45,40	13,12
14	31,82	43,26	12,99	31,86	43,23	13,02	31,86	43,23	13,02	31,77	43,30	12,97
15	31,83	43,96	13,21	31,88	43,93	13,24	31,88	43,93	13,24	31,78	44,00	13,19
16	31,76	45,37	13,59	31,79	45,34	13,61	31,79	45,34	13,61	31,70	45,42	13,56
17	31,45	46,40	13,66	31,48	46,37	13,68	31,48	46,37	13,68	31,41	46,44	13,64
18	30,18	34,84	9,48	30,17	34,85	9,48	30,17	34,85	9,48	30,14	34,92	9,48
19	29,40	39,08	10,18	29,38	39,12	10,18	29,38	39,12	10,18	29,38	39,14	10,18
20	28,49	42,97	10,62	28,46	43,05	10,62	28,46	43,05	10,62	28,49	42,98	10,62
21	27,41	46,58	10,81	27,35	46,73	10,81	27,35	46,73	10,81	27,41	46,55	10,81
22	26,28	50,69	11,01	26,20	50,91	11,01	26,20	50,91	11,01	26,30	50,62	11,01
23	25,19	54,70	11,14	25,11	54,96	11,14	25,11	54,96	11,14	25,22	54,58	11,14
24	24,11	57,19	10,92	24,01	57,53	10,92	24,01	57,53	10,92	24,16	57,02	10,92

As Figuras 31 e 32 representam as variações dos índices PMV e PPD, e a variação da humidade relativa interior, respetivamente.

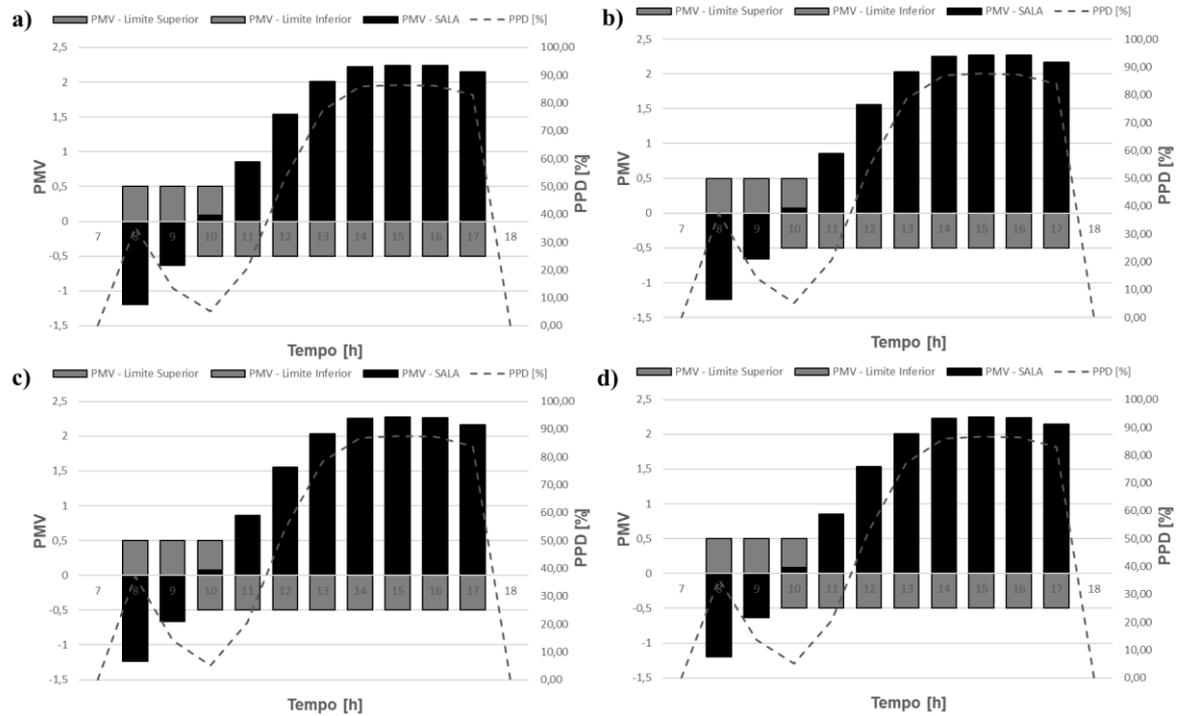


Figura 31. Variação do PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

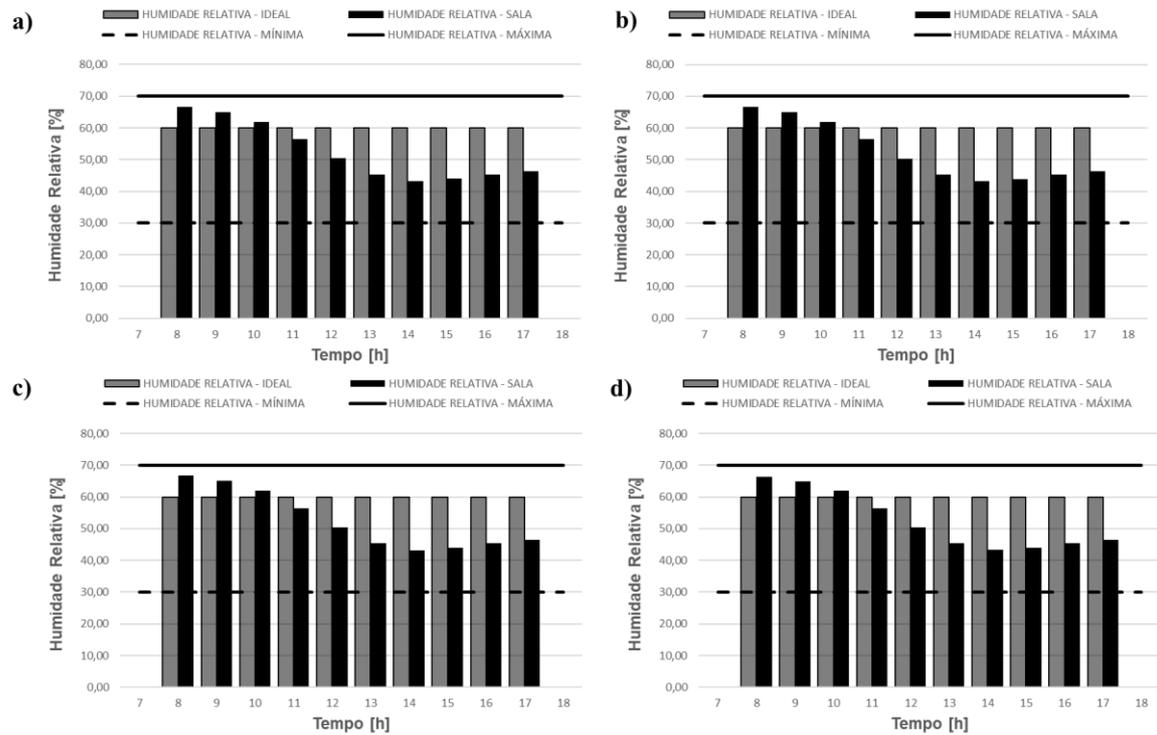


Figura 32. Variação da humidade relativa interior – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 13 de agosto a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

A melhoria da qualidade térmica do material das envolventes resultou em uma redução média de aproximadamente 8% no número de pessoas insatisfeitas em cada zona térmica no período de ocupação. Entretanto, esta redução foi mais acentuada nas primeiras horas de ocupação em que foi possível observar uma redução de aproximadamente 25% e 14% do índice PPD para as 8 h e 9 h, respetivamente.

Entretanto, apenas a alteração do material das envolventes mostrou-se não ser suficiente para gerar condições de conforto térmico aos ocupantes dos espaços. Porém, é importante ressaltar que esta análise foi realizada a considerar o dia de projeto de verão e uma vez que os espaços analisados são salas de aula, vale destacar que estes espaços jamais terão a ocupação considerada no período do dia de projeto de verão.

Sendo assim, ao analisar um dia de ocupação mais coerente com a aplicação das zonas estudadas, como por exemplo 18 de setembro, foram obtidos os valores apresentados nas Tabelas 41 e 42.

Tabela 41. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 18 de setembro.

Hora	Zona Térmica 01			Zona Térmica 02			Zona Térmica 03			Zona Térmica 04		
	T [°C]	HR [%]	W [g/kg]									
1	19,28	73,11	10,38	19,20	73,47	10,38	19,20	73,47	10,38	19,33	72,88	10,38
2	18,55	74,32	10,08	18,45	74,75	10,08	18,45	74,75	10,08	18,60	74,08	10,08
3	17,84	75,81	9,83	17,74	76,26	9,83	17,74	76,26	9,83	17,89	75,57	9,83
4	17,30	77,08	9,65	17,21	77,54	9,65	17,21	77,54	9,65	17,35	76,84	9,65
5	16,83	77,19	9,38	16,74	77,63	9,38	16,74	77,63	9,38	16,89	76,89	9,38
6	16,58	77,69	9,29	16,49	78,16	9,29	16,49	78,16	9,29	16,63	77,45	9,29
7	16,41	78,04	9,23	16,33	78,46	9,23	16,33	78,46	9,23	16,46	77,79	9,23
8	18,73	75,34	10,34	18,73	75,35	10,34	18,73	75,35	10,34	18,79	75,13	10,35
9	20,08	73,29	10,95	20,10	73,23	10,95	20,10	73,23	10,95	20,12	73,15	10,96
10	21,72	71,30	11,79	21,75	71,20	11,80	21,75	71,20	11,80	21,74	71,24	11,80
11	23,40	68,38	12,55	23,46	68,24	12,56	23,46	68,24	12,56	23,42	68,34	12,55
12	24,97	64,19	12,94	25,03	64,05	12,96	25,03	64,05	12,96	24,96	64,21	12,94
13	26,09	61,45	13,25	26,15	61,33	13,27	26,15	61,33	13,27	26,06	61,51	13,24
14	26,66	59,51	13,27	26,72	59,41	13,29	26,72	59,41	13,29	26,62	59,59	13,26
15	26,74	59,09	13,24	26,80	58,98	13,26	26,80	58,98	13,26	26,70	59,17	13,22
16	26,68	59,02	13,17	26,73	58,93	13,19	26,73	58,93	13,19	26,63	59,12	13,16
17	26,50	58,88	13,00	26,54	58,79	13,02	26,54	58,79	13,02	26,46	58,95	12,99
18	25,00	49,92	10,04	25,00	49,91	10,04	25,00	49,91	10,04	24,97	50,02	10,04
19	24,33	52,32	10,11	24,32	52,35	10,11	24,32	52,35	10,11	24,31	52,40	10,11
20	23,55	54,38	10,02	23,52	54,46	10,02	23,52	54,46	10,02	23,54	54,39	10,02
21	22,65	56,40	9,84	22,61	56,54	9,84	22,61	56,54	9,84	22,66	56,36	9,84
22	21,80	59,09	9,79	21,74	59,29	9,79	21,74	59,29	9,79	21,82	59,00	9,79
23	20,93	61,73	9,70	20,87	61,96	9,70	20,87	61,96	9,70	20,96	61,59	9,70
24	20,08	62,91	9,37	20,00	63,21	9,37	20,00	63,21	9,37	20,13	62,72	9,37

Tabela 42. PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 18 de setembro.

Hora	Zona Térmica 01		Zona Térmica 02		Zona Térmica 03		Zona Térmica 04	
	PMV	PPD [%]						
8	-2,32	89,05	-2,32	88,99	-2,32	88,99	-2,30	88,39
9	-1,84	69,01	-1,83	68,51	-1,83	68,51	-1,82	68,15
10	-1,24	37,26	-1,22	36,61	-1,22	36,61	-1,23	36,94
11	-0,65	14,06	-0,63	13,49	-0,63	13,49	-0,65	13,91
12	-0,12	5,28	-0,09	5,18	-0,09	5,18	-0,12	5,30
13	0,28	6,61	0,30	6,85	0,30	6,85	0,26	6,45
14	0,48	9,76	0,49	10,14	0,49	10,14	0,46	9,40
15	0,51	10,38	0,52	10,81	0,52	10,81	0,49	10,00
16	0,49	10,04	0,50	10,37	0,50	10,37	0,47	9,60
17	0,42	8,79	0,44	9,06	0,44	9,06	0,41	8,49

As Figuras 33 e 34 representam as variações dos índices PMV e PPD, e a variação da humidade relativa interior, referentes aos dados apresentados nas Tabelas 41 e 42, respetivamente.

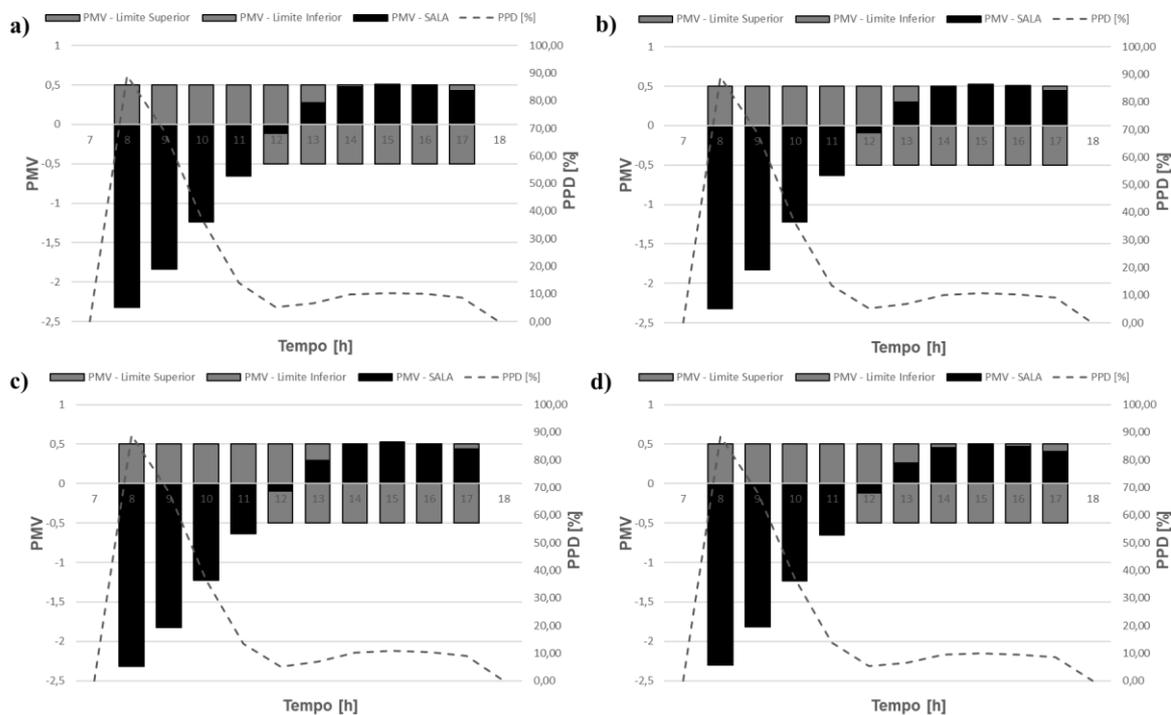


Figura 33. Variação do PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 18 de setembro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

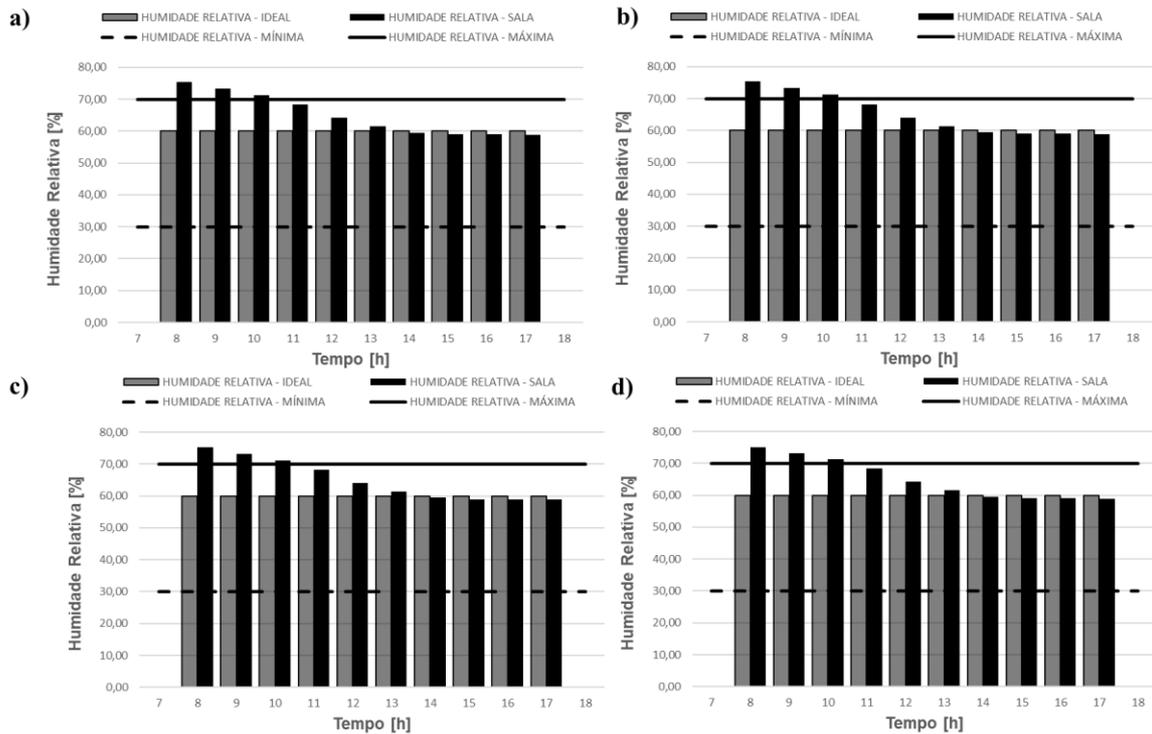


Figura 34. Variação da humidade relativa interior – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 100% de ar novo – 18 de setembro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

Conforme observado nas Figuras 33 e 34, as três primeiras horas de ocupação apresentam elevado número de pessoas insatisfeitas com o índice PPD a apresentar um valor médio de aproximadamente 65% de pessoas insatisfeitas em cada zona no período referido.

Entretanto, após a quarta hora este índice começa a reduzir até aproximadamente 14% e a partir das 12 h os valores de PMV estão dentro do intervalo expectável, fato este que representa uma percentagem de aproximadamente apenas 10% dos ocupantes insatisfeitos.

Desta maneira é possível verificar que as baterias não necessitam estar ligadas durante todo o perfil de ocupação na estação de arrefecimento, em que, dependendo do dia e do horário de ocupação apenas a ventilação é capaz de manter condições de conforto térmico para os ocupantes-

5.2. ANÁLISE DOS PARÂMETROS INTERIORES E CONFORTO TÉRMICO – MODO DE AQUECIMENTO

A análise para o modo de funcionamento de aquecimento foi realizada de forma análoga à realizada para a estação de arrefecimento. Primeiramente foi realizada o estudo das zonas térmicas que apresentam envolventes com baixa qualidade térmica, perfil de ocupação e funcionamento da bateria de cada unidade terminal entre 8 h e 18 h.

As Tabelas 43 e 44 apresentam os valores dos parâmetros interiores e dos índices PMV e PPD, respetivamente. Sendo estes demonstrados graficamente nas Figuras 35 e 36.

Tabela 43. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de aquecimento – 10 de janeiro.

Hora	Zona Térmica 01			Zona Térmica 02			Zona Térmica 03			Zona Térmica 04		
	T [°C]	HR [%]	W [g/kg]									
1	15,94	57,42	6,56	15,95	57,37	6,56	15,95	57,37	6,56	15,93	57,43	6,56
2	15,90	57,48	6,55	15,91	57,43	6,55	15,91	57,43	6,55	15,89	57,49	6,55
3	15,85	57,58	6,54	15,86	57,55	6,54	15,86	57,55	6,54	15,84	57,60	6,54
4	15,80	57,65	6,53	15,81	57,60	6,53	15,81	57,60	6,53	15,80	57,67	6,53
5	15,79	57,59	6,52	15,80	57,54	6,52	15,80	57,54	6,52	15,78	57,60	6,52
6	15,80	58,22	6,59	15,81	58,17	6,59	15,81	58,17	6,59	15,79	58,23	6,59
7	15,84	58,33	6,63	15,85	58,27	6,63	15,85	58,27	6,63	15,83	58,34	6,63
8	20,00	53,42	7,90	20,00	53,42	7,90	20,00	53,42	7,90	20,00	53,42	7,90
9	20,00	54,44	8,05	20,00	54,44	8,05	20,00	54,44	8,05	20,00	54,44	8,05
10	20,00	55,25	8,17	20,00	55,24	8,17	20,00	55,24	8,17	20,00	55,25	8,17
11	20,00	56,68	8,39	20,00	56,67	8,39	20,00	56,67	8,39	20,00	56,68	8,39
12	20,00	57,45	8,50	20,00	57,44	8,50	20,00	57,44	8,50	20,00	57,45	8,50
13	20,00	57,86	8,57	20,00	57,85	8,57	20,00	57,85	8,57	20,00	57,86	8,57
14	20,00	58,18	8,62	20,00	58,18	8,61	20,00	58,18	8,61	20,00	58,18	8,62
15	20,00	58,18	8,62	20,00	58,18	8,61	20,00	58,18	8,61	20,00	58,18	8,62
16	20,00	57,85	8,57	20,00	57,84	8,56	20,00	57,84	8,56	20,00	57,85	8,57
17	20,00	57,52	8,52	20,00	57,51	8,51	20,00	57,51	8,51	20,00	57,52	8,52
18	16,54	61,58	7,32	16,59	61,37	7,32	16,59	61,37	7,32	16,54	61,58	7,32
19	16,43	61,95	7,31	16,47	61,77	7,31	16,47	61,77	7,31	16,43	61,95	7,31
20	16,29	62,04	7,26	16,32	61,89	7,26	16,32	61,89	7,26	16,29	62,04	7,26
21	16,16	62,03	7,20	16,20	61,90	7,20	16,20	61,90	7,20	16,16	62,04	7,20
22	16,09	61,08	7,06	16,12	60,97	7,06	16,12	60,97	7,06	16,09	61,09	7,06
23	16,04	60,81	7,00	16,06	60,73	7,00	16,06	60,73	7,00	16,04	60,82	7,00
24	16,00	59,76	6,86	16,02	59,69	6,86	16,02	59,69	6,86	15,99	59,77	6,86

Tabela 44. PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de aquecimento – 10 de janeiro.

Hora	Zona Térmica 01		Zona Térmica 02		Zona Térmica 03		Zona Térmica 04	
	PMV	PPD [%]						
8	-0,90	22,22	-0,88	21,58	-0,88	21,58	-0,90	22,22
9	-0,89	21,79	-0,87	21,16	-0,87	21,16	-0,89	21,79
10	-0,87	21,13	-0,85	20,50	-0,85	20,50	-0,87	21,13
11	-0,85	20,47	-0,84	19,86	-0,84	19,86	-0,85	20,47
12	-0,83	19,67	-0,81	19,08	-0,81	19,08	-0,83	19,67
13	-0,82	19,13	-0,80	18,55	-0,80	18,55	-0,82	19,13
14	-0,80	18,61	-0,78	18,04	-0,78	18,04	-0,80	18,61
15	-0,80	18,61	-0,78	18,04	-0,78	18,04	-0,80	18,61
16	-0,79	18,40	-0,78	17,83	-0,78	17,83	-0,79	18,40
17	-0,80	18,47	-0,78	17,90	-0,78	17,90	-0,80	18,47

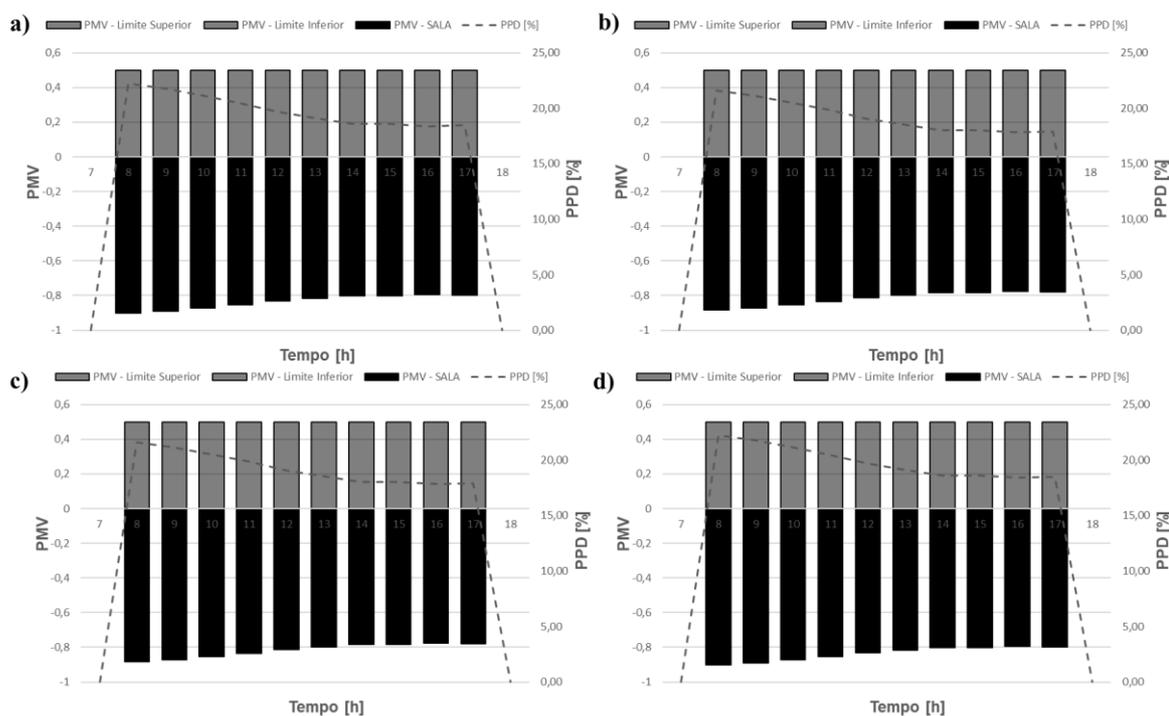


Figura 35. Variação do PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de aquecimento– 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

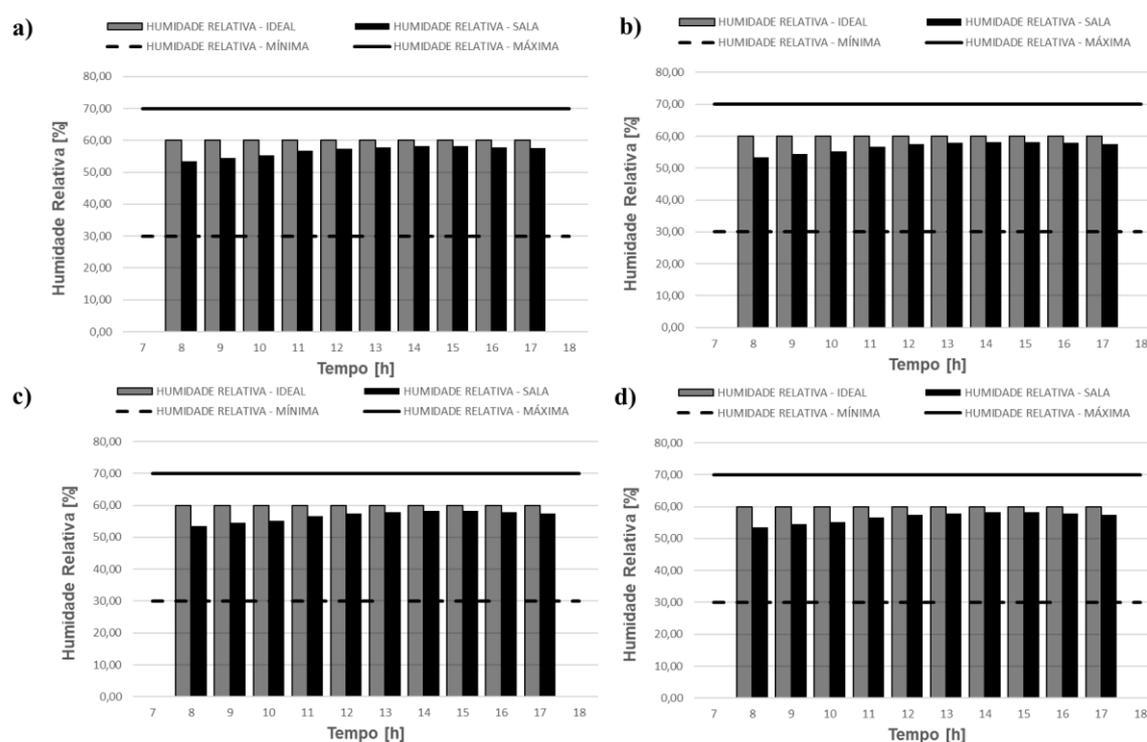


Figura 36. Variação da humidade relativa interior – baixa qualidade térmica, bateria ligada e modo de aquecimento – 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

Conforme apresentado nas Tabelas 43 e 44, e Figuras 35 e 36 é possível observar que para os parâmetros definidos o valor médio do índice PMV para cada zona térmica é de aproximadamente -0,83, fato este que representa uma média de aproximadamente 20% dos ocupantes insatisfeitos termicamente em cada sala analisada.

A redução deste alto índice de insatisfeitos pode ser obtida a partir de algumas alterações simples, tais como, alteração do valor definido para a temperatura interior ou da velocidade do ar a ser insuflado.

As Tabelas 45 e 46 apresentam os valores dos parâmetros internos e dos índices PMV e PPD respetivamente, para o mesmo perfil de ocupação analisado anteriormente. Porém neste caso a bateria da UT está desligada apenas com o funcionamento do sistema de ventilação, em que foi considerado 10% de ar novo no caudal de insuflação.

Tabela 45. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro.

Hora	Zona Térmica 01			Zona Térmica 02			Zona Térmica 03			Zona Térmica 04		
	T	HR	W									
	[°C]	[%]	[g/kg]									
1	13,34	67,90	6,56	13,35	67,88	6,56	13,35	67,88	6,56	13,34	67,91	6,56
2	13,30	67,98	6,55	13,30	67,96	6,55	13,30	67,96	6,55	13,30	67,99	6,55
3	13,25	68,11	6,54	13,25	68,10	6,54	13,25	68,10	6,54	13,25	68,12	6,54
4	13,20	68,19	6,53	13,21	68,17	6,53	13,21	68,17	6,53	13,20	68,20	6,53
5	13,19	68,12	6,52	13,19	68,10	6,52	13,19	68,10	6,52	13,19	68,13	6,52
6	13,20	68,87	6,59	13,20	68,85	6,59	13,20	68,85	6,59	13,20	68,88	6,59
7	13,24	68,99	6,63	13,25	68,97	6,63	13,25	68,97	6,63	13,24	69,01	6,63
8	13,69	72,87	7,21	13,72	72,84	7,22	13,72	72,84	7,22	13,69	72,87	7,21
9	13,79	74,30	7,40	13,83	74,27	7,42	13,83	74,27	7,42	13,79	74,30	7,41
10	13,91	75,40	7,57	13,95	75,37	7,59	13,95	75,37	7,59	13,91	75,40	7,58
11	14,00	77,44	7,83	14,05	77,41	7,85	14,05	77,41	7,85	14,00	77,44	7,83
12	14,10	78,51	7,99	14,16	78,49	8,02	14,16	78,49	8,02	14,11	78,51	7,99
13	14,19	79,08	8,10	14,24	79,06	8,12	14,24	79,06	8,12	14,19	79,08	8,10
14	14,27	79,54	8,18	14,32	79,53	8,22	14,32	79,53	8,22	14,27	79,53	8,19
15	14,28	79,53	8,19	14,34	79,53	8,22	14,34	79,53	8,22	14,28	79,53	8,19
16	14,33	79,06	8,17	14,39	79,07	8,20	14,39	79,07	8,20	14,33	79,06	8,17
17	14,34	78,59	8,13	14,40	78,60	8,16	14,40	78,60	8,16	14,35	78,59	8,13
18	13,95	72,71	7,32	14,00	72,49	7,32	14,00	72,49	7,32	13,95	72,70	7,32
19	13,84	73,17	7,31	13,88	73,00	7,31	13,88	73,00	7,31	13,84	73,16	7,31
20	13,70	73,30	7,26	13,73	73,16	7,26	13,73	73,16	7,26	13,70	73,30	7,26
21	13,57	73,31	7,20	13,60	73,20	7,20	13,60	73,20	7,20	13,57	73,31	7,20
22	13,50	72,20	7,06	13,52	72,11	7,06	13,52	72,11	7,06	13,50	72,20	7,06
23	13,44	71,89	7,00	13,46	71,84	7,00	13,46	71,84	7,00	13,44	71,89	7,00
24	13,40	70,66	6,86	13,41	70,62	6,86	13,41	70,62	6,86	13,40	70,66	6,86

Tabela 46. PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro.

Hora	Zona Térmica 01		Zona Térmica 02		Zona Térmica 03		Zona Térmica 04	
	PMV	PPD [%]						
8	-2,43	91,82	-2,40	91,23	-2,40	91,23	-2,43	91,82
9	-2,39	90,87	-2,36	90,20	-2,36	90,20	-2,39	90,87
10	-2,34	89,58	-2,31	88,81	-2,31	88,81	-2,34	89,57
11	-2,30	88,39	-2,27	87,53	-2,27	87,53	-2,30	88,37
12	-2,25	86,86	-2,22	85,89	-2,22	85,89	-2,25	86,84
13	-2,22	85,65	-2,19	84,58	-2,19	84,58	-2,22	85,62
14	-2,18	84,43	-2,15	83,27	-2,15	83,27	-2,18	84,39
15	-2,18	84,28	-2,15	83,11	-2,15	83,11	-2,18	84,24
16	-2,16	83,60	-2,13	82,38	-2,13	82,38	-2,16	83,56
17	-2,16	83,55	-2,13	82,33	-2,13	82,33	-2,16	83,51

As Figuras 37 e 38 representam graficamente os dados presentes nas Tabelas 45 e 46, respetivamente.

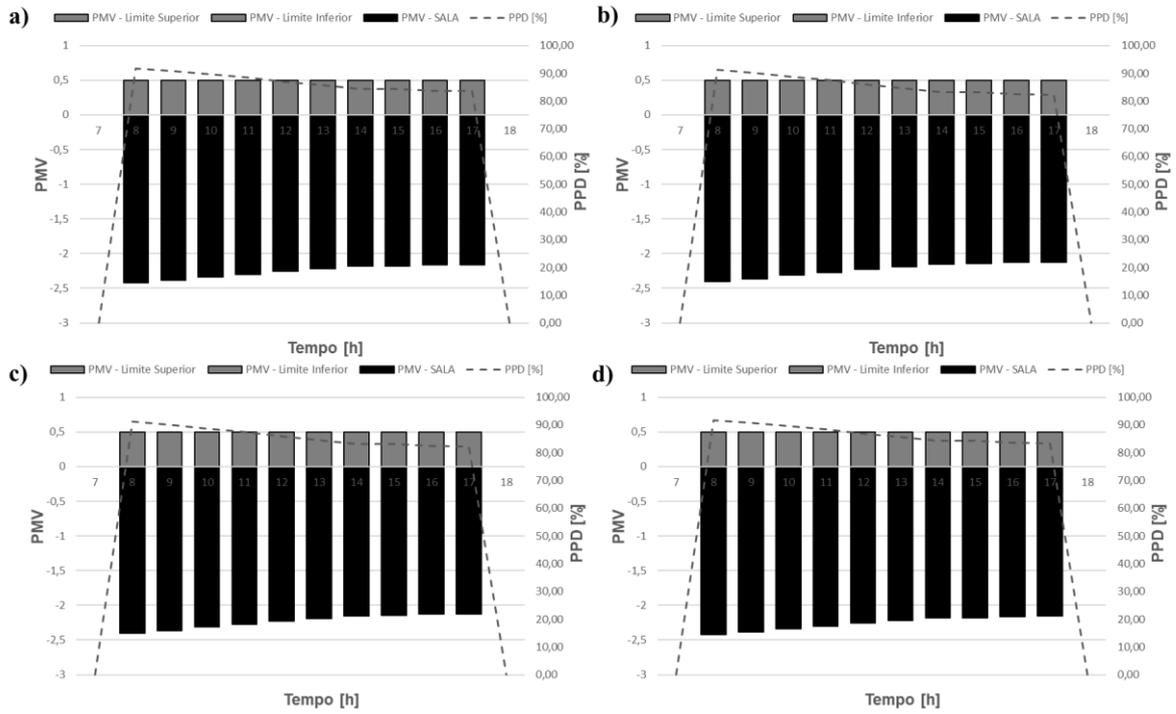


Figura 37. Variação do PMV e PPD – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

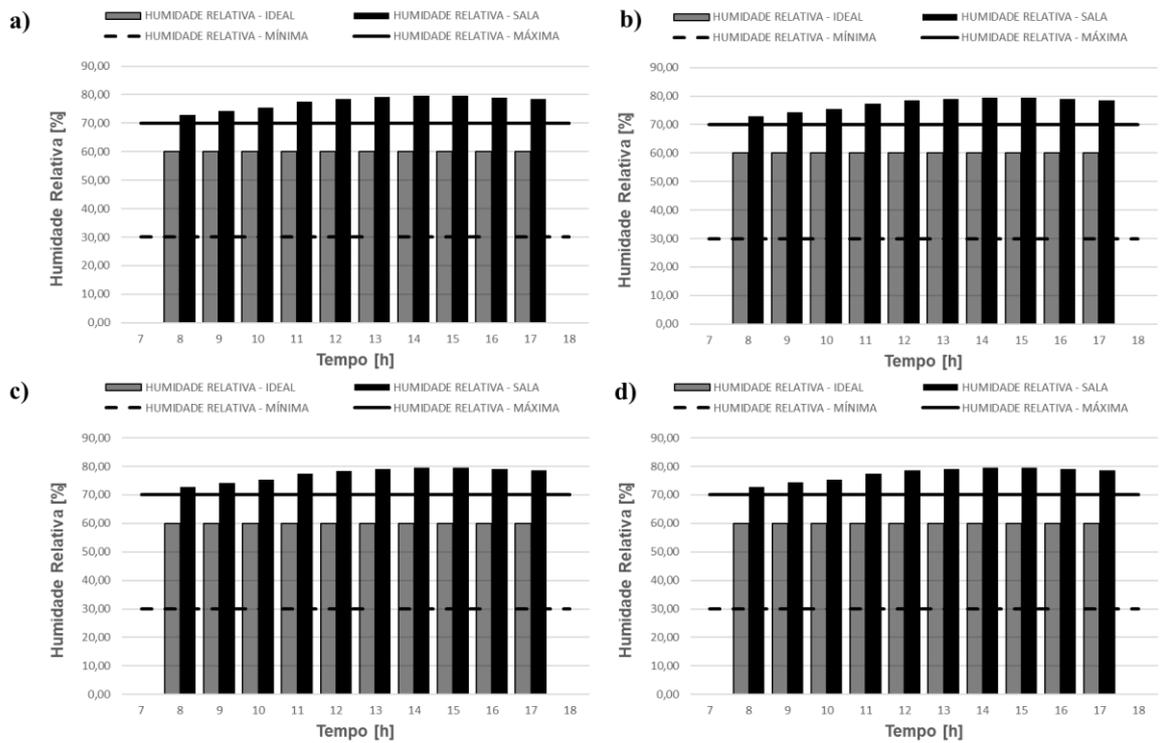


Figura 38. Variação da humidade relativa interior – baixa qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

Conforme observado nas Figuras 37 e 38 todas as zonas térmicas apresentam alto índice de PPD com média de aproximadamente 86% ocupantes desconfortáveis. Este valor é expectável uma vez que o PMV médio de todas as zonas térmicas é de aproximadamente -2,25 e que os valores de humidade relativa estão todos acima do limite aceitável para a sensação de conforto.

Logo, é possível observar que ter as baterias das unidades terminais desligadas e apenas a ventilação ligada com 10% de ar novo não é uma boa solução para quando se analisa o conforto térmico.

De forma a analisar a viabilidade deste modo de funcionamento do sistema, foi realizada a mesma simulação, entretanto com envolventes com melhor qualidade térmica. Sendo os valores destas análises apresentados nas Tabelas 47 e 48.

Tabela 47. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro

Hora	Zona Térmica 01			Zona Térmica 02			Zona Térmica 03			Zona Térmica 04		
	T [°C]	HR [%]	W [g/kg]									
1	16,14	56,70	6,56	16,15	56,64	6,56	16,15	56,64	6,56	16,13	56,71	6,56
2	16,09	56,79	6,55	16,10	56,74	6,55	16,10	56,74	6,55	16,08	56,80	6,55
3	16,03	56,90	6,54	16,04	56,86	6,54	16,04	56,86	6,54	16,03	56,91	6,54
4	15,99	56,96	6,53	16,00	56,91	6,53	16,00	56,91	6,53	15,98	56,98	6,53
5	15,97	56,92	6,52	15,98	56,87	6,52	15,98	56,87	6,52	15,97	56,93	6,52
6	15,96	57,59	6,59	15,98	57,53	6,59	15,98	57,53	6,59	15,96	57,61	6,59
7	16,00	57,73	6,63	16,02	57,66	6,63	16,02	57,66	6,63	16,00	57,74	6,63
8	16,67	62,61	7,51	16,71	62,64	7,53	16,71	62,64	7,53	16,67	62,62	7,51
9	16,80	63,95	7,73	16,85	63,98	7,76	16,85	63,98	7,76	16,80	63,95	7,74
10	16,93	65,04	7,94	16,99	65,09	7,97	16,99	65,09	7,97	16,94	65,04	7,94
11	17,03	66,87	8,22	17,09	66,93	8,25	17,09	66,93	8,25	17,04	66,88	8,22
12	17,14	67,92	8,40	17,20	68,00	8,45	17,20	68,00	8,45	17,14	67,93	8,41
13	17,22	68,53	8,53	17,29	68,62	8,57	17,29	68,62	8,57	17,23	68,54	8,53
14	17,30	69,03	8,63	17,37	69,13	8,68	17,37	69,13	8,68	17,31	69,04	8,64
15	17,32	69,06	8,65	17,39	69,17	8,70	17,39	69,17	8,70	17,33	69,07	8,65
16	17,38	68,77	8,64	17,44	68,88	8,69	17,44	68,88	8,69	17,39	68,78	8,65
17	17,40	68,41	8,61	17,46	68,53	8,66	17,46	68,53	8,66	17,40	68,42	8,61
18	16,86	60,34	7,32	16,90	60,17	7,32	16,90	60,17	7,32	16,86	60,33	7,32
19	16,71	60,87	7,31	16,75	60,71	7,31	16,75	60,71	7,31	16,71	60,86	7,31
20	16,55	61,00	7,26	16,58	60,88	7,26	16,58	60,88	7,26	16,55	61,00	7,26
21	16,41	61,05	7,20	16,44	60,95	7,20	16,44	60,95	7,20	16,41	61,05	7,20
22	16,33	60,16	7,06	16,36	60,07	7,06	16,36	60,07	7,06	16,33	60,16	7,06
23	16,25	59,97	7,00	16,27	59,90	7,00	16,27	59,90	7,00	16,25	59,98	7,00
24	16,20	58,98	6,86	16,22	58,91	6,86	16,22	58,91	6,86	16,20	58,99	6,86

Tabela 48. PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro.

Hor a	Zona Térmica 01		Zona Térmica 02		Zona Térmica 03		Zona Térmica 04	
	PMV	PPD [%]	PMV	PPD [%]	PMV	PPD [%]	PMV	PPD [%]
	8	-1,61	57,09	-1,59	56,10	-1,59	56,10	-1,61
9	-1,57	54,94	-1,55	53,80	-1,55	53,80	-1,57	54,91
10	-1,52	52,37	-1,50	51,17	-1,50	51,17	-1,52	52,33
11	-1,48	50,21	-1,46	48,97	-1,46	48,97	-1,48	50,16
12	-1,44	47,94	-1,42	46,65	-1,42	46,65	-1,44	47,87
13	-1,41	46,21	-1,38	44,90	-1,38	44,90	-1,41	46,14
14	-1,38	44,65	-1,35	43,31	-1,35	43,31	-1,38	44,57
15	-1,37	44,35	-1,35	43,00	-1,35	43,00	-1,37	44,27
16	-1,36	43,35	-1,33	42,07	-1,33	42,07	-1,35	43,26
17	-1,35	43,22	-1,33	41,93	-1,33	41,93	-1,35	43,13

As Figuras 39 e 40 representam graficamente os valores apresentados nas Tabelas 47 e 48 para cada zona térmica, respetivamente.

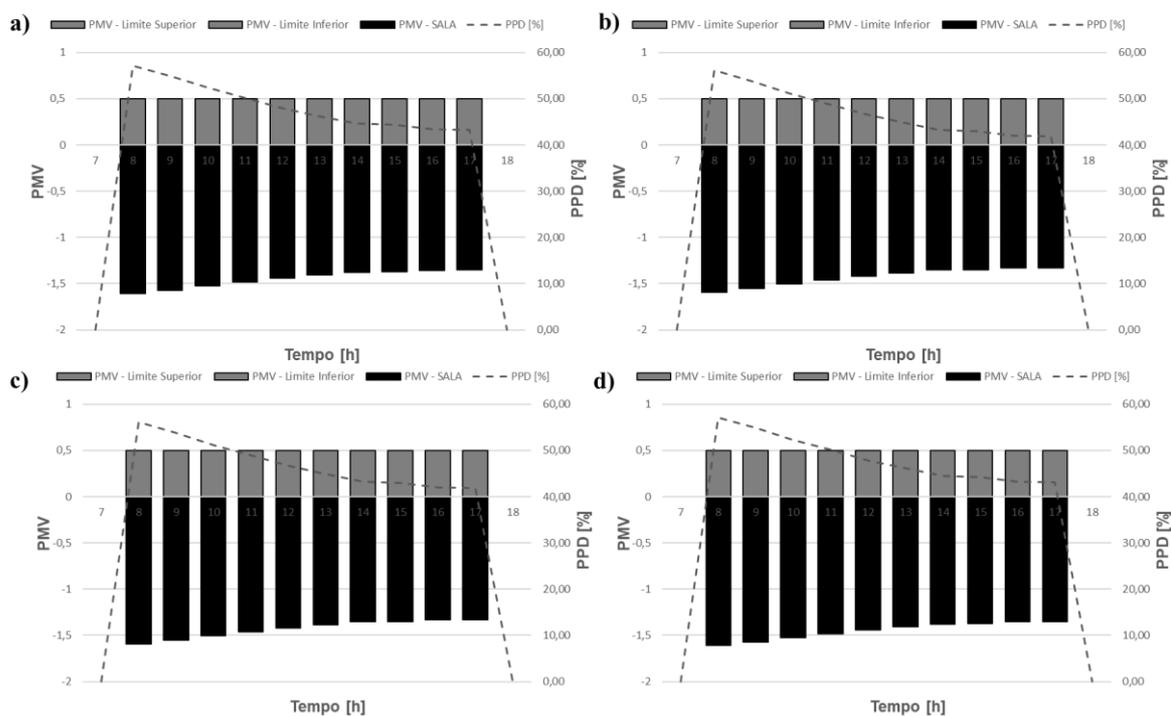


Figura 39. Variação do PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

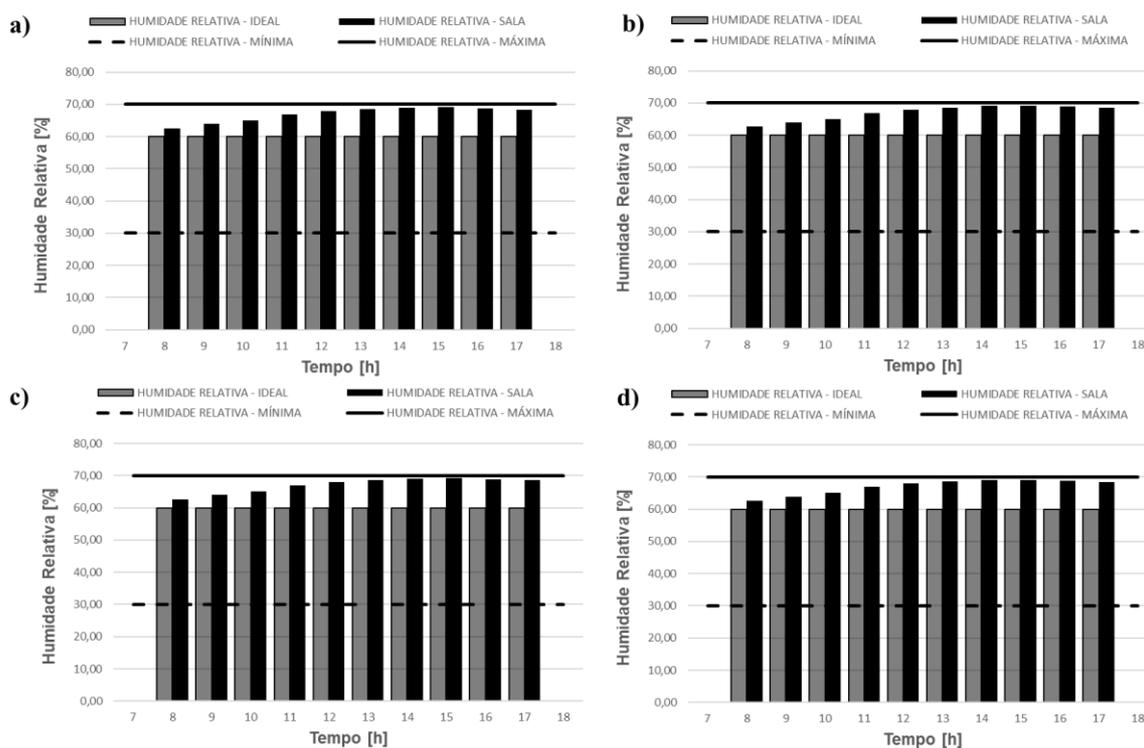


Figura 40. Variação da humidade relativa interior – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 10 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

Conforme observado nas Figuras 39 e 40, foi possível notar que a percentagem de pessoas insatisfeitas termicamente diminuiu aproximadamente em média 45% quando comparado às zonas térmicas com envolves de baixa qualidade térmica.

O índice PMV apresentou uma redução média de aproximadamente 0,8 enquanto a humidade relativa interior reduziu aproximadamente em média 9,5%. Entretanto é importante ressaltar que mesmo com a redução de cada parâmetro ainda assim não foi possível obter valores dentro do intervalo aceitável.

Uma vez que o dia 10 de janeiro é considerado como o dia de projeto da estação de aquecimento para a cidade Faro, foi realizada simulação para outro dia da referida estação, com os mesmos parâmetros adotados anteriormente, de modo a verificar se apenas a ventilação é capaz de gerar situações de conforto térmico aos ocupantes.

O dia selecionado foi 22 de janeiro, sendo este considerado como um dia de inverno com céu limpo, os valores obtidos estão apresentados nas Tabelas 49 e 50.

Tabela 49. Temperatura interior, humidade relativa e conteúdo de humidade – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 22 de janeiro

Hora	Zona Térmica 01			Zona Térmica 02			Zona Térmica 03			Zona Térmica 04		
	T	HR	W									
	[°C]	[%]	[g/kg]									
1	16,22	57,79	6,73	16,24	57,73	6,73	16,24	57,73	6,73	16,22	57,80	6,73
2	16,16	53,83	6,24	16,17	53,79	6,24	16,17	53,79	6,24	16,15	53,84	6,24
3	16,09	50,48	5,82	16,09	50,45	5,82	16,09	50,45	5,82	16,08	50,49	5,82
4	16,03	47,93	5,50	16,04	47,89	5,50	16,04	47,89	5,50	16,03	47,94	5,50
5	16,01	46,35	5,31	16,02	46,32	5,31	16,02	46,32	5,31	16,00	46,36	5,31
6	15,99	45,11	5,16	16,01	45,07	5,16	16,01	45,07	5,16	15,99	45,12	5,16
7	16,03	44,70	5,13	16,04	44,65	5,13	16,04	44,65	5,13	16,02	44,71	5,13
8	16,72	51,12	6,14	16,76	51,16	6,16	16,76	51,16	6,16	16,72	51,12	6,14
9	16,87	57,58	6,99	16,91	57,63	7,01	16,91	57,63	7,01	16,87	57,58	6,99
10	17,04	68,34	8,40	17,09	68,38	8,44	17,09	68,38	8,44	17,04	68,35	8,41
11	17,18	73,98	9,19	17,24	74,02	9,23	17,24	74,02	9,23	17,18	73,98	9,19
12	17,33	78,60	9,86	17,39	78,65	9,91	17,39	78,65	9,91	17,33	78,60	9,87
13	17,43	80,53	10,18	17,50	80,59	10,23	17,50	80,59	10,23	17,44	80,54	10,19
14	17,52	80,66	10,26	17,59	80,74	10,31	17,59	80,74	10,31	17,53	80,67	10,26
15	17,54	81,28	10,35	17,61	81,36	10,40	17,61	81,36	10,40	17,55	81,29	10,35
16	17,59	80,59	10,29	17,66	80,67	10,35	17,66	80,67	10,35	17,60	80,59	10,30
17	17,60	78,95	10,09	17,67	79,05	10,14	17,67	79,05	10,14	17,61	78,96	10,09
18	17,06	70,45	8,68	17,11	70,24	8,68	17,11	70,24	8,68	17,06	70,44	8,68
19	16,90	69,52	8,47	16,94	69,34	8,47	16,94	69,34	8,47	16,90	69,52	8,47
20	16,73	68,91	8,31	16,76	68,78	8,31	16,76	68,78	8,31	16,73	68,91	8,31
21	16,57	67,58	8,06	16,60	67,47	8,06	16,60	67,47	8,06	16,57	67,58	8,06
22	16,47	65,42	7,75	16,50	65,33	7,75	16,50	65,33	7,75	16,47	65,42	7,75
23	16,38	63,14	7,43	16,40	63,06	7,43	16,40	63,06	7,43	16,37	63,14	7,43
24	16,31	61,69	7,23	16,32	61,63	7,23	16,32	61,63	7,23	16,31	61,70	7,23

Tabela 50. PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 22 de janeiro.

Hora	Zona Térmica 01		Zona Térmica 02		Zona Térmica 03		Zona Térmica 04	
	PMV	PPD [%]						
8	-1,77	65,43	-1,73	63,68	-1,73	63,68	-1,76	65,36
9	-1,64	58,48	-1,60	56,28	-1,60	56,28	-1,63	58,41
10	-1,47	49,39	-1,42	46,90	-1,42	46,90	-1,47	49,32
11	-1,35	43,06	-1,30	40,43	-1,30	40,43	-1,35	43,01
12	-1,23	36,73	-1,17	34,01	-1,17	34,01	-1,23	36,69
13	-1,14	32,65	-1,08	29,91	-1,08	29,91	-1,14	32,62
14	-1,08	29,86	-1,02	27,20	-1,02	27,20	-1,08	29,82
15	-1,07	29,26	-1,01	26,61	-1,01	26,61	-1,07	29,22
16	-1,04	27,91	-0,98	25,30	-0,98	25,30	-1,04	27,87
17	-1,04	28,16	-0,98	25,54	-0,98	25,54	-1,04	28,11

As Figuras 41 e 42 representam graficamente os valores de humidade relativa e dos índices PMV e PPD apresentados nas Tabelas 49 e 50, respetivamente.

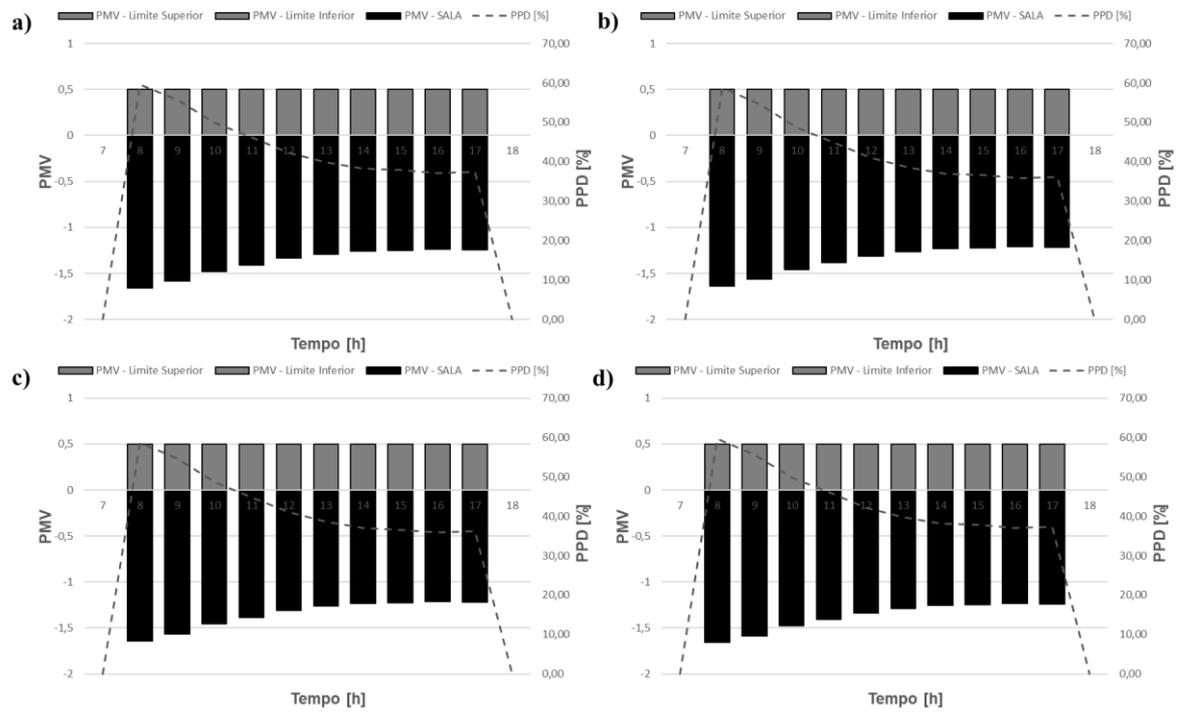


Figura 41. Variação do PMV e PPD – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 22 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

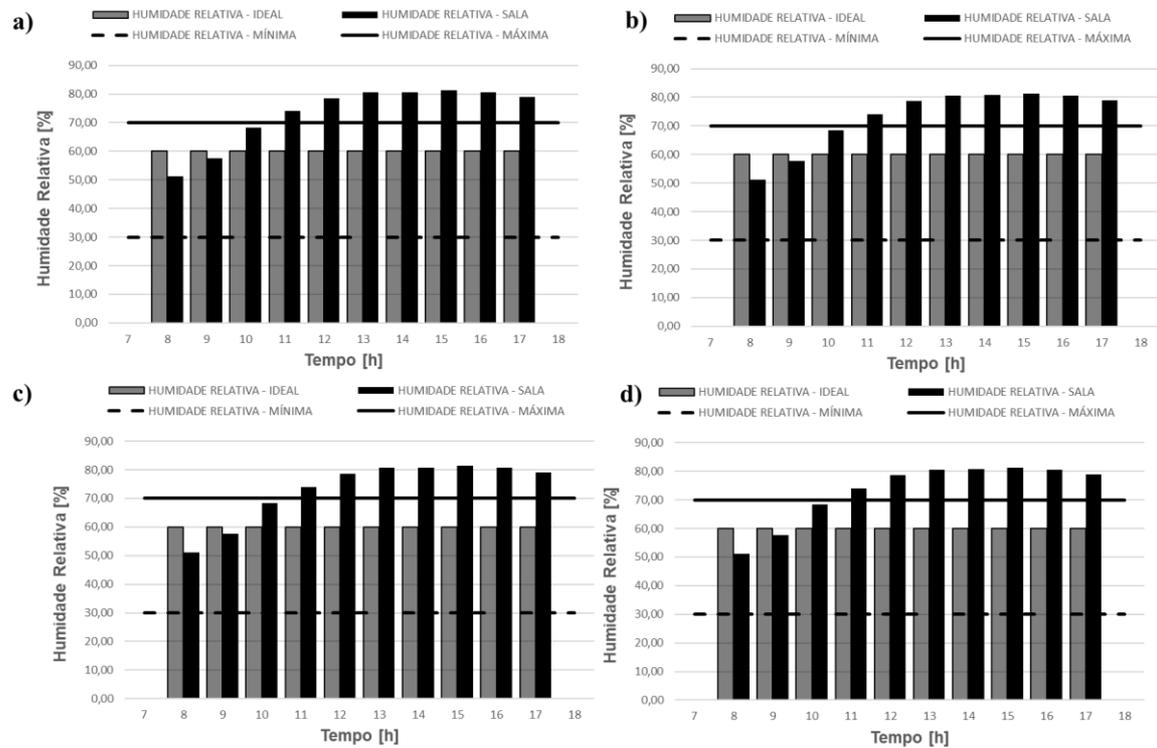


Figura 42. Variação da humidade relativa interior – alta qualidade térmica, bateria desligada e ventilação 10% de ar novo – 22 de janeiro a) zona térmica 01, b) zona térmica 02, c) zona térmica 03 e d) zona térmica 04.

Ao analisar os valores obtidos é possível observar uma leve redução no PMV, em média aproximadamente 0,2 e uma redução de em média 8% do índice PPD. Em contrapartida foi possível observar um aumento de em média 2,2% da humidade relativa, de forma a destacar o período entre 12 h e 18 h momentos em que a humidade relativa é superior a 80%.

Desta maneira é possível observar que o sistema proposto quando está a trabalhar apenas no modo de ventilação para os dias definidos não consegue proporcionar condições interiores que geram condições de conforto térmico aceitáveis.

5.3. ANÁLISE DAS BATERIAS DAS UNIDADES TERMINAIS

Os valores das potências de arrefecimento e aquecimento das baterias das unidades terminais para as situações em que as envolventes possuem baixa e alta qualidade térmica, estão apresentados nas Tabelas 51 e 52 respetivamente.

Tabela 51. Potências de aquecimento e arrefecimento das baterias de cada unidade terminal para envolventes com baixa qualidade térmica.

	Arrefecimento		Aquecimento	
	Sensível [W]	Total [W]	Sensível [W]	Total [W]
Zona Térmica 01	6507	7794	5065	5065
Zona Térmica 02	6304	7579	4802	4802
Zona Térmica 03	6304	7579	4802	4802
Zona Térmica 04	6423	7705	5061	5061

Tabela 52. Potências de aquecimento e arrefecimento das baterias de cada unidade terminal para envolventes com alta qualidade térmica.

	Arrefecimento		Aquecimento	
	Sensível [W]	Total [W]	Sensível [W]	Total [W]
Zona Térmica 01	4252	5556	3764	3764
Zona Térmica 02	4132	5423	3645	3645
Zona Térmica 03	4132	5423	3645	3645
Zona Térmica 04	4178	5471	3762	3762

Os valores apresentados nas Tabelas 51 e 52 foram calculados a partir das condições de projeto, ou seja, para o dia de projeto a considerar os cenários com maior ganho de calor durante o verão e maior perda durante o inverno.

Entretanto, variáveis referentes aos ganhos internos de calor na situação de arrefecimento podem variar daquilo que foi predeterminado para as condições de projeto.

Conforme mencionado anteriormente, o dia de projeto de verão utilizado nesta análise não se aplica ao estudo de caso selecionado, uma vez que, as salas jamais terão ocupação máxima no referido dia, conseqüentemente isso implica em uma seleção sobredimensionada da capacidade dos equipamentos.

Na Tabela 53 constam os valores de potência sensível e total de arrefecimento ao considerar o dia 18 de setembro para as condições de alta e baixa qualidade térmica.

Tabela 53. Potência de arrefecimento das baterias de cada unidade terminal - 18 de setembro.

	Alta Qualidade Térmica		Baixa Qualidade Térmica	
	Sensível [W]	Total [W]	Sensível [W]	Total [W]
Unidade Terminal 01	1254	1990	2374	3226
Unidade Terminal 02	1246	1979	2371	3223
Unidade Terminal 03	1246	1979	2371	3223
Unidade Terminal 04	1209	1937	2321	3168

Conforme observado na Tabela 53, caso a seleção da capacidade de arrefecimento das unidades terminais fosse de acordo com o dia 18 de setembro, seria possível observar uma redução média da potência sensível e total para uma alta qualidade térmica de aproximadamente 70% e 64%, respectivamente. Enquanto para a situação de baixa qualidade térmica os valores de potência sensível e total seriam respectivamente aproximadamente 63% e 58% menores que os calculados para o dia de projeto.

5.4. PARÂMETROS DO AR DAS UNIDADES TERMINAIS

O caudal de ar novo foi calculado de acordo com o número de ocupantes e o caudal definido por ocupante, enquanto o caudal insuflado foi calculado de acordo com as necessidades para vencer os ganhos ou perdas térmicas do ambiente.

O caudal de insuflação se mantém constante uma vez que o sistema analisado não permite a variação do mesmo. As Tabelas 54 e 55 apresentam os valores dos caudais obtidos para o estudo de caso analisado para as condições de arrefecimento e aquecimento, respectivamente.

Tabela 54. Caudal de ar novo e caudal de ar insuflado no modo de arrefecimento.

	Caudal Máximo de Insuflação [m ³ /h]:	Caudal Máximo de Ar Novo [m ³ /h]:
Zona Térmica 01	1693,16	621,75
Zona Térmica 02	1654,20	621,75
Zona Térmica 03	1654,20	621,75
Zona Térmica 04	1677,04	621,75

Tabela 55. Caudal de ar novo e caudal de ar insuflado no modo de aquecimento.

	Caudal Máximo de Insuflação [m ³ /h]:	Caudal Máximo de Ar Novo [m ³ /h]:
Zona Térmica 01	1693,16	637,90
Zona Térmica 02	1654,20	637,90
Zona Térmica 03	1654,20	637,90
Zona Térmica 04	1677,04	637,90

Conforme pode ser visto nas Tabelas 54 e 55, os valores do caudal de ar novo se mantiveram constantes para todas as zonas térmicas, uma vez que, todas as zonas apresentam o mesmo número de ocupantes e caudal por ocupante.

Entretanto este valor apresentou variação entre os modos de arrefecimento e aquecimento, uma vez que, esta variável também é dependente do volume específico do ar exterior e haja vista que este varia em função da temperatura, é expectável a alteração do caudal de ar novo de acordo com a estação do ano.

Em relação ao valor do caudal máximo de insuflação, este apresentou variação entre os espaços, uma vez que, cada espaço tem uma necessidade diferente de carga térmica.

Sendo assim, para seleção da unidade de tratamento de ar novo, seria necessário verificar um equipamento com caudal de ar suficiente para os quatro ambientes.

O modelo também apresenta os valores dos parâmetros do ar na unidade terminal. Na Tabela 56 é possível observar os valores de apenas uma das unidades terminais simuladas no dia de projeto de verão.

Tabela 56. Parâmetros do ar antes e depois da bateria da unidade terminal no modo de arrefecimento.

Hora	Ar Novo [%]	T.ent.bat. [°C]	W.ent.bat. [g/kg]	T.med.bat. [°C]	W.sai.bat. [g/kg]	T.ins [°C]
1	100%	20,10	10,16	OFF	10,16	20,10
2	100%	18,70	9,99	OFF	9,99	18,70
3	100%	17,60	9,83	OFF	9,83	17,60
4	100%	16,60	9,71	OFF	9,71	16,60
5	100%	15,90	9,51	OFF	9,51	15,90
6	100%	15,50	9,49	OFF	9,49	15,50
7	100%	15,40	9,54	OFF	9,54	15,40
8	37%	21,77	11,10	26,54	11,10	25,58
9	37%	22,65	11,60	24,72	11,60	24,30
10	37%	23,90	11,97	22,38	11,97	22,68
11	37%	25,29	11,72	19,86	11,72	20,95
12	37%	26,54	10,88	17,36	10,88	19,20
13	37%	27,39	9,85	15,54	9,85	17,91
14	37%	27,72	9,35	14,13	9,35	16,85
15	37%	27,64	9,57	13,71	9,57	16,50
16	37%	27,50	9,84	13,44	9,79	16,26
17	37%	27,24	10,00	13,59	9,90	16,32
18	100%	30,10	9,48	OFF	9,48	30,10
19	100%	29,00	10,18	OFF	10,18	29,00
20	100%	27,70	10,62	OFF	10,62	27,70
21	100%	26,20	10,81	OFF	10,81	26,20
22	100%	24,60	11,01	OFF	11,01	24,60
23	100%	23,10	11,14	OFF	11,14	23,10
24	100%	21,50	10,92	OFF	10,92	21,50

Conforme os dados apresentados na Tabela 56 é possível observar que o perfil de funcionamento da bateria é igual ao da ocupação. Durante o período em que a bateria está desligada foi mantido o sistema de ventilação ligado com 100% de ar novo, fato este que implica em valores iguais de temperatura do ar a entrada da bateria e no momento da insuflação.

Durante o funcionamento da bateria é possível observar que a percentagem de ar novo é igual a 37%, sendo este valor calculado a partir do caudal de ar novo e do caudal insuflado.

É possível observar também que entre as 16h e 18 h a bateria está molhada, uma vez que o conteúdo de humidade do ar diminuiu ao passar pela bateria.

Na Tabela 57 constam os valores dos parâmetros do ar antes e depois da bateria de uma das unidades terminais no modo de aquecimento.

Tabela 57. Parâmetros do ar antes e depois da bateria da unidade terminal no modo de aquecimento.

Hora	Ar Novo [%]	T.ent.bat. [°C]	W.ent.bat. [g/kg]	T.med.bat. [°C]	W.sai.bat. [g/kg]	T.ins [°C]
1	10%	15,37	6,56	OFF	6,56	15,37
2	10%	15,32	6,55	OFF	6,55	15,32
3	10%	15,25	6,54	OFF	6,54	15,25
4	10%	15,19	6,53	OFF	6,53	15,19
5	10%	15,16	6,52	OFF	6,52	15,16
6	10%	15,17	6,59	OFF	6,59	15,17
7	10%	15,19	6,63	OFF	6,63	15,19
8	38%	16,08	7,45	24,00	7,45	22,42
9	38%	16,27	7,61	23,27	7,61	21,87
10	38%	16,50	7,73	22,40	7,73	21,22
11	38%	16,80	7,94	21,74	7,94	20,75
12	38%	17,02	8,06	20,91	8,06	20,13
13	38%	17,21	8,12	20,27	8,12	19,66
14	38%	17,25	8,17	19,66	8,17	19,18
15	38%	17,25	8,17	19,54	8,17	19,08
16	38%	17,21	8,12	19,15	8,12	18,77
17	38%	17,17	8,07	19,06	8,07	18,68
18	10%	16,11	7,32	OFF	7,32	16,11
19	10%	16,00	7,31	OFF	7,31	16,00
20	10%	15,84	7,26	OFF	7,26	15,84
21	10%	15,70	7,20	OFF	7,20	15,70
22	10%	15,61	7,06	OFF	7,06	15,61
23	10%	15,52	7,00	OFF	7,00	15,52
24	10%	15,46	6,86	OFF	6,86	15,46

O perfil de funcionamento da bateria se manteve o mesmo, entretanto é possível notar que a percentagem de ar novo durante o período em que a bateria está desligada é de apenas 10%, fato este que implica em uma temperatura de insuflação diferente da temperatura à entrada da bateria.

É possível também observar que diferentemente do modo de arrefecimento, ao trabalhar no modo de aquecimento a bateria apresentou estar sempre seca.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho visou o desenvolvimento de um modelo capaz de analisar o desempenho térmico de sistemas de ar condicionado a estudos de caso com diferentes configurações, tipos de clima, perfis de ocupação e modo de funcionamento.

Foi desenvolvido um banco de dados com informações climáticas anuais de seis localidades distintas, Bragança, Coimbra, Faro, Lisboa, Porto e Viana do Castelo, sendo estas abrangentes às três regiões de inverno e três regiões de verão definidas pelo Despacho n.º 15793-F/2013.

Foi implementado um modelo para cálculo de cargas térmicas para edifícios multi-zona, em que é possível analisar até quatro salas simultaneamente. Para além do cálculo das cargas térmicas é feita a análise do conforto térmico de cada ambiente.

O modelo permite selecionar unidades terminais de climatização a partir das potências obtidas, em que é possível comparar os valores obtidos para os dias de projeto (verão e inverno) junto à valores obtidos a partir de outro dia de aplicação do sistema.

O modelo desenvolvido permite também analisar a variação dos parâmetros interiores de determinado ambiente, tais como, temperatura de bolbo seco interior, humidade relativa e conteúdo de humidade em situação de comportamento livre, ou seja, sem o funcionamento de sistemas de climatização.

É permitida também a análise dos ambientes apenas com o sistema de ventilação ligado em que é possível definir os percentuais de ar novo insuflado. Sendo este ar oriundo de uma unidade de tratamento de ar novo que pode insuflar o ar com as mesmas características do ar exterior ou com valores já pré aquecidos ou pré arrefecidos.

Após o programa ser finalizado, foi realizada a análise de um estudo de caso composto por quatro salas de aula, em que foram definidos alguns cenários e os resultados obtidos foram apresentados e discutidos, foram considerados apenas alguns cenários para simulação, uma vez que as opções são incontáveis.

Feita a análise dos mesmos observou-se que a seleção da potência dos equipamentos de forma a considerar apenas as condições de projeto por vezes pode implicar em sistemas sobredimensionados. Verificou-se também que em determinadas situações apenas o sistema de ventilação é capaz de manter situações de conforto térmico.

Os valores obtidos para cada análise demonstraram-se coerentes, porém, é importante ressaltar que a metodologia aplicada no modelo carece de validação a partir de estudos comparativos com programas já inseridos no mercado.

Uma vez que o modelo for validado, este se demonstra como uma ótima ferramenta de aplicação no meio acadêmico de forma a gerar novos estudos, como também uma ferramenta na utilização para seleção de equipamentos.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se a análise comparativa dos resultados obtidos a partir do modelo desenvolvido junto à resultados obtidos por programas de simulação já inseridos no mercado. Sugere-se também a simulação de mais cenários de forma a explorar o potencial do modelo desenvolvido.

7. BIBLIOGRAFIA

- Aghdaei, N., Kokogiannakis, G., Daly, D., McCarthy, T. (2017). Linear regression models for prediction of annual heating and cooling demand representative Australian residential dwellings. *Energy Procedia*, 121, 79-86.
- Aguiar, R. (2013). *Climatologia e Anos Meteorológicos de Referência para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios (versão 2013). Relatório para ADENE – Agência de Energia. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., Lisboa, 55 pp.*
- ANSI/ASHRAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2010.
- ASHRAE Fundamentals Handbook, Chapter 27: Fenestration, 1985.
- ASHRAE HVAC Systems and Equipment Handbook, Chapter 3: Air-and-Water Systems, 1996.
- ASHRAE Fundamentals Handbook, Chapter 28: Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations, 1997.
- ASHRAE Fundamentals Handbook, Chapter 18: Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations, 2017.
- Chua, K. J., Chou, S. K., Yang, W. M., & Yan, J. (2013). Achieving better energy-efficient air conditioning – A review of technologies and strategies. *Applied Energy*, 104, 87–104.
- Decreto Lei no 85/2009 de 3 de Abril da Presidência do Conselho de Ministros. Diário da República: I de série, No 66 (2009). Acedido a 20 ago. 2022. Disponível em www.dre.pt.*
- Decreto Lei no 80/2006 de 4 de Abril do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Diário da República: I de série, No 67 (2006). Acedido a 20 ago. 2022. Disponível em www.dre.pt.*
- Despacho no 15793-F/2013 de 3 de Dezembro do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia – Direção-Geral de Energia e Geologia. Diário da República: II de série, No 234 (2013). Acedido a 20 ago. 2022. Disponível em www.dre.pt.*

- d'Ambrosio Alfano FR, Bellia L, Boerstra A, Van Dijken F, Ianniello E, Lopardo G, et al. REHVA e indoor environment and energy efficiency in schools e part 1. Brussels. REHVA 2010;2010:1e121.
- Edwards, K., de Rosa, M., Finn, D. P. (2021). Optimal control of fan coil battery air and water flow rates requiring minimal on-line measurements. *Applied Thermal Engineering*, 198, 117469.
- European Commission, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings, *Official Journal of the EU*, L153, 2010, pp. 13–35.
- Pereira. D. L., Raimondo, D., Corgnati, S. P., da Silva, G. M. (2014). Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: Methodology and results. *Building and Environment*, 81, 69–80.
- Inverno, A., Roriz, L., Cantiga, E. (1996). *Térmica dos Edifícios, Cap, IV – Sistemas de Climatização*. Oeiras. Instituto de Soldadura e Qualidade - Alfaprint, Lda.
- ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005.
- Kristiansen, T., Jamil, F., Hameed, I. A., Hamdy, M. (2022). Predicting annual illuminance and operative temperature in residential buildings using artificial neural networks. *Building and Environment*, 217, 109031.
- Lipczynska, A., Schiavon, S., & Graham, L. T. (2018). Thermal comfort and self-reported productivity in an office with ceiling fans in the tropics. *Building and Environment*, 135, 202–212.
- Matias, L., Santos, C. P. (2006). Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- Matias, L., Santos, C. P. Conforto térmico adaptativo no setor residencial em Portugal. (2013). Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono. Lisboa. Portugal.

- Meza, F., Varas, E. (2000). Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100, 231-241.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398.
- Rashad, M., Zabnienska-Gora, A., Norman, L., Jouhara, H. (2022). Analysis of energy demand in a residential building using TRNSYS. *Energy*, 254, 124357.
- Ruivo, C. R. (2005). Análise da evolução da humidade relativa interior proporcionada por sistemas de climatização ar-água ou ar-fluido frigorígeno. In R. R. Mansilla (Eds.), *Avances en ciencias y técnicas del frio III – Vol. 2* (pp. 547-556). Barcelona: CYTEF2005.
- Ruivo, C, R., da Silva, M. G., Borday, E. E. (2021). Methodology for calculating na atmospheric pressure-sensitive thermal comfort index PMVaps. *Energy & Buildings*, 240, 110887.

APÊNDICE

APÊNDICE A – ENTRADA DE DADOS DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO (PARTE 1)

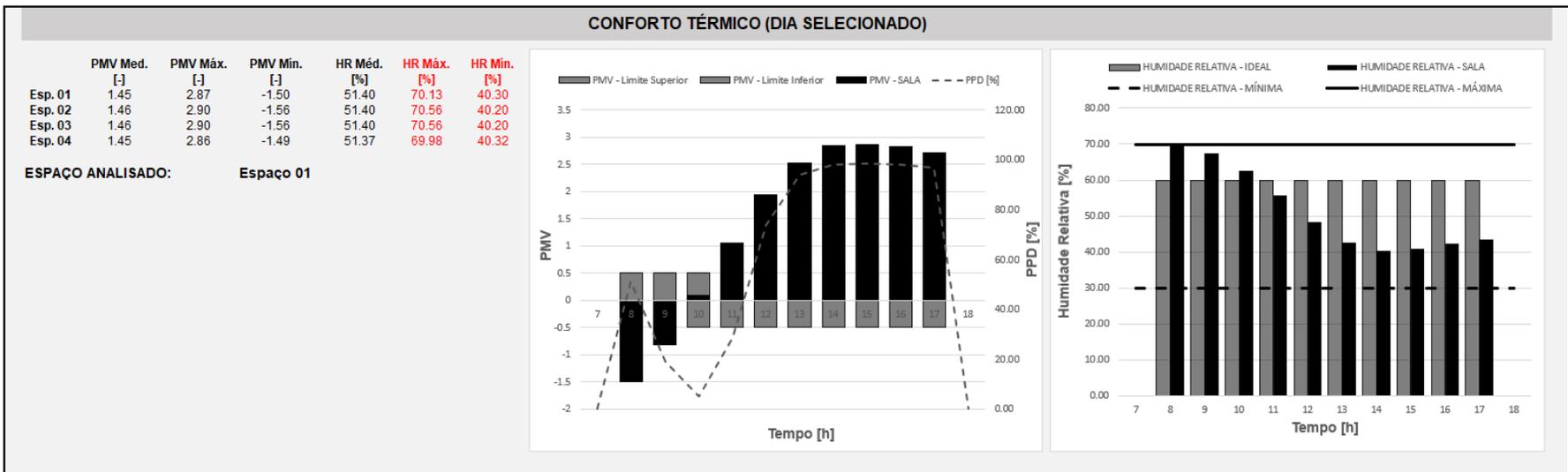
PARÂMETROS GERAIS		CONDIÇÕES DE PROJETO					PARÂMETROS INTERIORES				
Local [-]:	Faro	Número de Espaços [-]:	4				TBS [°C]:	25.00			
Altitude [m]:	145							HR [%]:	60.00		
Pressão Atm. [Pa]:	99595.17	PERFIS	ESPAÇOS				Velocidade do Ar [m/s]:		0.1		
Dia de Análise:	DIA DO ANO		1	2	3	4		OCUPAÇÃO			
Mês [-]:	Agosto	Número de Horas [h]:	10	10	10	10	Número Máximo de Pessoas [-]:	25	25	25	25
Dia [-]:	13		Início [h]:	8	8	8		8	Número de Pessoas Presente [-]:	25	25
Zona [-]:	Rural	Final [h]:	18	18	18	18	Caudal. p/ Pessoa [l/s]:	7.00	7.00	7.00	7.00
INFORMAÇÕES:		Número de Horas [h]:	ILUMINAÇÃO				Caudal p/ Pessoa [m³/h]:	25.20			
Dia de Projeto Verão:	13 de Agosto		10	10	10	10		OCUPAÇÃO			
Dia de Projeto Inverno:	10 de Janeiro	Início [h]:	8	8	8	8	Atividade Realizada [-]:	Sentado	Sentado	Sentado	Sentado
		Final [h]:	18	18	18	18	Taxa Metabólica [Met]:				
		Número de Horas [h]:	EQUIPAMENTOS				1				
			10	10	10	10	0.6				
		Início [h]:	8	8	8	8	PERFIS				
		Final [h]:	18	18	18	18	OCUPAÇÃO				
		Número de Horas [h]:	ILUMINAÇÃO				0				
			0	0	0	0	EQUIPAMENTOS				
		Início [h]:					10				
		Final [h]:					8				
		Número de Horas [h]:					10				
			10	10	10	10	8				
		Início [h]:					18				
		Final [h]:					18				

APÊNDICE B – ENTRADA DE DADOS DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO (PARTE 2)

ENTRADA DE DADOS									
<p>PARÂMETROS CONSTRUTIVOS DA ENVOLVENTE</p>									
Qualidade Térmica [-]:	Baixa								
Cor Exterior [-]:	Média								
<p>ENVOLVENTES EXT. E INT.</p>									
<p>ESPAÇOS</p>									
Parede 01 - Orientação [°]:	E	DIVIS.	DIVIS.	DIVIS.					
Parede 01 - Área [m²]:	18.00	18.00	18.00	18.00					
Parede 01 - Envidraçados	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO					
Envidraçados - Altura [m]:									
Envidraçados - Comprimento [m]:									
Número de Envidraçados [-]:									
Parede 02 - Orientação [°]:	DIVIS.	DIVIS.	DIVIS.	DIVIS.					
Parede 02 - Área [m²]:	24.88	24.88	24.88	24.88					
Parede 02 - Envidraçados	SIM	SIM	SIM	SIM					
Envidraçados - Altura [m]:	0.30	0.30	0.30	0.30					
Envidraçados - Comprimento [m]:	0.30	0.30	0.30	0.30					
Número de Envidraçados [-]:	8	8	8	8					
Parede 03 - Orientação [°]:	DIVIS.	DIVIS.	DIVIS.	W					
Parede 03 - Área [m²]:	18.00	18.00	18.00	18.00					
Parede 03 - Envidraçados	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO					
Envidraçados - Altura [m]:									
Envidraçados - Comprimento [m]:									
Número de Envidraçados [-]:									
Parede 04 - Orientação [°]:	N	N	N	N					
Parede 04 - Área [m²]:	20.00	20.00	20.00	20.00					
Parede 03 - Envidraçados	SIM	SIM	SIM	SIM					
Envidraçados - Altura [m]:	2.00	2.00	2.00	2.00					
Envidraçados - Comprimento [m]:	2.50	2.50	2.50	2.50					
Número de Envidraçados [-]:	2	2	2	2					
Largura Pala Horizontal [m]:				0.1					
Largura Pala Vertical [m]:				0.1					
<p>DIVISÓRIAS</p>									
Número de Ambientes Adjacentes [-]:	2		3		3		2		
Espaço Adjacente 01	Outro		Espaço 01	Espaço 02	Espaço 03		Espaço 04		
Espaço Adjacente 02	Espaço 02		Outro		Outro		Outro		
Espaço Adjacente 03			Espaço 03		Espaço 04				
Espaço Adjacente 04									
Nível de Ventilação do Espaço Adjacente (Outro) - Verão [°C]:							ALTO		
Nível de Ventilação do Espaço Adjacente (Outro) - Inverno [°C]:							BAIXO		
<p>PORTAS</p>									
<p>ESPAÇOS</p>									
Tipo de Porta [-]:	1		2		3		4		
Número de Portas [-]:	1		1		1		1		
Espaço Adjacente - Porta 01	Outro		Outro		Outro		Outro		
Espaço Adjacente - Porta 02									
Espaço Adjacente - Porta 03									
Espaço Adjacente - Porta 04									
Porta 01 - Área [m²]:	4.40		4.40		4.40		4.40		
Porta 02 - Área [m²]:									
Porta 03 - Área [m²]:									
Porta 04 - Área [m²]:									
<p>COBERTURAS / PISOS</p>									
<p>ESPAÇOS</p>									
Área do Piso [m²]:	60.00		60.00		60.00		60.00		
Tipo de Espaço Adjacente - Cobertu	Exterior		Exterior		Exterior		Exterior		
Tipo de Espaço Adjacente - Piso	Outro		Outro		Outro		Outro		
Nível de Ventilação do Espaço Adjacente (Outro) - Verão [°C]:							ALTO		
Nível de Ventilação do Espaço Adjacente (Outro) - Inverno [°C]:							BAIXO		
Permetro Livre Piso [m]:									
<p>GANHOS INTERNOS MÁXIMOS</p>									
<p>ESPAÇOS</p>									
Iluminação - Potência Instalada [W]:	884.00		884.00		884.00		884.00		
Sistema de Exaustão nos Equipamentos [-]:	NÃO		NÃO		NÃO		NÃO		
Equipamentos - Calor Sensível Total [W]:	440.00		440.00		440.00		440.00		
Equipamentos - Calor Latente Total [W]:	0.00		0.00		0.00		0.00		
<p>UNIDADE DE TRATAMENTO DE AR NOVO (UTAN)</p>									
Bateria [-]:					NÃO				
Temperatura de Insuflação [°C]:									
Número de Horas de Funcionamento da Bateria [-]:									
Início [h]:									
Final [h]:									
<p>UNIDADES TERMINAIS</p>									
<p>ESPAÇOS</p>									
Fator de Contato da Bateria [-]:	0.80		0.80		0.80		0.80		
Horário					BATERIA ON				
Número de Horas [-]:	0		0		0		0		
Início [h]:									
Final [h]:									
Horário					BATERIA OFF				
Ventiladores [-]:	ON		ON		ON		ON		
Início [h]:	1		1		1		1		
Final [h]:	24		24		24		24		
Fração de Ar Novo [%]:	100.00		100.00		100.00		100.00		

APÊNDICE C – SAÍDA DE DADOS DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO (PARTE 1)

PARÂMETROS PSICOMÉTRICOS - AMBIENTES EXTERIOR E INTERIOR (DIA SELECIONADO)																							
Hora	EXTERIOR			ESPAÇO 01				ESPAÇO 02				ESPAÇO 03				ESPAÇO 04							
	T [°C]	HR [%]	W [g/kg]	T [°C]	HR [%]	Qlat. [W]	W [g/kg]	mger [kg/s]	T [°C]	HR [%]	Qlat. [W]	W [g/kg]	mger [kg/s]	T [°C]	HR [%]	Qlat. [W]	W [g/kg]	mger [kg/s]	T [°C]	HR [%]	Qlat. [W]	W [g/kg]	mger [kg/s]
1	20.10	68.00	10.16	22.29	59.45	0.00	10.16	0.000000	22.11	60.10	0.00	10.16	0.000000	22.11	60.10	0.00	10.16	0.000000	22.31	59.37	0.00	10.16	0.000000
2	18.70	73.00	9.99	21.28	62.21	0.00	9.99	0.000000	21.09	62.93	0.00	9.99	0.000000	21.09	62.93	0.00	9.99	0.000000	21.32	62.07	0.00	9.99	0.000000
3	17.60	77.00	9.83	20.43	64.53	0.00	9.83	0.000000	20.22	65.35	0.00	9.83	0.000000	20.22	65.35	0.00	9.83	0.000000	20.47	64.38	0.00	9.83	0.000000
4	16.60	81.00	9.71	19.68	66.76	0.00	9.71	0.000000	19.45	67.70	0.00	9.71	0.000000	19.45	67.70	0.00	9.71	0.000000	19.70	66.67	0.00	9.71	0.000000
5	15.90	83.00	9.51	19.16	67.56	0.00	9.51	0.000000	18.94	68.49	0.00	9.51	0.000000	18.94	68.49	0.00	9.51	0.000000	19.20	67.40	0.00	9.51	0.000000
6	15.50	85.00	9.49	19.23	67.15	0.00	9.49	0.000000	19.02	68.05	0.00	9.49	0.000000	19.02	68.05	0.00	9.49	0.000000	19.27	66.98	0.00	9.49	0.000000
7	15.40	86.00	9.54	19.31	67.17	0.00	9.54	0.000000	19.11	67.99	0.00	9.54	0.000000	19.11	67.99	0.00	9.54	0.000000	19.35	67.00	0.00	9.54	0.000000
8	16.20	83.00	9.70	20.97	70.13	721.59	11.07	0.000283	20.84	70.56	710.27	11.04	0.000279	20.84	70.56	710.27	11.04	0.000279	21.01	69.98	725.39	11.07	0.000285
9	18.60	75.00	10.20	22.82	67.39	894.84	11.92	0.000351	22.74	67.61	887.25	11.91	0.000348	22.74	67.61	887.25	11.91	0.000348	22.86	67.26	899.21	11.93	0.000353
10	22.00	63.00	10.58	25.26	62.63	1169.01	12.85	0.000459	25.24	62.69	1166.06	12.85	0.000458	25.24	62.69	1166.06	12.85	0.000458	25.30	62.52	1174.10	12.86	0.000461
11	25.80	49.00	10.34	27.92	55.59	1530.24	13.35	0.000601	27.95	55.53	1534.66	13.36	0.000603	27.95	55.53	1534.66	13.36	0.000603	27.94	55.54	1533.97	13.35	0.000602
12	29.20	37.00	9.51	30.34	48.28	1924.06	13.33	0.000756	30.40	48.18	1935.38	13.35	0.000760	30.40	48.18	1935.38	13.35	0.000760	30.35	48.26	1925.68	13.34	0.000756
13	31.50	29.00	8.49	31.98	42.71	2229.46	12.94	0.000875	32.08	42.59	2248.57	12.98	0.000883	32.08	42.59	2248.57	12.98	0.000883	31.98	42.71	2228.30	12.94	0.000875
14	32.40	26.00	8.00	32.82	40.30	2396.61	12.80	0.000941	32.92	40.20	2417.72	12.84	0.000949	32.92	40.20	2417.72	12.84	0.000949	32.80	40.32	2392.63	12.79	0.000940
15	32.20	27.00	8.22	32.82	40.97	2396.70	13.02	0.000941	32.92	40.86	2418.17	13.06	0.000950	32.92	40.86	2418.17	13.06	0.000950	32.80	40.99	2392.88	13.01	0.000940
16	31.80	29.00	8.64	32.66	42.43	2363.21	13.36	0.000928	32.74	42.33	2381.14	13.40	0.000935	32.74	42.33	2381.14	13.40	0.000935	32.62	42.46	2356.76	13.35	0.000925
17	31.10	31.00	8.88	32.30	43.57	2290.64	13.45	0.000900	32.38	43.47	2307.08	13.48	0.000906	32.38	43.47	2307.08	13.48	0.000906	32.26	43.61	2284.55	13.44	0.000897
18	30.10	35.00	9.48	31.25	32.78	0.00	9.48	0.000000	31.31	32.67	0.00	9.48	0.000000	31.31	32.67	0.00	9.48	0.000000	31.23	32.82	0.00	9.48	0.000000
19	29.00	40.00	10.18	29.56	38.73	0.00	10.18	0.000000	29.55	38.74	0.00	10.18	0.000000	29.55	38.74	0.00	10.18	0.000000	29.52	38.82	0.00	10.18	0.000000
20	27.70	45.00	10.62	28.33	43.37	0.00	10.62	0.000000	28.30	43.46	0.00	10.62	0.000000	28.30	43.46	0.00	10.62	0.000000	28.31	43.43	0.00	10.62	0.000000
21	26.20	50.00	10.81	26.98	47.75	0.00	10.81	0.000000	26.91	47.95	0.00	10.81	0.000000	26.91	47.95	0.00	10.81	0.000000	26.97	47.78	0.00	10.81	0.000000
22	24.60	56.00	11.01	25.68	52.52	0.00	11.01	0.000000	25.58	52.84	0.00	11.01	0.000000	25.58	52.84	0.00	11.01	0.000000	25.68	52.51	0.00	11.01	0.000000
23	23.10	62.00	11.14	24.49	57.02	0.00	11.14	0.000000	24.36	57.46	0.00	11.14	0.000000	24.36	57.46	0.00	11.14	0.000000	24.50	57.01	0.00	11.14	0.000000
24	21.50	67.00	10.92	23.33	59.93	0.00	10.92	0.000000	23.18	60.50	0.00	10.92	0.000000	23.18	60.50	0.00	10.92	0.000000	23.35	59.86	0.00	10.92	0.000000



APÊNDICE D – SAÍDA DE DADOS DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO (PARTE 2)

PARÂMETROS - UNIDADES TERMINAIS (DIA SELECIONADO)																		
ESPAÇO 01										ESPAÇO 03								
Hora	Ar Novo [%]	T.ent.bat. [°C]	W.ent.bat. [g/kg]	T.med.bat. [°C]	W.sai.bat. [g/kg]	T.ins [°C]	C.cond. [g/s]	P.sen.bat. [W]	P.tot.bat. [W]	Ar Novo [%]	T.ent.bat. [°C]	W.ent.bat. [g/kg]	T.med.bat. [°C]	W.sai.bat. [g/kg]	T.ins [°C]	C.cond. [g/s]	P.sen.bat. [W]	P.tot.bat. [W]
1	1.00	20.10	10.16	OFF	10.16	20.10	0.0000	OFF	OFF	1.00	20.10	10.16	OFF	10.16	20.10	0.0000	OFF	OFF
2	1.00	18.70	9.99	OFF	9.99	18.70	0.0000	OFF	OFF	1.00	18.70	9.99	OFF	9.99	18.70	0.0000	OFF	OFF
3	1.00	17.60	9.83	OFF	9.83	17.60	0.0000	OFF	OFF	1.00	17.60	9.83	OFF	9.83	17.60	0.0000	OFF	OFF
4	1.00	16.60	9.71	OFF	9.71	16.60	0.0000	OFF	OFF	1.00	16.60	9.71	OFF	9.71	16.60	0.0000	OFF	OFF
5	1.00	15.90	9.51	OFF	9.51	15.90	0.0000	OFF	OFF	1.00	15.90	9.51	OFF	9.51	15.90	0.0000	OFF	OFF
6	1.00	15.50	9.49	OFF	9.49	15.50	0.0000	OFF	OFF	1.00	15.50	9.49	OFF	9.49	15.50	0.0000	OFF	OFF
7	1.00	15.40	9.54	OFF	9.54	15.40	0.0000	OFF	OFF	1.00	15.40	9.54	OFF	9.54	15.40	0.0000	OFF	OFF
8	1.00	16.20	11.07	OFF	11.07	16.20	0.0000	OFF	OFF	1.00	16.20	11.04	OFF	11.04	16.20	0.0000	OFF	OFF
9	1.00	18.60	11.92	OFF	11.92	18.60	0.0000	OFF	OFF	1.00	18.60	11.91	OFF	11.91	18.60	0.0000	OFF	OFF
10	1.00	22.00	12.85	OFF	12.85	22.00	0.0000	OFF	OFF	1.00	22.00	12.85	OFF	12.85	22.00	0.0000	OFF	OFF
11	1.00	25.80	13.35	OFF	13.35	25.80	0.0000	OFF	OFF	1.00	25.80	13.36	OFF	13.36	25.80	0.0000	OFF	OFF
12	1.00	29.20	13.33	OFF	13.33	29.20	0.0000	OFF	OFF	1.00	29.20	13.35	OFF	13.35	29.20	0.0000	OFF	OFF
13	1.00	31.50	12.94	OFF	12.94	31.50	0.0000	OFF	OFF	1.00	31.50	12.98	OFF	12.98	31.50	0.0000	OFF	OFF
14	1.00	32.40	12.80	OFF	12.80	32.40	0.0000	OFF	OFF	1.00	32.40	12.84	OFF	12.84	32.40	0.0000	OFF	OFF
15	1.00	32.20	13.02	OFF	13.02	32.20	0.0000	OFF	OFF	1.00	32.20	13.06	OFF	13.06	32.20	0.0000	OFF	OFF
16	1.00	31.80	13.36	OFF	13.36	31.80	0.0000	OFF	OFF	1.00	31.80	13.40	OFF	13.40	31.80	0.0000	OFF	OFF
17	1.00	31.10	13.45	OFF	13.45	31.10	0.0000	OFF	OFF	1.00	31.10	13.48	OFF	13.48	31.10	0.0000	OFF	OFF
18	1.00	30.10	9.48	OFF	9.48	30.10	0.0000	OFF	OFF	1.00	30.10	9.48	OFF	9.48	30.10	0.0000	OFF	OFF
19	1.00	29.00	10.18	OFF	10.18	29.00	0.0000	OFF	OFF	1.00	29.00	10.18	OFF	10.18	29.00	0.0000	OFF	OFF
20	1.00	27.70	10.62	OFF	10.62	27.70	0.0000	OFF	OFF	1.00	27.70	10.62	OFF	10.62	27.70	0.0000	OFF	OFF
21	1.00	26.20	10.81	OFF	10.81	26.20	0.0000	OFF	OFF	1.00	26.20	10.81	OFF	10.81	26.20	0.0000	OFF	OFF
22	1.00	24.60	11.01	OFF	11.01	24.60	0.0000	OFF	OFF	1.00	24.60	11.01	OFF	11.01	24.60	0.0000	OFF	OFF
23	1.00	23.10	11.14	OFF	11.14	23.10	0.0000	OFF	OFF	1.00	23.10	11.14	OFF	11.14	23.10	0.0000	OFF	OFF
24	1.00	21.50	10.92	OFF	10.92	21.50	0.0000	OFF	OFF	1.00	21.50	10.92	OFF	10.92	21.50	0.0000	OFF	OFF

ESPAÇO 02										ESPAÇO 04								
Hora	Ar Novo [%]	T.ent.bat. [°C]	W.ent.bat. [g/kg]	T.med.bat. [°C]	W.sai.bat. [g/kg]	T.ins [°C]	C.cond. [g/s]	P.sen.bat. [W]	P.tot.bat. [W]	Ar Novo [%]	T.ent.bat. [°C]	W.ent.bat. [g/kg]	T.med.bat. [°C]	W.sai.bat. [g/kg]	T.ins [°C]	C.cond. [g/s]	P.sen.bat. [W]	P.tot.bat. [W]
1	1.00	20.10	10.16	OFF	10.16	20.10	0.0000	OFF	OFF	1.00	20.10	10.16	OFF	10.16	20.10	0.0000	OFF	OFF
2	1.00	18.70	9.99	OFF	9.99	18.70	0.0000	OFF	OFF	1.00	18.70	9.99	OFF	9.99	18.70	0.0000	OFF	OFF
3	1.00	17.60	9.83	OFF	9.83	17.60	0.0000	OFF	OFF	1.00	17.60	9.83	OFF	9.83	17.60	0.0000	OFF	OFF
4	1.00	16.60	9.71	OFF	9.71	16.60	0.0000	OFF	OFF	1.00	16.60	9.71	OFF	9.71	16.60	0.0000	OFF	OFF
5	1.00	15.90	9.51	OFF	9.51	15.90	0.0000	OFF	OFF	1.00	15.90	9.51	OFF	9.51	15.90	0.0000	OFF	OFF
6	1.00	15.50	9.49	OFF	9.49	15.50	0.0000	OFF	OFF	1.00	15.50	9.49	OFF	9.49	15.50	0.0000	OFF	OFF
7	1.00	15.40	9.54	OFF	9.54	15.40	0.0000	OFF	OFF	1.00	15.40	9.54	OFF	9.54	15.40	0.0000	OFF	OFF
8	1.00	16.20	11.04	OFF	11.04	16.20	0.0000	OFF	OFF	1.00	16.20	11.07	OFF	11.07	16.20	0.0000	OFF	OFF
9	1.00	18.60	11.91	OFF	11.91	18.60	0.0000	OFF	OFF	1.00	18.60	11.93	OFF	11.93	18.60	0.0000	OFF	OFF
10	1.00	22.00	12.85	OFF	12.85	22.00	0.0000	OFF	OFF	1.00	22.00	12.86	OFF	12.86	22.00	0.0000	OFF	OFF
11	1.00	25.80	13.36	OFF	13.36	25.80	0.0000	OFF	OFF	1.00	25.80	13.35	OFF	13.35	25.80	0.0000	OFF	OFF
12	1.00	29.20	13.35	OFF	13.35	29.20	0.0000	OFF	OFF	1.00	29.20	13.34	OFF	13.34	29.20	0.0000	OFF	OFF
13	1.00	31.50	12.98	OFF	12.98	31.50	0.0000	OFF	OFF	1.00	31.50	12.94	OFF	12.94	31.50	0.0000	OFF	OFF
14	1.00	32.40	12.84	OFF	12.84	32.40	0.0000	OFF	OFF	1.00	32.40	12.79	OFF	12.79	32.40	0.0000	OFF	OFF
15	1.00	32.20	13.06	OFF	13.06	32.20	0.0000	OFF	OFF	1.00	32.20	13.01	OFF	13.01	32.20	0.0000	OFF	OFF
16	1.00	31.80	13.40	OFF	13.40	31.80	0.0000	OFF	OFF	1.00	31.80	13.35	OFF	13.35	31.80	0.0000	OFF	OFF
17	1.00	31.10	13.48	OFF	13.48	31.10	0.0000	OFF	OFF	1.00	31.10	13.44	OFF	13.44	31.10	0.0000	OFF	OFF
18	1.00	30.10	9.48	OFF	9.48	30.10	0.0000	OFF	OFF	1.00	30.10	9.48	OFF	9.48	30.10	0.0000	OFF	OFF
19	1.00	29.00	10.18	OFF	10.18	29.00	0.0000	OFF	OFF	1.00	29.00	10.18	OFF	10.18	29.00	0.0000	OFF	OFF
20	1.00	27.70	10.62	OFF	10.62	27.70	0.0000	OFF	OFF	1.00	27.70	10.62	OFF	10.62	27.70	0.0000	OFF	OFF
21	1.00	26.20	10.81	OFF	10.81	26.20	0.0000	OFF	OFF	1.00	26.20	10.81	OFF	10.81	26.20	0.0000	OFF	OFF
22	1.00	24.60	11.01	OFF	11.01	24.60	0.0000	OFF	OFF	1.00	24.60	11.01	OFF	11.01	24.60	0.0000	OFF	OFF
23	1.00	23.10	11.14	OFF	11.14	23.10	0.0000	OFF	OFF	1.00	23.10	11.14	OFF	11.14	23.10	0.0000	OFF	OFF
24	1.00	21.50	10.92	OFF	10.92	21.50	0.0000	OFF	OFF	1.00	21.50	10.92	OFF	10.92	21.50	0.0000	OFF	OFF

APÊNDICE E – SAÍDA DE DADOS DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO (PARTE 3)

UNIDADES TERMINAIS				
	Esp. 01	Esp. 02	Esp. 03	Esp. 04
Caudal Máximo de Ar Novo [kgs]:	0.2073	0.2073	0.2073	0.2073
Caudal Máximo de Ar Novo [m³/h]:	621.75	621.75	621.75	621.75
Caudal Máximo de Insuflação [kgs]:	0.6507	0.6377	0.6377	0.6453
Caudal Máximo de Insuflação [m³/h]:	1952.17	1913.21	1913.21	1936.05
Fração de Ar Novo - Bateria ON [%]:	100	100	100	100
Fração de Ar Novo - Bateria OFF [%]:	100	100	100	100
BATERIAS				
ARREFECIMENTO				
	Esp. 01	Esp. 02	Esp. 03	Esp. 04
Potência Total Máxima [W]:	8710	8505	8505	8625
Potência Sensível Máxima [W]:	7435	7239	7239	7354
AQUECIMENTO				
	Esp. 01	Esp. 02	Esp. 03	Esp. 04
Potência Total Máxima [W]:	4664	4401	4401	4660
Potência Sensível Máxima [W]:	4664	4401	4401	4660