



Comportamento Higrotérmico de Edifícios

TIAGO JORGE PINHO MAGALHÃES

novembro de 2019



Comportamento Higrotérmico de Edifícios

TIAGO JORGE PINHO MAGALHÃES

Novembro de 2019

COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DE EDIFÍCIOS

TIAGO JORGE PINHO MAGALHÃES

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Teresa Isabel Moreira De Carvalho Amorim Neto Silva

Supervisor: Pedro Luís Pacheco Machado (Departamento de Conservação - Divisão de Edifícios Municipais da Câmara Municipal de Matosinhos)

NOVEMBRO DE 2019

ÍNDICE GERAL

Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xxi
Abreviaturas	xxiii
CAPÍTULO 1 Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 Atividades desenvolvidas durante o estágio	3
CAPÍTULO 3 Comportamento higrotérmico.....	21
CAPÍTULO 4 Análise de casos práticos	53
CAPÍTULO 5 Considerações finais	103
Referências Bibliográficas	105
Anexo – Geometria solar.....	109

RESUMO

O presente documento enquadra-se no âmbito da Unidade Curricular de DIPRE – Dissertação, Projeto e Estágio do Instituto Superior de Engenharia do Porto, realizado na Divisão de Edifícios Municipais – Departamento de Conservação da Câmara Municipal de Matosinhos, com a duração de cinco meses.

Apresentam-se as atividades realizadas na divisão nas quais o estagiário esteve integrado e descrevem-se as consideradas como de maior relevância para o exercício de engenharia civil.

Realizaram-se vistorias a edifícios ao encargo da Divisão de Conservação, nomeadamente à biblioteca e galeria municipal e a dois estabelecimentos de ensino, e efetuou-se um levantamento de anomalias desses edifícios para determinar o estado de conservação dos imóveis e avaliar a evolução das referidas anomalias e determinar quais os fatores que contribuem para o seu desenvolvimento. Foram ainda sugeridas algumas práticas a implementar com o objetivo de melhorar o comportamento higrotérmico do edifício, bem como, o conforto dos seus ocupantes.

Relativamente às escolas visitadas, procurou-se analisar algumas condições relativas ao ambiente interior desses estabelecimentos escolares, procurando abordar as questões inerentes às temáticas de conforto térmico, humidade e a qualidade do ar interior, assim como a relação entre eles.

Palavras-chave: comportamento higrotérmico; conforto térmico; higrometria; qualidade do ar interior; ventilação.

ABSTRACT

This document falls within the scope of the Curricular Unit of DIPRE – Dissertation, Project and Internship at the Instituto Superior de Engenharia do Porto, held in Divisão de Edifícios Municipais – Departamento de Conservação da Câmara Municipal de Matosinhos, lasting five months.

The activities performed during the internship, are presented and recorded in this document featuring the most prominent activities to the exercise of civil engineering.

During the internship, anomaly surveys were made to buildings under the tutelage of the Divisão de Conservação, namely the municipal library and gallery and two schools to determine the status of the anomalies, what factors contribute to their development, and suggest some practices to improve the occupancy behaviour of the building, as well as occupant comfort, while addressing topics such as thermal comfort, humidity and interior quality, as well as the relationship between them.

Regarding the schools visited some of its interior environment aspects, were analysed by the intern, to address the issues inherent to the themes of thermal comfort, humidity and indoor air quality, as well as the relationship between them.

Keywords: hygrothermal behaviour; thermal comfort; hygrometry; indoor air quality; ventilation.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paulo e Fátima, agradeço todo o sacrifício e palavras de incentivo que me permitiram concluir esta etapa da minha vida.

À Gisela, por todo amor, carinho, dedicação e por ter sempre uma palavra encorajadora.

À minha orientadora Engenheira Teresa Neto, o meu agradecimento pela sua disponibilidade, conhecimentos transmitidos, acompanhamento e contributo que em muito enriqueceu o trabalho aqui apresentado.

À Divisão de Edifícios Municipais – Departamento de Conservação da Câmara Municipal de Matosinhos, particularmente ao Engenheiro Pedro Machado, chefe da divisão onde decorreu o estágio, pela oportunidade de ingressar num estágio que em muito me enriqueceu e à Engenheira Armandina Silva, que me acompanhou de forma mais direta durante todo o estágio e me proporcionou o contacto direto com o trabalho realizado no município.

Gostaria de agradecer aos elementos da Secretaria do departamento pela amabilidade com que me acolheram.

Por último, agradeço a todos que me apoiaram ao longo de todo o meu percurso académico.

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	1
1.1	Considerações Iniciais.....	1
1.2	Objetivos do estágio.....	1
1.3	Estrutura do relatório de estágio.....	2
CAPÍTULO 2	Atividades desenvolvidas durante o estágio.....	3
2.1	Empresa de acolhimento.....	3
2.2	Atividades desenvolvidas.....	6
2.2.1	Vistoria a dois estabelecimentos de ensino.....	6
2.2.2	Biblioteca e Galeria Municipal.....	9
CAPÍTULO 3	Comportamento higrotérmico.....	21
3.1	Definição de comportamento higrotérmico.....	21
3.2	Higrometria.....	21
3.2.1	Fatores condicionantes da humidade.....	24
3.2.2	Formas de manifestação da humidade.....	25
3.2.3	Humidade de construção.....	26
3.2.4	Humidade de precipitação.....	26
3.2.5	Humidade devido a fenómenos de higroscopicidade.....	27
3.2.6	Humidade devido a causas de fortuitas.....	28
3.2.7	Humidade de terreno.....	28
3.2.8	Humidade de condensação.....	29
3.3	Conforto Térmico.....	33
3.3.1	Mecanismos de transmissão de calor.....	33

ÍNDICE DE TEXTO

3.3.2	Metabolismo.....	34
3.3.3	Índices de conforto térmico.....	39
3.4	Qualidade do ar interior.....	41
3.4.1	Fontes de poluição do ar interior	43
3.4.2	Critérios para assegurar a qualidade do ar interior.....	43
3.5	Técnicas para melhorar o comportamento higrotérmico	45
3.5.1	Soluções construtivas	45
3.5.2	Pavimentos	46
3.5.3	Coberturas	47
3.5.4	Vãos envidraçados.....	49
3.5.5	Inércia higroscópica	50
3.5.6	Ventilação	51
CAPÍTULO 4	Análise de casos práticos	53
4.1	Escola da Igreja Velha	53
4.1.1	Descrição do estabelecimento de ensino.....	54
4.1.2	Caracterização das condições meteorológicas e geometria solar.....	57
4.1.3	Critérios de medição de dióxido de carbono, temperatura e humidade relativa	59
4.1.4	Aparelho de medição.....	60
4.1.5	Medição da Sala Sonhos	63
4.1.6	Medição da Sala Tolerância	66
4.1.7	Medição da Sala Alegria.....	85
4.1.8	Medição da Sala União	88
4.1.9	Estimativa do conforto térmico	91
4.1.10	Análise das medições.....	93
4.2	Escola da Barranha.....	94
4.2.1	Caracterização do local em estudo.....	95
4.2.2	Observação de anomalias nas instalações sanitárias, arrumos e sala de aula.....	96

4.2.3	Observação de anomalias nos arrumos de materiais (Divisão D)	99
4.2.4	Notas sobre as observações	99
CAPÍTULO 5	Considerações finais	103
5.1	Conclusões	103
5.2	Desenvolvimentos futuros.....	104
	Referências Bibliográficas	105
	Anexo – Geometria solar.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Armazéns Gerais da Câmara Municipal de Matosinhos.....	3
Figura 2.2 – Organograma da Câmara Municipal de Matosinhos.	4
Figura 2.3 – Organograma da Câmara Municipal de Matosinhos implementado durante o estágio.	5
Figura 2.4 – Aparelho de medição Wöhler CDL 210 CO ₂ Data Logger (Fonte (3)).	6
Figura 2.5 – Guia rápido de utilização do aparelho de medição.....	7
Figura 2.6 – Exemplo da folha programada do aparelho de medição.	8
Figura 2.7 – Localização e identificação dos corpos que constituem o edifício.	9
Figura 2.8 – Localização esquemática das anomalias no interior do parque subterrâneo sobre a cobertura de pedra natural, área ajardinada e espelho de água (Esquema adaptado do Relatório Técnico (Fonte (4)).	10
Figura 2.9 – Áreas do espelho de água adjacentes a infiltrações.	13
Figura 2.10 – Áreas em jardim da cobertura sobre o parque subterrâneo.	14
Figura 2.11 – Envoltente das grelhas de ventilação do parque subterrâneo.....	14
Figura 2.12 – Elementos pontuais diversos existentes na cobertura do parque subterrâneo.....	14
Figura 2.13 – Remate entre as áreas ajardinadas/revestimento em pedra da cobertura.....	15
Figura 2.14 – Áreas em estudo da cobertura com revestimento em lajetas/pedra.....	15
Figura 2.15 – Esquema de princípio da composição em zona corrente da cobertura sobre o parque subterrâneo com revestimento em lajetas/pedra (Esquema adaptado do Relatório Técnico) (Fonte (4)).....	15
Figura 2.16 – Grelhas de drenagem periférica adjacentes às paredes do parque subterrâneo.....	16
Figura 2.17 – Registo fotográfico do remate entre revestimento em pedra/fachada.	16
Figura 2.18 – Esquema de princípio da configuração do remate com os elementos verticais com revestimento em pedra (esquema adaptado do Relatório Técnico) (Fonte (4)).....	17

Figura 2.19 – Envolvente da caixa de escadas/junta de dilatação onde se verificam infiltrações.	17
Figura 2.20 – Canais de drenagem de águas pluviais.....	18
Figura 2.21 – Caleiras metálicas instaladas no parque subterrâneo sob a zona de dilatação.....	18
Figura 3.1 – Diagrama da humidade (Fonte (11)).	23
Figura 3.2 – Formas da manifestação da humidade (Fonte (16)).	25
Figura 3.3 – Anomalias da humidade ascensional (Fonte (16)).	28
Figura 3.4 – Interação térmica do corpo humano com o ambiente exterior (Fonte (21)).....	33
Figura 3.5 – Mecanismos de transmissão de calor: condução, convecção e radiação (Fonte (22)).	34
Figura 3.6 – Mecanismos de perda de calor do corpo humano (Fonte (22)).....	36
Figura 3.7 – Relação entre os índices <i>PPD</i> (percentagem previsível de insatisfeitos) e <i>PMV</i> (voto médio estimado) (Fonte (18)).	40
Figura 3.8 – Esquema ilustrativo de isolamento de coberturas (Fonte (34)).....	47
Figura 3.9 – Vidro baixa emissividade (<i>low-ε</i>) (Fonte (35)).....	49
Figura 3.10 – Exemplos de dispositivos de sombreamento (Fonte (36)).....	50
Figura 3.11 – Possível esquema de ventilação (Fonte (16)).....	51
Figura 4.1 – Localização da escola (Fonte (43)).....	53
Figura 4.2 – Diagrama da escola (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).	54
Figura 4.3 – Fachada do edifício original da escola.....	55
Figura 4.4 – Sala do 1º ciclo da escola.....	56
Figura 4.5 – Temperatura exterior média, mínima média e máxima média em junho para São Mamede de Infesta (Fonte (44)).....	58
Figura 4.6 – Humidade Relativa exterior média, mínima média e máxima média em junho para São Mamede de Infesta (Fonte (44)).	58
Figura 4.7 – Esquema do aparelho de medição (Fonte (45)).	61
Figura 4.8 – Distância entre a estação meteorológica e o caso de estudo (Fonte (43)).....	62
Figura 4.9 – Localização da Sala Sonhos (Piso -1) e do aparelho de medição (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).	63

Figura 4.10 – Gráfico do dióxido de carbono dos valores da Tabela 4.6.	64
Figura 4.11 – Gráfico da temperatura dos valores da Tabela 4.6.	65
Figura 4.12 – Gráfico da humidade relativa dos valores da Tabela 4.6.	65
Figura 4.13 – Localização da Sala Tolerância (Piso 1) e do aparelho de medição (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).	66
Figura 4.14 – Gráfico do dióxido de carbono dos valores da Tabela 4.7 (com ocupantes).	68
Figura 4.15 – Gráfico da temperatura dos valores da Tabela 4.7 (com ocupantes).	68
Figura 4.16 – Gráfico da humidade relativa dos valores da Tabela 4.7 (com ocupantes).	69
Figura 4.17 – Gráfico do dióxido de carbono do dia 21/06/19 (Sexta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).	75
Figura 4.18 – Gráfico da temperatura do dia 21/06/19 (Sexta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).	76
Figura 4.19 – Gráfico da humidade relativa do dia 21/06/19 (Sexta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).	76
Figura 4.20 – Gráfico do dióxido de carbono do dia 22/06/19 (Sábado) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).	77
Figura 4.21 – Gráfico da temperatura do dia 22/06/19 (Sábado) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).	77
Figura 4.22 – Gráfico da humidade relativa do dia 22/06/19 (Sábado) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).	78
Figura 4.23 – Gráfico do dióxido de carbono do dia 23/06/19 (Domingo) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).	79
Figura 4.24 – Gráfico da temperatura do dia 23/06/19 (Domingo) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).	79
Figura 4.25 – Gráfico da humidade relativa do dia 23/06/19 (Domingo) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).	80
Figura 4.26 – Gráfico do dióxido de carbono do dia 24/06/19 (Segunda-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).	80

Figura 4.27 – Gráfico da temperatura do dia 24/06/19 (Segunda-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).....	81
Figura 4.28 – Gráfico da humidade relativa do dia 24/06/19 (Segunda-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).....	81
Figura 4.29 – Gráfico do dióxido de carbono do dia 25/06/19 (Terça-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).....	82
Figura 4.30 – Gráfico da temperatura do dia 25/06/19 (Terça-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).....	82
Figura 4.31 – Gráfico da humidade relativa do dia 25/06/19 (Terça-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).....	83
Figura 4.32 – Gráfico da variação de dióxido de carbono do dia 26/06/19 (Quarta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).	83
Figura 4.33 – Gráfico da temperatura do dia 26/06/19 (Quarta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).....	84
Figura 4.34 – Gráfico da humidade relativa do dia 26/06/19 (Quarta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).....	84
Figura 4.35 – Localização da Sala Alegria (Piso 1) e do aparelho de medição (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).....	85
Figura 4.36 – Gráfico do dióxido de carbono dos valores da Tabela 4.9.	86
Figura 4.37 – Gráfico da temperatura dos valores da Tabela 4.9.	87
Figura 4.38 – Gráfico da humidade relativa dos valores da Tabela 4.9.	87
Figura 4.39 – Localização em planta da Sala União (Piso 1) e do aparelho de medição (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).	88
Figura 4.40 – Gráfico do dióxido de carbono dos valores da Tabela 4.10.	89
Figura 4.41 – Gráfico da temperatura dos valores da Tabela 4.10.	90
Figura 4.42 – Gráfico da humidade relativa dos valores da Tabela 4.10.	90
Figura 4.43 – Sistema de renovação do ar interior.	93
Figura 4.44 – Escola da Barranha.	95
Figura 4.45 – Localização esquemática do bloco A da Escola da Barranha (Fonte (43)).	95

Figura 4.46 – Planta do Bloco A (Adaptado de projetos Fornecidos CMM).	96
Figura 4.47 – Diagrama das áreas em estudo (Divisão A, B e C) (Adaptado de projetos da CMM).....	97
Figura 4.48 – Envidraçados entre a Divisão A (sala de aula) e Divisão B (arrumos).	98
Figura 4.49 – Envidraçados entre a Divisão B (arrumos) e Divisão C (instalações sanitárias).	98
Figura 4.50 – Porta da Divisão B (arrumos).....	98
Figura 4.51 – Caixa de saneamento presente na sala de aula (Divisão A).	98
Figura 4.52 – Divisão D (arrumos de materiais) e envidraçados para zona interior (balneário).	99
Figura 4.53 – Humidade no Piso 1.....	100
Figura 4.54 – Tubo de queda presente no interior do edifício.	100
Figura 4.55 – Exemplo de sistema de ventilação, instalado noutra compartimento da escola.	101
Figura 5.1 – Projeto Casa em Movimento como exemplo de arquitetura bioclimática em Matosinhos (Fonte (50)).	104

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Anomalias observadas no interior do parque subterrâneo (Tabela adaptada do Relatório Técnico (Fonte (4)).	10
Tabela 3.1 – Estimativa da produção de vapor de água para as atividades domésticas (Fonte (13)).	24
Tabela 3.2 – Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Fonte (14)).	24
Tabela 3.3 – Critérios para a determinação da zona climática de verão (Fonte (14)).	25
Tabela 3.4 – Taxa metabólica referente a várias atividades (Fonte (23)).	35
Tabela 3.5 – Resistência térmica referente a várias indumentárias (Fonte (24)).	37
Tabela 3.6 – Principais poluentes (Fonte (29)).	43
Tabela 3.7 – Limiar de proteção para os poluentes físico-químicos de acordo com o Regulamento de Desempenho dos Edifícios de Comércio e Serviços (Fonte (14)).	44
Tabela 3.8 – Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica (Fonte (8)).	48
Tabela 3.9 – Caudal mínimo de ar novo em função da carga poluente devida à ocupação (Fonte (42)).	52
Tabela 4.1 – Organização funcional do Piso -1 (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).	55
Tabela 4.2 – Organização funcional do Piso 0 (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).	56
Tabela 4.3 – Organização funcional do Piso 1 (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).	57
Tabela 4.4 – Valores admissíveis de dióxido de carbono (CO ₂) (Fonte (45)).	60
Tabela 4.5 – Valores aceitáveis da relação temperatura/ humidade relativa (Fonte (45)).	60
Tabela 4.6 – Medição do nível de dióxido de carbono, temperatura (Temp.) e Humidade Relativa (HR) da Sala Sonhos (dados obtidos do equipamento Wöhler CDL 210).	63
Tabela 4.7 – Medição do nível de dióxido de carbono, temperatura (Temp.) e Humidade Relativa (HR) da Sala Tolerância (dados obtidos do equipamento Wöhler CDL 210) (com ocupantes).	67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.8 – Medição do nível de dióxido de carbono, temperatura (Temp.) e Humidade Relativa (HR) da Sala Tolerância (dados obtidos do equipamento Wöhler CDL 210) (sem ocupantes).....	69
Tabela 4.9 – Medição do nível de dióxido de carbono, temperatura (Temp.) e Humidade Relativa (HR) da Sala Alegria (dados obtidos do equipamento Wöhler CDL 210).	86
Tabela 4.10 – Medição do nível de dióxido de carbono, temperatura (Temp.) e Humidade Relativa (HR) da Sala União (dados obtidos do equipamento Wöhler CDL 210).	88
Tabela 4.11 – Dados introduzidos para o cálculo do <i>PMV</i> e <i>PPD</i>	92
Tabela 4.12 – Cálculos auxiliares para o cálculo do <i>PMV</i> e <i>PPD</i>	92
Tabela 4.13 – Resultados do <i>PMV</i> e <i>PPD</i>	92

ABREVIATURAS

AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
BM	Biblioteca Municipal
CMM	Câmara Municipal de Matosinhos
EPS	<i>Expanded polystyrene</i> (Poliestireno expandido)
ICB	<i>Insulation cork board</i> (Placas de aglomerado de cortiça expandida)
IPMA	Instituto Português do Mar e Atmosfera
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITE50	Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil
GM	Galeria Municipal
LWA	Argila expandida em grânulos
MW	<i>Mineral wool</i> (Lã de Rocha)
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PPD	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>
PUR	<i>Polyurethane rigid foam</i> (Espuma rígida de poliuretano)
PVC	Policloreto de vinil
QAI	Qualidade do ar interior
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
XPS	<i>Expanded polystyrene</i> (Poliestireno extrudido)

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O conforto proporcionado pelos edifícios aos seus ocupantes, assume uma grande importância na atualidade. Com o desenvolvimento, exponencial, da tecnologia e com o aumento das expectativas de conforto dos ocupantes, a concepção dos edifícios, seja para habitação ou para comércio e serviços, encontra-se vocacionada para cumprir determinadas exigências funcionais inerentes à finalidade de cada um dos espaços e nas quais o conforto deve ganhar particular destaque.

O presente trabalho surge com o objetivo de estudar o comportamento higrotérmico de alguns edifícios escolares, sendo que por conforto higrotérmico entende-se a sensação de bem-estar associada a uma determinada temperatura e humidade relativa do ar ambiente, assim como a qualidade do ar interior.

Os estabelecimentos de ensino são vistos como particularmente propensos a ter ambientes termo-higrométricos deficientes devido à escolha de soluções de climatização em detrimento de soluções passivas, e adequadas às condições climáticas às quais o edifício vai ficar exposto, o que associado por vezes a situações de carência de financiamento contribui para o funcionamento inadequado e falta de manutenção das instalações.

1.2 OBJETIVOS DO ESTÁGIO

Os principais objetivos propostos com o desenvolvimento deste estágio estão descritos neste relatório e podem ser sintetizados nos seguintes pontos:

- Integração numa empresa com área de intervenção na reabilitação/conservação urbana e com capitais exclusivamente públicos;
- Integração, partilha de conhecimento e experiência numa equipa de trabalho;
- Acompanhamento de diferentes tipos e fases de obras, adquirindo sensibilidade e conhecimentos sobre diferentes práticas construtivas, tecnologias e materiais;

CAPÍTULO 1

- Interação com diferentes profissionais da área da construção civil;
- Aplicação prática dos conhecimentos adquiridos ao longo do processo de formação acadêmica;
- Descrição das tarefas realizadas no estágio, realçando as de maior importância e exibindo exemplos reais.

O estagiário procurou a integração no mundo real do trabalho, de forma a aplicar os conhecimentos adquiridos no percurso académico, ter ainda uma perceção do funcionamento da empresa tanto ao nível do trabalho em equipa como de organização e a aquisição de experiência profissional.

1.3 ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

A presente dissertação é composta por cinco capítulos, com a seguinte descrição:

- No Capítulo 1, apresenta-se a introdução, um resumo dos objetivos do trabalho assim como a introdução dos restantes capítulos;
- No Capítulo 2, descreve-se a empresa de acolhimento do estagiário e as atividades desenvolvidas no decorrer do estágio;
- No Capítulo 3, apresentam-se os fundamentos teóricos no âmbito do comportamento termo-higrométrico dos edifícios;
- No Capítulo 4, apresenta-se a análise de dois casos de estudo;
- No Capítulo 5, apresentam-se as principais conclusões resultantes da elaboração do trabalho refletindo sobre os dados de maior relevância e evidenciando-se alguns aspetos que poderiam ser desenvolvidos futuramente.

CAPÍTULO 2

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO

2.1 EMPRESA DE ACOLHIMENTO

O estágio promovido pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) realizou-se na empresa Câmara Municipal de Matosinhos – Divisão de Conservação de Edifícios Municipais, sito nos Armazéns Gerais, na Avenida Joaquim Neves dos Santos, Guifões.



Figura 2.1 – Armazéns Gerais da Câmara Municipal de Matosinhos.

A Divisão de Conservação de Edifícios Municipais encontrava-se, à data de início do estágio, integrada no Departamento Qualidade 100% como evidencia o organograma presente na Figura 2.2. À Divisão de Conservação de Edifícios Municipais compete (1):

- Conceber, implementar e manter o “Programa Qualidade 100%”, visando a manutenção de um estado de conservação adequado dos edifícios municipais e a implementação eficiente e atempada das medidas corretivas que se mostrem necessárias;
- Proceder à manutenção permanente e limpeza dos equipamentos municipais;
- Proceder à gestão e manutenção do edifício dos Paços do Concelho.

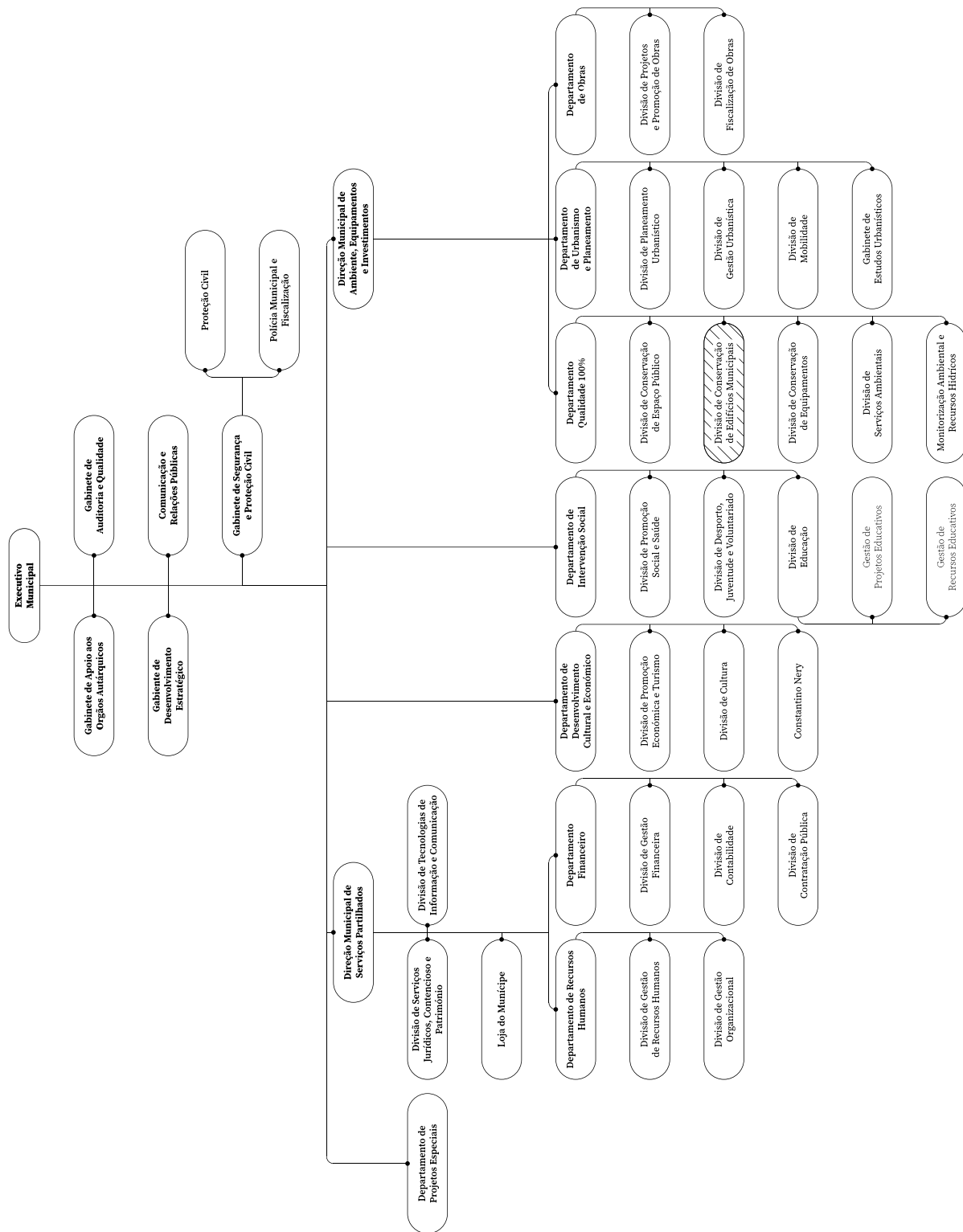


Figura 2.2 – Organograma da Câmara Municipal de Matosinhos.

De salientar que no decorrer do estágio ocorreu uma alteração organizacional na macroestrutura da Câmara Municipal de Matosinhos, como demonstra o organograma presente na Figura 2.3, sendo que a divisão onde se realizou o estágio passou a ser designada por Divisão de Edifícios Municipais do Departamento de Conservação. Esta alteração de denominação não alterou os objetivos da divisão.

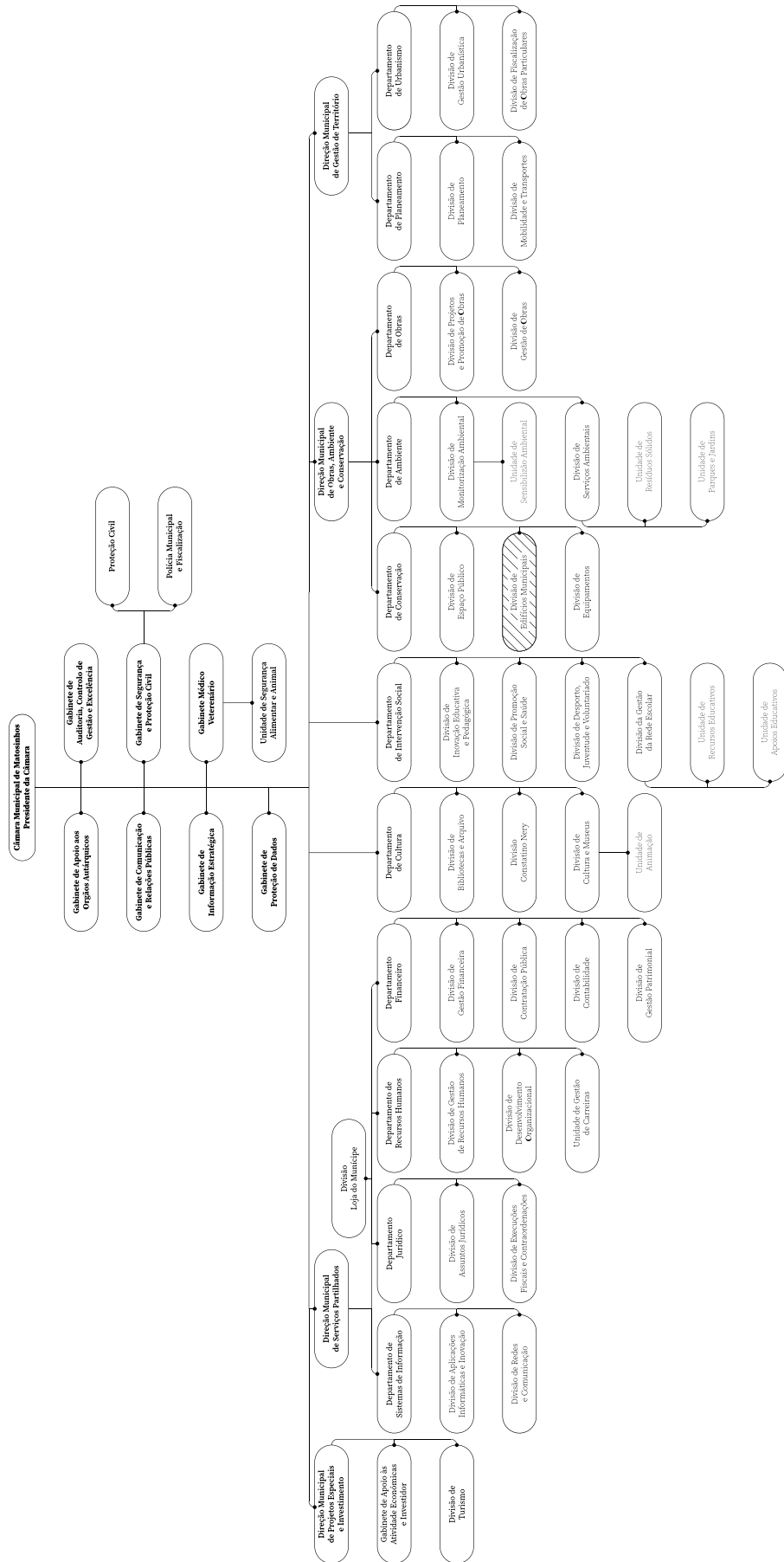


Figura 2.3 – Organograma da Câmara Municipal de Matosinhos implementado durante o estágio.

2.2 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

No âmbito do estágio, realizaram-se atividades desenvolvidas de acordo com o respetivo programa de trabalho e com as competências do estagiário.

Foi realizado um levantamento de anomalias existentes na Biblioteca Municipal e Galeria Municipal, assim como de dois estabelecimentos de ensino do município que foram alvo de uma análise mais detalhada que será apresentada no Capítulo 4.

2.2.1 Vistoria a dois estabelecimentos de ensino

A análise dos estabelecimentos de ensino é oportuna particularmente porque o aquecimento e a problemática energética na vertente da melhoria do bem-estar, fadiga e índices de produtividade intelectual são questões de preocupação atuais (2).

Dada esta preocupação, foi elaborado durante o estágio, um guia rápido relativo a utilização do aparelho de medição de dióxido de carbono, temperatura e humidade relativa. Para as medições utilizou-se um dispositivo disponibilizado pelos Armazéns Gerais da Câmara de Matosinhos, da marca Wöhler, modelo CDL 210 CO₂ Data Logger, um equipamento de medição de concentração de dióxido de carbono, temperatura e humidade relativa para constante monitorização de alguns fatores da qualidade do ar interior e encontra-se representado na Figura 2.4.



Figura 2.4 – Aparelho de medição Wöhler CDL 210 CO₂ Data Logger (Fonte (3)).

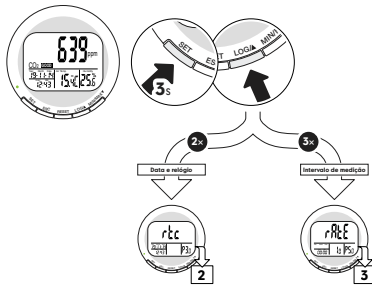
Foi ainda programada uma folha em Excel para facilitar a conversão, leitura e análise dos dados obtidos, pelo equipamento de medição mencionado. O estagiário também apresentou estes elementos a dois técnicos que irão realizar medições com este aparelho para os Armazéns Gerais da Câmara Municipal de Matosinhos (CMM).

O guia rápido e o programa de cálculo encontram-se nas figuras seguintes e procuram auxiliar os técnicos na realização de ensaios e na interpretação dos resultados obtidos.

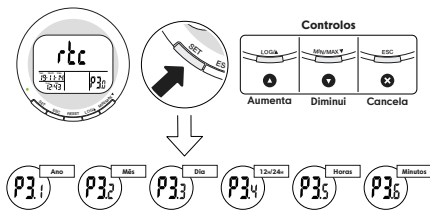
GUIA RÁPIDO WÖHLER CDL 210



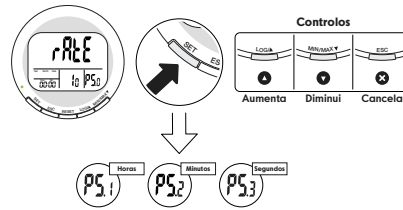
- 1** Pressionar por 3 segundos o botão **SET** (modo configurações)
 Pressione o botão **LOG** para alternar entre configurações



- 2** Pressione o botão **SET** para alternar entre as configurações de **data e relógio** utilizando os controles para definir o valor



- 3** Pressione o botão **SET** para alternar entre as configurações do **intervalo de medição** utilizando os controles para definir o valor



Informação

O aparelho inicia as medições (sem gravar) quando ligado à corrente elétrica e atualiza as leituras a cada segundo. Se o ambiente se altera, são necessários 2 minutos para o sensor de CO₂ e Temperatura registrar a alteração e 10 minutos para o sensor de Humidade Relativa registrar a alteração.

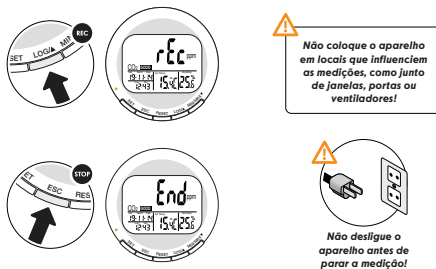
A capacidade de memória é de 15999 registos (5333 registos de CO₂, Temperatura e Humidade Relativa). O intervalo de medição é ajustável de 1 segundo até 4 horas 59 minutos e 59 segundos.

Sugestões de intervalos de medição em função dos períodos a medir

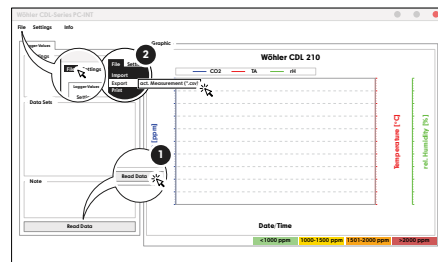
Período de medição	Intervalo de medição	Nº total de registos
15 minutos	1 minuto	45
30 minutos		90
1 hora		180
1 dia	30 minutos	144
5 dias		360
15 dias		1080

NOTA: Os valores totais dos registos dos intervalos de medição sugeridos são muito inferiores ao limite máximo

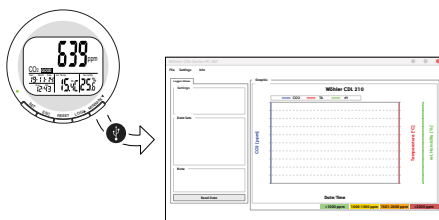
- 4** Pressione o botão **LOG** para **iniciar a gravação da medição**
 Pressione o botão **ESC** para **parar a gravação da medição**



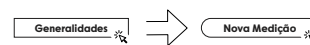
- 6** Clique em **Read Data** para carregar os dados da medição
 Clique em **File > Export > act. Measurement (*.csv)**



- 5** Ligue o aparelho ao computador através do cabo USB e inicie o programa do fabricante - **Wöhler CDL-Series PC-INT**



- 7** Abra a folha de cálculo programada no separador **Generalidades** e clique em **Nova Medição**



Recomendações de valores de CO₂, Temperatura e Humidade Relativa

Ótimo	Normal	Elevado	Muito Elevado
<700 ppm	<1000 ppm	>1000 ppm	>2000 ppm
Não é necessária ventilação adicional	Não é necessária ventilação adicional	É necessária ventilação adicional	É urgente ventilar e melhorar o comportamento de ventilação
20 °C	22 °C	24 °C	26 °C
< 80%	< 70%	< 62%	< 55%

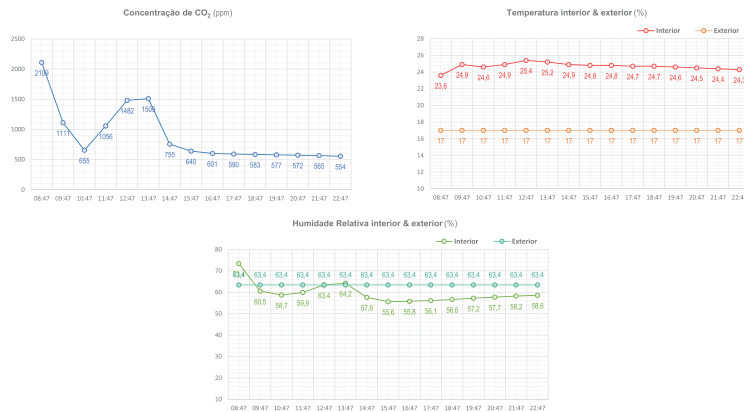
Figura 2.5 – Guia rápido de utilização do aparelho de medição.

MEDIÇÃO DO NÍVEL DE CO₂, TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA

Designação da medição	Data
Medição 1	21/06/2019
Localização do aparelho de medição	
Legenda	
⊕ Aparelho de medição ⊗ Ventoinha/Ventilador	

Recomendações de concentração de CO ₂				Recomendações de valores relação Temperatura – Humidade Relativa			
Ótimo < 700 ppm	Normal < 1000 ppm	Elevado > 1000 ppm	Muito Elevado > 2000 ppm	20 °C < 80 %	22 °C < 70 %	24 °C < 62 %	26 °C < 55 %
Não é necessário ventilação adicional	Não é necessário ventilação adicional	É necessário ventilar e melhorar o comportamento de ventilação	Urgente ventilar e melhorar o comportamento de ventilação (Redução do nº de ocupantes)	Se as condições se verificarem os valores da relação Temperatura – Humidade Relativa são aceitáveis Apesar de verificar a recomendação de valor da relação Temperatura – Humidade Relativa é necessário ser crítico da temperatura interior medida, pois a mesma pode apresentar um valor elevado			

Valores medidos máximos				Início da medição		Término da medição	
CO ₂ (ppm)		Temperatura (°C)		Data (dia/mês/ano)	Registo Horário (horas:minutos)	Data (dia/mês/ano)	Registo Horário (horas:minutos)
MAX	MIN	MAX	MIN	21/06/2019	08:47	21/06/2019	22:47
2109	554	25,4	23,6				



Observações

Nº	Data e Registo Horário		CO ₂		Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Temp – HR Verificação
			Verificação	(ppm)	Exterior	Interior	Exterior	Interior	
1	21/06/2019	Sexta 08:47	●	2109	17	23,6	63,4	73,4	●
2	21/06/2019	Sexta 09:47	●	1111	17	24,9	63,4	60,5	●
3	21/06/2019	Sexta 10:47	●	655	17	24,6	63,4	58,7	●
4	21/06/2019	Sexta 11:47	●	1056	17	24,9	63,4	59,9	●
5	21/06/2019	Sexta 12:47	●	1482	17	25,4	63,4	63,4	●
6	21/06/2019	Sexta 13:47	●	1509	17	25,2	63,4	64,2	●
7	21/06/2019	Sexta 14:47	●	755	17	24,9	63,4	57,6	●
8	21/06/2019	Sexta 15:47	●	640	17	24,8	63,4	55,6	●
9	21/06/2019	Sexta 16:47	●	601	17	24,8	63,4	55,8	●
10	21/06/2019	Sexta 17:47	●	590	17	24,7	63,4	56,1	●
11	21/06/2019	Sexta 18:47	●	583	17	24,7	63,4	56,6	●
12	21/06/2019	Sexta 19:47	●	577	17	24,6	63,4	57,2	●
13	21/06/2019	Sexta 20:47	●	572	17	24,5	63,4	57,7	●
14	21/06/2019	Sexta 21:47	●	565	17	24,4	63,4	58,2	●
15	21/06/2019	Sexta 22:47	●	554	17	24,3	63,4	58,6	●

Figura 2.6 – Exemplo da folha programada do aparelho de medição.

2.2.2 Biblioteca e Galeria Municipal

Foi realizado durante o estágio uma vistoria à Biblioteca Municipal (BM) e a Galeria Municipal (GM) de Matosinhos, pois os edifícios apresentam um conjunto de anomalias e deficiências acentuadas.

Os edifícios, inaugurados em maio de 2015, situam-se na Rua de Alfredo Cunha, em Matosinhos. O corpo da biblioteca é constituído por quatro pisos elevados e o corpo da galeria é constituído por dois pisos elevados. Existe ainda dois pisos subterrâneos comuns aos dois corpos (estacionamento e zonas técnicas). A cobertura de ambos corpos é plana, sendo revestida a painéis de zinco. A cobertura do parque subterrâneo é constituída por áreas revestidas a pedra natural, por áreas ajardinadas e por um espelho de água.

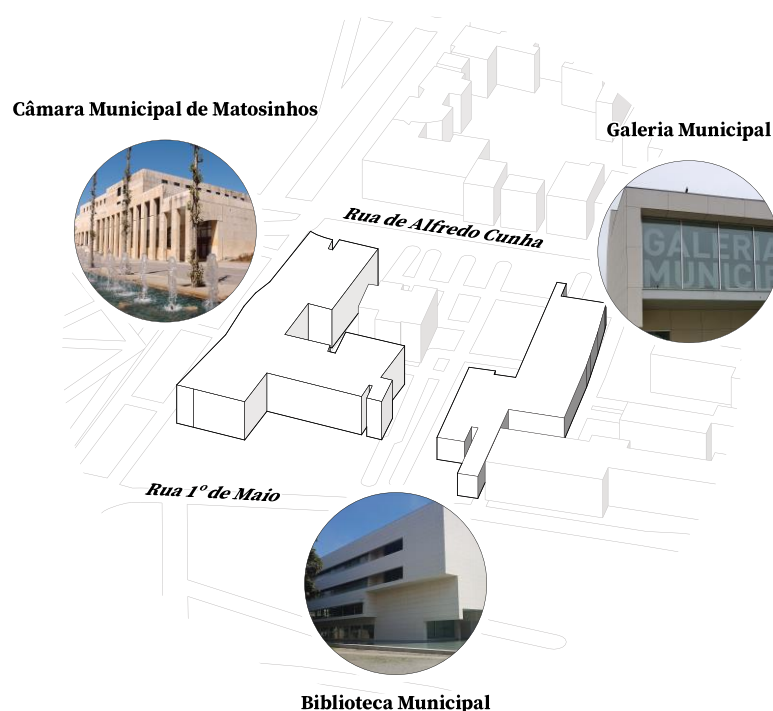


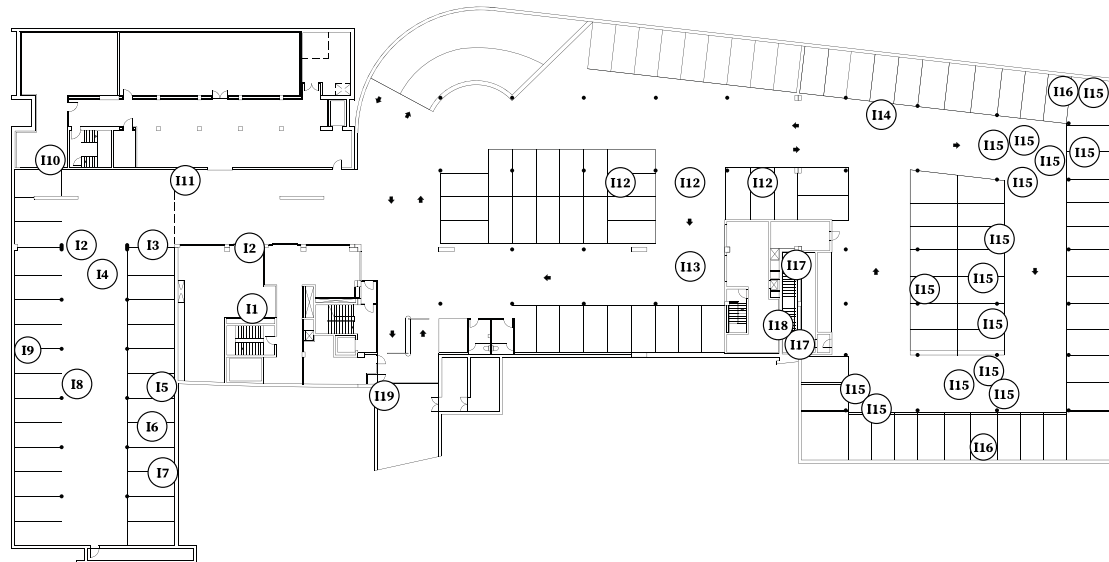
Figura 2.7 – Localização e identificação dos corpos que constituem o edifício.

Em 2018, a Divisão de Conservação da Câmara Municipal de Matosinhos solicitou ao gabinete do Professor Vasco Peixoto de Freitas um Relatório Técnico (4) com o objetivo de avaliar as infiltrações que ocorrem através das coberturas do edifício BM e da GM, identificar as suas causas e preconizar uma metodologia para os trabalhos de reparação que se venham a realizar.

Este relatório foi exaustivamente analisado pelo estagiário e foram realizadas algumas visitas ao local, para se verificar se as anomalias se tinham agravado e se as únicas medidas de mitigação do problema de escorrências de água para a zona técnica e estacionamento estavam efetivamente a evitar situações problemáticas nos quadros elétricos e nas cablagens.

Nos parágrafos seguintes, só são descritos os pontos críticos que estavam devidamente assinalados no Relatório Técnico (4) e aos quais o estagiário teve acesso.

Apresenta-se na Figura 2.8 a localização esquemática das anomalias no interior do parque subterrâneo e descreve-se as mesmas na Tabela 2.1.














In Anomalia interior *n*


Figura 2.8 – Localização esquemática das anomalias no interior do parque subterrâneo sobre a cobertura de pedra natural, área ajardinada e espelho de água (Esquema adaptado do Relatório Técnico (Fonte (4))).

Tabela 2.1 – Anomalias observadas no interior do parque subterrâneo (Tabela adaptada do Relatório Técnico (Fonte (4))).

Ref.	Descrição da anomalia	
I1	Manchas, empolamento e degradação do revestimento e da pintura do teto do compartimento técnico do parque subterrâneo na área sob as instalações sanitárias do rés-do-chão e <i>courette</i> emergente na cobertura da GM.	
I2	Manchas, empolamento e degradação do revestimento e da pintura do teto do parque subterrâneo na área de estacionamento e compartimentos adjacentes, devido a infiltrações através da junta de dilatação.	

Ref.	Descrição da anomalia	
13	Escorrências, corrosão e deposição de carbonato de cálcio nas condutas de ventilação e calhas metálicas fixas ao teto do parque subterrâneo, devido a infiltrações através da junta de dilatação.	
14	Degradação do revestimento do pavimento do estacionamento na área sob a junta de dilatação através da qual se verificam infiltrações.	
15	Manchas de humidade associadas a infiltrações e descolamento da pintura do teto e da parede enterrada do parque subterrâneo (sob as escadas de acesso à GM), bem como degradação da tubagem metálica localizada nesta área.	
16	Manchas de humidade devido a infiltrações e descolamento do revestimento e da pintura do teto do parque subterrâneo sob a cobertura com revestimento em pedra (adjacente a um dos canais de drenagem superior).	
17	Manchas de humidade devido a infiltrações e descolamento do revestimento e da pintura do teto do parque subterrâneo sob a cobertura com revestimento em pedra na ligação do muro de suporte com o jardim adjacente.	
18	Manchas de humidade devido a infiltrações e descolamento do revestimento e da pintura do teto do parque subterrâneo sob a cobertura ajardinada.	
19	Empolamento e descolamento da pintura de revestimento do muro de suporte da cave na área adjacente ao canal periférico de recolha de águas freáticas.	
110	Degradação e manchas no teto do parque subterrâneo devido a infiltrações.	

Ref.	Descrição da anomalia	
I11	Manchas de humidade, empolamento e destacamento do revestimento e da pintura do teto do parque subterrâneo, devido a infiltrações junto ao atravessamento das tubagens associadas possivelmente ao abastecimento de água do corpo da BM.	
I12	Manchas de humidade associadas a infiltrações e destacamento do revestimento e pintura do teto do parque subterrâneo sob a cobertura com revestimento em pedra, junto à envolvente do espelho de água do corpo da BM.	
I13	Manchas de humidade associadas a infiltrações e destacamento do revestimento e da pintura do teto do parque subterrâneo sob o café.	
I14	Mancha de humidade associada a infiltrações e destacamento do revestimento e da pintura do teto do parque subterrâneo sob envolvente do espelho de água do corpo da BM adjacente ao canal de recolha periférico (orientado a nordeste).	
I15	Manchas de humidade devido a infiltrações e destacamento do revestimento e da pintura do teto do parque subterrâneo quer sob as áreas em jardim, quer como revestimento em pedra da cobertura.	
I16	Empolamento e destacamento do revestimento e da pintura de revestimento do muro de suporte da cave na área adjacente ao canal periférico de recolha de águas freáticas e junto à envolvente do poço de ventilação (orientado a sudeste).	
I17	Desenvolvimento de manchas, formação de carbonato de cálcio, empolamento e destacamento do revestimento e da pintura do teto contígua à junta de dilatação da escada de acesso ao Piso 0 da GM, na envolvente do espelho de água da galeria.	
I18	Manchas de humidade e empolamento da pintura da parede e teto da escada de acesso ao Piso 0 da GM devido a infiltrações.	

Ref.	Descrição da anomalia	
I19	Manchas de humidade devido a infiltrações e destacamento do revestimento e da pintura da envolvente da rampa de acesso ao parque subterrâneo, sob a cobertura com revestimento em pedra.	

Estas anomalias estavam devidamente identificadas no Relatório Técnico (4) e verificou-se que continuaram com o mesmo aspeto que apresentavam em 2018. Conclui-se, assim, que aparentemente não existiu um agravamento das ocorrências.

É pertinente o estudo das coberturas dos parques de estacionamento, elementos e pontos críticos existentes, que possam constituir pontos de entrada de água, originando assim as anomalias observadas, sendo assim necessário um estudo das coberturas ajardinadas, do funcionamento do espelho de água e a caracterização da sua envolvente, tais como o remate entre áreas. Durante o estágio não foram realizadas sondagens, contudo, esta análise tem por base as elaboradas pelos técnicos da CMM e que serviram de base ao Relatório Técnico.



Figura 2.9 – Áreas do espelho de água adjacentes a infiltrações.

Considera-se que as áreas em estudo da cobertura ajardinada (Figura 2.10) possuem uma tela de impermeabilização em PVC que terá sido aplicada de forma contínua sobre a camada de forma, abrangendo a superfície vertical da envolvente enterrada da cave. Será necessário avaliar o remate entre a cobertura e as escadas de acesso à cave previamente a qualquer intervenção.



Figura 2.10 – Áreas em jardim da cobertura sobre o parque subterrâneo.



Figura 2.11 – Envolvente das grelhas de ventilação do parque subterrâneo.

Na cobertura do parque subterrâneo existem vários elementos pontuais, como: focos de iluminação, esculturas, separadores de estacionamento, caixas de passagem de tubagens e cablagens, componentes do sistema de rega, etc. (Figura 2.12). Admite-se que o suporte destes elementos foi realizado garantindo a continuidade da tela de PVC, o que deve ser verificado previamente a qualquer intervenção.



Figura 2.12 – Elementos pontuais diversos existentes na cobertura do parque subterrâneo.

Admite-se que a tela de PVC terá sido aplicada de forma contínua sob a camada de forma da cobertura, assegurando a impermeabilidade do remate entre as áreas ajardinadas e o revestimento em pedra.



Figura 2.13 – Remate entre as áreas ajardinadas/revestimento em pedra da cobertura.

Admite-se que nas áreas com revestimento em pedra ou lajetas (Figura 2.15), foi colocada uma tela de impermeabilização que se desenvolve de forma contínua e que abrange a superfície dos elementos do contorno e dos pontos singulares.



Figura 2.14 – Áreas em estudo da cobertura com revestimento em lajetas/pedra.

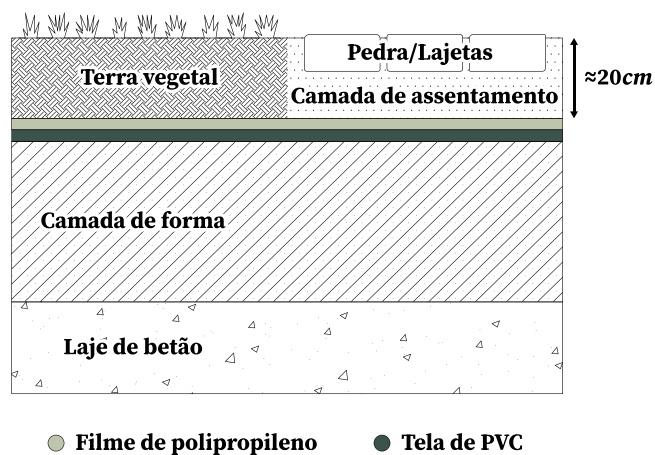


Figura 2.15 – Esquema de princípio da composição em zona corrente da cobertura sobre o parque subterrâneo com revestimento em lajetas/pedra (Esquema adaptado do Relatório Técnico) (Fonte (4)).

Denote-se a existência de canais de drenagem periférica, na base das paredes enterradas do parque subterrâneo e que se destinam a escoamento das águas do próprio parque, em caso de chuva ou limpezas.



Figura 2.16 – Grelhas de drenagem periférica adjacentes às paredes do parque subterrâneo.

Relativamente ao remate com os elementos verticais emergentes e de contorno, admite-se que no remate do sistema de impermeabilização da cobertura com elementos verticais, tais como: fachadas e paredes, se encontra instalada uma tela de PVC na superfície vertical sob o revestimento em pedra dos elementos sendo colada ao perfil de remate complementar.



Figura 2.17 – Registo fotográfico do remate entre revestimento em pedra/fachada.

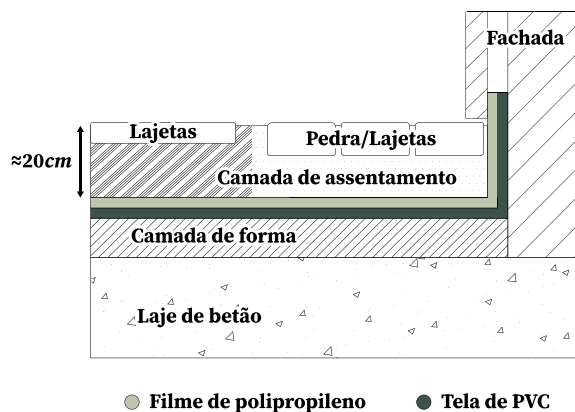


Figura 2.18 – Esquema de princípio da configuração do remate com os elementos verticais com revestimento em pedra (esquema adaptado do Relatório Técnico) (Fonte (4)).

No corpo da Galeria Municipal verificam-se infiltrações adjacentes à caixa de escadas junto ao espelho de água e à junta de dilatação (identificada na Tabela 2.1 com a designação I17) o que provavelmente terá origem na deficiente impermeabilização dos elementos da envolvente do espelho de água.

As fachadas nesta área apresentam um revestimento em placas de pedra e painéis metálicos desconhecendo-se como terá sido executado o remate com a junta de dilatação a este nível, ou como se realiza o atravessamento do tubo de queda e a respetiva ligação à caixa de recolha de águas pluviais.



Figura 2.19 – Envolvente da caixa de escadas/junta de dilatação onde se verificam infiltrações.

Relativamente às águas pluviais afluentes à cobertura do parque subterrâneo estas são conduzidas aos canais de drenagem metálicos que se encontram colocados sobre a impermeabilização da cobertura (Figura 2.20). As saídas de drenagem de águas pluviais associadas a estes canais estarão ligadas a uma rede de coletores e caixas de recolha que se desenvolvem no contorno da cobertura.



Figura 2.20 – Canais de drenagem de águas pluviais.

Seriam necessárias sondagens exaustivas e uma análise mais abrangente para concretizar a origem das anomalias verificadas e diminuir os riscos associados a uma intervenção. É necessário tomar particular atenção às características das coberturas em estudo, aos elementos a elas associados e à complexidade dos remates. Como esta análise não foi realizada, a CMM optou por apenas realizar intervenções pontuais para minimizar algumas das anomalias observadas.

Dado a complexidade da intervenção que aparenta ser necessária (levantamento das áreas ajardinadas) foi implementada uma solução temporária para mitigar a humidade presente no parque subterrâneo, recorrendo-se a umas caleiras metálicas para conduzir as águas recolhidas ao sumidouro mais próximo.



Figura 2.21 – Caleiras metálicas instaladas no parque subterrâneo sob a zona de dilatação.

Com o estudo aprofundado do Relatório Técnico (4) elaborado pelo Professor Vasco de Freitas complementado com as visitas aos dois edifícios, o estagiário procurou aprofundar os seus conhecimentos sobre anomalias e tecnologias construtivas.

Verificou a importância das soluções a implementar nas coberturas dos edifícios, bem como dos parques de estacionamento e ficou sensibilizado para as problemáticas associadas à existência de zonas com água (espelhos de água ou pequenos lagos) e de elementos enterrados. Apercebeu-se também da evolução das anomalias associadas à presença da água e à importância de implementação de soluções de correção, embora em muitos casos a CMM tenha apenas optado por soluções de mitigação das consequências associadas aos problemas detetados.

CAPÍTULO 3

COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

3.1 DEFINIÇÃO DE COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

O comportamento higrotérmico ou termo-higrométrico, resulta da análise holística da térmica, higrometria e ventilação, considerando todas as variáveis e características intrínsecas a cada um destes conceitos. Como já observado não é possível discernir as ligações e consequências que cada um dos conceitos exerce sobre o outro.

Os mecanismos de transferência de calor e humidade através da envolvente dos edifícios afetam a higrometria, provocando o aumento ou diminuição da pressão de vapor de água a que se encontra submetida a sua envolvente.

O clima interior dos edifícios e as condições climáticas exteriores determinam esses gradientes de pressão, que condiciona o fluxo de difusão de vapor através dos elementos que compõem a envolvente. Assim, as características subjacentes ao comportamento higrotérmico, produzem um efeito direto e decisivo na saúde, no conforto e na produtividade dos ocupantes bem como na economia energética do edifício.

3.2 HIGROMETRIA

A presença de humidade é um dos fatores que afeta negativamente as funções de um edifício, provocando a degradação dos materiais, interferindo na estética, funcionalidade, habitabilidade e na saúde dos seus ocupantes (5). A humidade é uma patologia que pode ser descrita como sendo o fenómeno de aparecimento de um teor de água superior ao desejado num revestimento, manifestando-se sob a forma de manchas (6). Estas patologias e anomalias afetam a saúde dos ocupantes, pois criam condições insalubres onde proliferam organismos nocivos, contudo uma redução excessiva do teor de humidade do ar provoca também desconforto térmico e respiratório nos ocupantes, não sendo, portanto, viável a sua eliminação (5).

As patologias originadas pela humidade podem ter diversas origens, tais como (7):

- Deterioração dos materiais de construção;
- Variações dimensionais;
- Alteração das condições de conforto e habitabilidade;
- Degradação de revestimentos;
- Aumento da condutibilidade térmica.

Em primeira instância é possível controlar a presença da humidade através da limitação da ação de humidade exterior por aumento da estanquidade e resistência ao vapor de água, mitigando a quantidade de água pluvial que penetra e é absorvida.

O edifício também pode ser concebido para potenciar a sua tolerância à humidade, recorrendo à arquitetura bioclimática, considerando fatores como uma correta orientação, ventilação, organização dos compartimentos assim como a utilização de materiais que possibilitem a absorção, armazenamento e evaporação da humidade, entre outros (8).

É possível inferir que as patologias, que resultam da presença nociva da humidade, advêm da falta de compatibilização dos vários projetos de especialidade, da ausência ou inadequada pormenorização construtiva e deficiente dimensionamento das soluções do ponto de vista da física das construções.

A água é identificada como o agente de deterioração mais nocivo para os materiais de alvenaria, principalmente, porque a presença de humidade potencia a ação de outros agentes deteriorantes, tais como, gases poluentes que são prejudiciais quando dissolvidos na água, ou os fenómenos de eflorescências que dependem da migração de sais dissolvidos na água, ou até o crescimento biológico de organismos que requerem a presença de humidade, entre outros exemplos de fenómenos de degradação associados à humidade (6).

A humidade é o principal agente causador de desagregações das paredes uma vez que as humidades infiltradas atuam nos pontos mais fracos (fendas e vazios), “esburacando” uma rede de percursos preferenciais no interior dos elementos, normalmente através das juntas de argamassa entre pedras ou tijolos (9).

Devido às consequências das patologias geradas pela presença indesejada de humidade, durante a conceção do edifício, os projetistas procuram mitigar este problema.

As soluções implementadas procuram criar condições desejáveis de conforto, evitar a deterioração prematura e economizar na utilização da energia e materiais (7).

Existem inúmeras soluções, das quais se opta pela mais adequada para evitar condensações superficiais e/ou internas, e para controlar a entrada de água por infiltrações, e ainda proteger as fundações e paredes enterradas da humidade do solo, garantindo condições de conforto e habitabilidade.

A execução é de extrema importância, pois a má execução corresponde a cerca de 25% da origem de patologias, isto deve-se à inexperiência dos operários qualificados, a consequente má aplicação dos materiais e ao desconhecimento das propriedades dos materiais de construção (10).

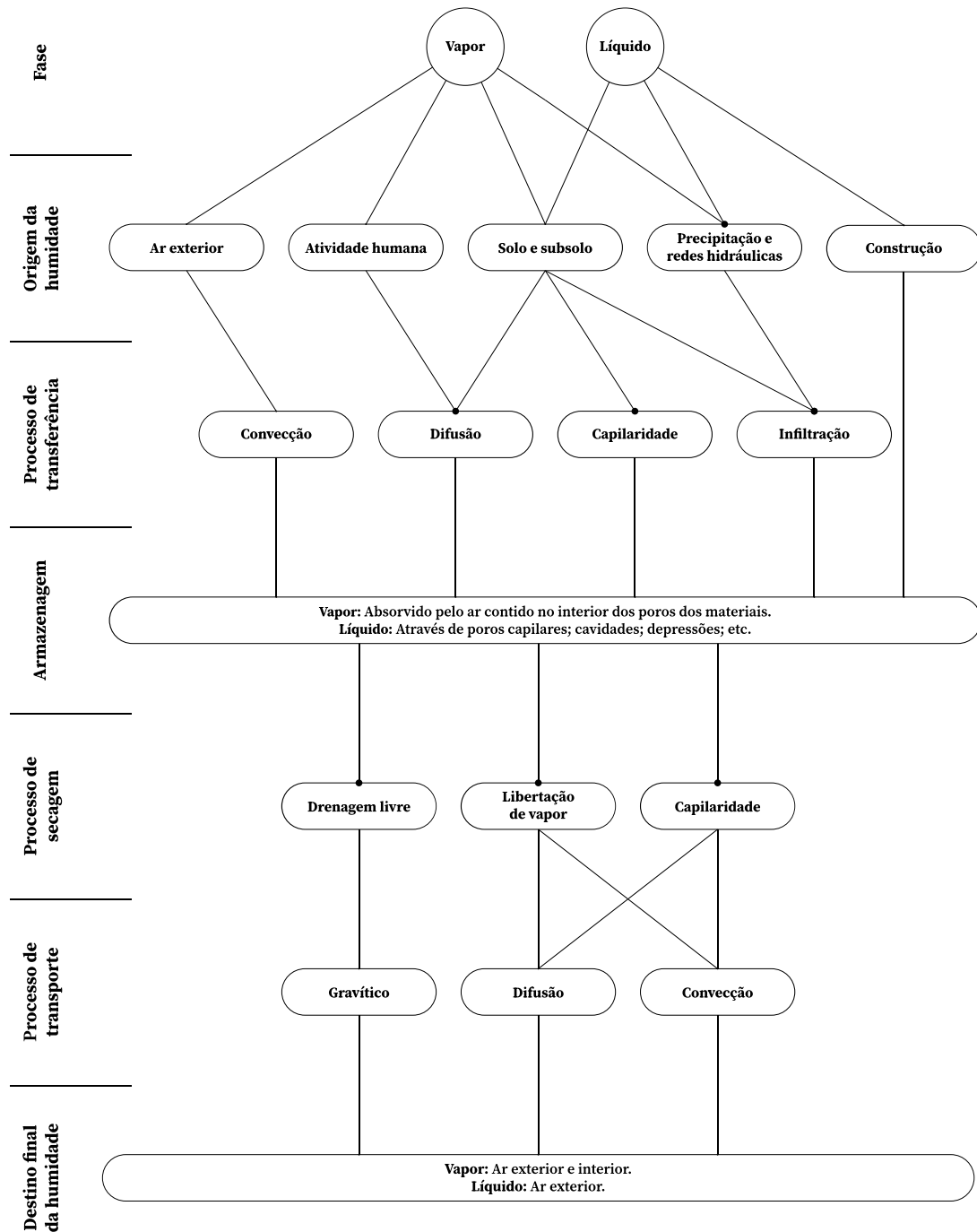


Figura 3.1 – Diagrama da humidade (Fonte (11)).

3.2.1 Fatores condicionantes da humidade

Os utilizadores possuem um impacto decisivo no clima interior. Um adulto médio libertará entre 45 *g/h* a 110 *g/h*, em condições de repouso ou de trabalho leve, a uma temperatura de 20°C. Por sua vez atividades domésticas como, banhos, lavagens ou cozinhados, promovem a libertação de quantidades significativas de vapor de água. Estima-se em cerca de 9100 *g/dia* a produção de vapor de água numa habitação média ocupada por três adultos e três crianças (12).

Tabela 3.1 – Estimativa da produção de vapor de água para as atividades domésticas (Fonte (13)).

Atividades domésticas	Vapor de água (<i>g/dia</i>)
Cozinhar a eletricidade	2000
Cozinhar a gás	3000
Lavagem de louça	400
Banho (por pessoa)	200
Lavagem de roupa	500
Secagem de roupa no interior de um compartimento (por pessoa)	1500

O clima exterior tem um impacto decisivo sobre o clima interior. A humidade absoluta do ar exterior, devido às trocas de ar através da ventilação, determina em grande medida o valor da humidade absoluta interior. Portugal, possui uma dimensão pequena, contudo apresenta uma variação apreciável de alguns parâmetros climáticos, geograficamente e ao longo do ano. Nas tabelas seguintes é possível observar os critérios de zonamento climático para Portugal.

Tabela 3.2 – Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Fonte (14)).

Critério	$GD \leq 1300 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{dia}$	$1300 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{dia} < GD \leq 1800 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{dia}$	$GD > 1800 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{dia}$
Zona	I1	I2	I3
<i>GD</i> – Número de graus-dias, na base de 18 °C, correspondente à estação de aquecimento			

Tabela 3.3 – Critérios para a determinação da zona climática de verão (Fonte (14)).

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22\text{ }^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3
$\theta_{ext,v}$ – Temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento			

3.2.2 Formas de manifestação da humidade

Por facilidade de exposição, as formas de manifestação de humidade serão analisadas individualmente, utilizando-se para esse fim a divisão em seis grupos distintos (15):

- Humidade de construção;
- Humidade do terreno;
- Humidade de precipitação;
- Humidade de condensação;
- Humidade devido a fenómenos de higroscopicidade;
- Humidade devido a causas fortuitas.

A ocorrência isolada das patologias seria o ideal, contudo na generalidade dos casos é frequente que dois ou mais tipos de fenómenos apareçam associados, por existirem condições propícias para o seu aparecimento, como também porque, em certos casos, uns podem ser resultado de outros (10).

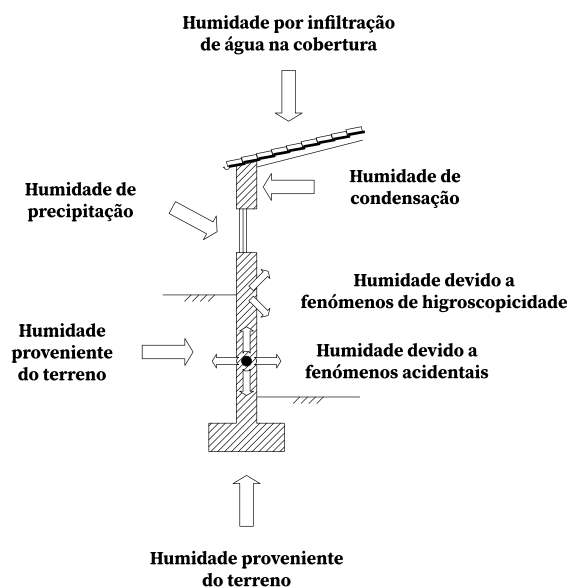


Figura 3.2 – Formas da manifestação da humidade (Fonte (16)).

3.2.3 Humidade de construção

Os materiais de construção, como as argamassas e betões, utilizam no seu fabrico, água. Recorrentemente, estes materiais, encontram-se expostos a águas provenientes de chuvas durante a execução, aumentando assim o seu teor de água. Parte desta água evapora com facilidade, contudo existe uma porção de secagem mais lenta. O processo de secagem ocorre em três fases, uma primeira onde ocorre evaporação de água superficial, uma segunda, onde se dá evaporação, lenta, da água existente nos poros de maiores dimensões e por último, uma terceira fase, onde se evapora a água dos poros mais reduzidos, um processo extremamente lento (7).

Devido a este processo de evaporação, podem ocorrer anomalias generalizadas ou localizadas, originando expansões ou destaques dos materiais de revestimento e o surgimento de manchas de humidade por condensação. Este fenómeno ocorre devido à variação da condutibilidade térmica dos materiais de acordo com o respetivo teor de água e existência de salitres por cristalização dos sais solúveis. *“De forma geral as anomalias deste tipo tendem a cessar ao fim dum período mais ou menos curto, devido à ventilação, tipo de utilização e região climática do edifício”* (15).

Resumidamente, a humidade de construção como patologia, ou seja, como origem de outras anomalias, costuma surgir no final da construção, nomeadamente aquando da aplicação dos acabamentos sem que tenha sido assegurada a secagem adequada dos suportes sobre os quais foram aplicados (12).

3.2.4 Humidade de precipitação

A conjugação de vento e precipitação, impõe à chuva uma componente horizontal sujeitando a fachada a uma ação de molhagem, aumentando o risco de humedecimento dos paramentos interiores. A ação da água de precipitação pode penetrar diretamente, em fissuras ou juntas mal vedadas. A ação continuada da chuva sobre a envolvente origina uma cortina de água que escorre pela superfície da fachada, podendo penetrar para o interior devido à sobrepessão do vento ou por ação da capilaridade dos materiais.

A penetração da água da chuva na fachada é um fenómeno corrente, que não suscita risco se os elementos tiverem sido concebidos para mitigar este tipo de fenómenos, impedindo que a água infiltrada atinja os paramentos interiores, como por exemplo as paredes duplas.

A ocorrência de anomalias devido à humidade de precipitação ocorre frequentemente devido a deficiências de conceção, existência de fissuração, erros de construção, para mencionar alguns exemplos. Denote-se, que a humidade de precipitação também diminui a temperatura superficial exterior da fachada, podendo contribuir para o aumento de risco de ocorrência de condensações.

“As anomalias devido à ação da chuva manifestam-se através do aparecimento de manchas de humidade de dimensões variáveis e localização aleatória nos paramentos interiores das paredes exteriores, em correspondência com ocorrências de precipitação” (12). Estas manchas, geralmente, tendem a desaparecer com a secagem e cessação do período de precipitação, sendo comum o aparecimento nas zonas húmidas de bolores, eflorescências e criptoflorescências.

As paredes duplas, são um exemplo prático, de mitigação deste fenómeno, sendo concebidas para evitar a penetração da água da chuva nas paredes, protegendo os paramentos interiores, contudo, mesmo com a presença da caixa de ar, é frequente existir anomalias devido à penetração da água. Esta situação deve-se, na maior parte dos casos, às seguintes situações anómalas (12):

- Caixa de ar parcialmente obstruída, com desperdícios de argamassa ou outros materiais;
- Estribos de ligação dos panos com inclinação para o interior;
- Caleira de recolha das águas de infiltração obstruída, mal-executada ou omissão da mesma;
- Orifícios de drenagem de caleira obstruídos, mal posicionados ou omissão dos mesmos.

3.2.5 Humidade devido a fenómenos de higroscopicidade

Como já referido, a maioria dos materiais de construção apresentam na sua constituição sais solúveis em água, tal como os solos ricos em matéria orgânica. Quando os elementos de fachada são humidificados, os sais dissolvidos acompanharão as migrações da água até às superfícies onde cristalizarão dando origem a eflorescências e criptoflorescências, como se observa na Figura 3.3.

Alguns sais são higroscópicos, ou seja, são capazes de absorver humidade do ar, dissolvendo-se quando a humidade relativa do ar se encontra acima dos 65% a 75%, cristalizando, novamente, quando a humidade relativa toma valores abaixo destes, com um aumento substancial de volume.

Assim os sais solúveis são frequentemente agentes patológicas de grande impacto, originando fenómenos de degradação resultantes dos aumentos de volume que acompanham a sua cristalização, em consequência da sucessão de ciclos dissolução/cristalização (6). Os sais depositados à superfície podem dar origem a fenómenos de eflorescências, se essa deposição ocorrer à superfície ou criptoflorescências, se a deposição ocorrer sob os revestimentos da parede.

É possível então afirmar que, *“ (...) quando os revestimentos contendo sais solúveis em água entram em contacto com água líquida ou com elevados teores de vapor de água, estes sais que são, em geral, absorventes e higroscópicos, fixam água em quantidade superior aos materiais de revestimento, constituindo uma espécie de depósitos de água, que vão originar mais anomalias, permitindo, nomeadamente, a solução de mais sais, e gerando, assim, um fenómeno em cadeia”* (12).

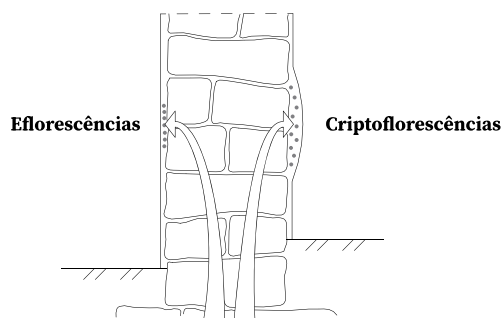


Figura 3.3 – Anomalias da humidade ascensional (Fonte (16)).

3.2.6 Humidade devido a causas de fortuitas

Existem várias situações de ocorrência de anomalias, ou eventos pontuais, devido a causas fortuitas. Defeitos de construção, falhas de equipamentos ou erros humanos, devido a acidentes ou falta de manutenção, são causas prováveis para a ocorrência de anomalias deste fenómeno.

Existem várias anomalias associadas a este fenómeno de humidade sendo que se destacam pela sua natureza localizada, associação com períodos de precipitação, caso se trate de infiltrações de águas pluviais, carácter permanente e de grande gravidade em situações de rotura de canalizações, eventualmente sazonal se estas forem de águas pluviais, migração da humidade para locais afastados da origem das anomalias, em situações em que o débito de água seja fraco e propicie a atuação dos mecanismos da capilaridade (12).

3.2.7 Humidade de terreno

A água presente no solo é particularmente nociva para paredes de pisos térreos e caves de edifícios. A água migra pela capilaridade existente nos materiais, especialmente se não existir uma barreira estanque, sendo que a migração da humidade pode ser horizontal ou vertical (ascensional) e pode ocorrer nas seguintes condições (15):

- Existência de zonas de paredes em contacto com o solo;
- Fundações das paredes situadas abaixo do nível freático;
- Fundações das paredes situadas acima do nível freático em zonas cujo terreno tenha elevada capilaridade, provocando a ascensão da água existente a uma cota inferior;
- Paredes implantadas em terrenos pouco permeáveis ou com pendentes viradas para as paredes, dando origem a que as águas entrem em contacto com aqueles elementos;
- Existência de materiais com elevada capilaridade;
- Inexistência ou deficiente posicionamento de barreiras estanques.

3.2.8 Humidade de condensação

Nos edifícios as condensações podem ser superficiais (superfície da parede) ou intersticiais (interior da parede). O ar é constituído por gases e vapor de água (15). O ar pode conter uma quantidade limitada de vapor de água, denominado limite de saturação. O limite de saturação traduz-se na quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter, sendo variável em função da temperatura. Quanto maior a temperatura do ar maior o limite de saturação.

A humidade relativa (HR) é o quociente da quantidade de vapor de água que o ar contém (humidade absoluta (W)) pela quantidade máxima que poderia conter a essa temperatura (limite de saturação (W_s)) e traduz-se na seguinte equação (15):

$$HR = \frac{W}{W_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

Em que:

HR — Humidade relativa;

W — Humidade absoluta (g/m^3);

W_s — Limite de saturação (g/m^3).

Considerando constantes as condições higrotérmicas dos ambientes exterior e interior, os fatores que influenciam a ocorrência destas condensações são de dois tipos:

- As características de isolamento térmico dos materiais constituintes das paredes que, por limitarem as respetivas temperaturas no interior, vão determinar os valores da pressão de saturação em cada ponto;
- As características de permeabilidade ao vapor de água daqueles materiais, que vão delimitar as variações de pressão parcial ao longo da parede.

A localização das diferentes camadas numa parede heterogénea influencia significativamente o risco de ocorrência de condensações internas. A ocorrência de condensações internas dá origem ao aparecimento não programado de água nos elementos construtivos, podendo resultar no desenvolvimento de diversas formas de degradação.

Para determinar o risco de ocorrência de condensação no interior dos elementos construtivos heterogéneos, é necessário determinar os valores das temperaturas e pressões parciais em cada um dos pontos de separação entre camadas que constituem o elemento de construção, a partir dos quais as variações lineares permitem calcular os valores no interior de cada camada.

Para tal, pode recorrer-se ao Método de Glaser que permite quantificar os fluxos de vapor de água e as condensações internas. Por simplificação, este método assume as seguintes premissas:

- A humidade desloca-se apenas por transferência de vapor de água, sem redistribuição do vapor condensado;
- Não há transporte de ar através dos elementos de construção, pelo que a transferência de vapor se deve apenas à difusão e o transporte de calor ocorre apenas por condução, ambos em regime permanente;
- A difusão de vapor de água obedece à Lei de Fick e o fluxo de calor obedece à Lei de Fourier;
- Os elementos construtivos são constituídos por uma sequência de materiais cujas faces são paralelas entre si;
- Os materiais não são higroscópicos e os coeficientes de permeabilidade ao vapor de água e de condutibilidade térmica são constantes.

Considerando um elemento de construção constituído por materiais homogêneos, em camadas de faces planas e paralelas entre si, a difusão do fluxo de vapor é obtida pela Lei de Fick em função da permeância dos diversos materiais e a variação de pressão a que o elemento está submetido, através da seguinte equação:

$$g = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{Di}} \cdot (p_i - p_e) \quad (3.2)$$

Sendo:

$$R_{Di} = \frac{e_i}{\pi_i} \quad (3.3)$$

Em que:

g — Fluxo de difusão de vapor de água por unidade superfície [$kg/(m^2 \cdot s)$];

R_{Di} — Resistência à difusão do vapor de água da camada i [$(m^2 \cdot s \cdot Pa)/kg$];

π_i — Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água da camada i [$kg/(m \cdot s \cdot Pa)$];

e_i — Espessura da camada i (m);

p_i — Pressão parcial de vapor interior (Pa);

p_e — Pressão parcial de vapor exterior (Pa).

O fluxo de calor obedece à Lei de Fourier e é função da resistência térmica dos diversos materiais e da variação de temperaturas a que o elemento está sujeito:

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{e_i} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (3.4)$$

Em que:

Q — Fluxo de calor por unidade superfície (W/m^2);

λ_i — Corresponde ao coeficiente de condutibilidade térmica da camada i [$W/(m \cdot ^\circ C)$];

e_i — Espessura da camada i (m);

θ_i — Temperatura no interior ($^\circ C$);

θ_e — Temperatura no exterior ($^\circ C$).

A Lei de Fourier possibilita traçar a variação das temperaturas instaladas nos diferentes pontos do elemento construtivo e, a partir destas, obter a variação das pressões de saturação com recurso ao diagrama psicrométrico. A Lei de Fick permite traçar a variação das pressões instaladas no elemento.

O Método de Glaser considera que, se um elemento construtivo se encontrar sujeito a um gradiente de pressões e temperaturas, então a pressão de saturação será variável de ponto para ponto (8). Deste modo, se a curva de pressões instaladas, gerada pelas condições limite, não intersectar a curva de pressões de saturação, não ocorrem condensações internas.

No caso de se verificarem intersecções, então haverá condensações internas. A relação entre a humidade interior e exterior pode-se obter pela seguinte equação:

$$W_i = W_e + \frac{W}{n \cdot V} \cdot 0.825 \quad (3.5)$$

Em que:

W_i — Humidade absoluta do ar interior (g/kg);

W_e — Humidade absoluta do ar exterior (g/kg);

n — Número de renovação horária (h^{-1});

V — Volume interior (m^3).

Na maioria dos edifícios, uma quantidade considerável de humidade tem origem na atividade dos ocupantes (13).

Por sua vez as condensações superficiais, ocorrem quando a temperatura superficial de um elemento envolvente seja inferior à temperatura de concentração máxima de vapor para as condições observadas (de temperatura e humidade relativa do ar).

Uma massa de ar húmido quando se aproxima de uma superfície fria, arrefece provocando uma diminuição da temperatura do volume de ar para valores inferiores ao da temperatura do ponto de orvalho, assim o vapor de água condensa na superfície da parede.

$$\theta_{si} = \theta_i - [U \cdot (\theta_i - \theta_e)] \cdot R_{si} \quad (3.6)$$

Em que:

θ_{si} — Temperatura superficial interior (°C);

U — Condutibilidade térmica do elemento da envolvente [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];

θ_i — Temperatura média do ar interior (°C);

θ_e — Temperatura média do ar exterior (°C);

R_{si} — Resistência térmica superficial interior [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$].

Sendo:

$$U = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\lambda_i} \quad (3.7)$$

Em que:

U — Condutibilidade térmica do elemento da envolvente [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];

h_i — Espessura do material i (m);

λ_i — Coeficiente de condutibilidade térmica de um material [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$].

Percebe-se facilmente que nas zonas onde existem pontes térmicas, a probabilidade de ocorrência de condensações superficiais aumenta relativamente às zonas correntes da envolvente. Se a temperatura superficial interior descer abaixo do ponto de orvalho da quantidade de vapor existente no ar, o ar do local atinge o ponto de saturação e há condensações superficiais nos paramentos (17).

3.3 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico é um conceito subjetivo, sendo descrito pela norma internacional, ISO 7730:2015 (18), como uma “(...) condição mental que expressa a satisfação do Homem com o ambiente”, ou seja, um estágio de bem-estar psicológico e fisiológico.

O desconforto térmico pode acarretar problemas de saúde e para níveis de calor elevados o mal-estar fisiológico aumenta, sobrecarregando o funcionamento do coração e do aparelho circulatório (19).

A sua interpretação depende de fatores quantificáveis e não quantificáveis, como o equilíbrio térmico de cada pessoa como um todo, que por sua vez é influenciado pela atividade física, vestuário utilizado assim como pelos parâmetros que caracterizam o meio ambiente (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e humidade do ar), sendo também dependente de múltiplas variáveis de caráter pessoal, cuja quantificação é de elevada complexidade por se tratar de conceitos de natureza subjetiva.

Resumidamente, o conforto térmico pode ser interpretado como um estado de neutralidade, uma sensação de comodidade e bem-estar relacionado com a temperatura, que resulta da contínua interação entre o corpo humano e os fatores ambientais a que está exposto (20).

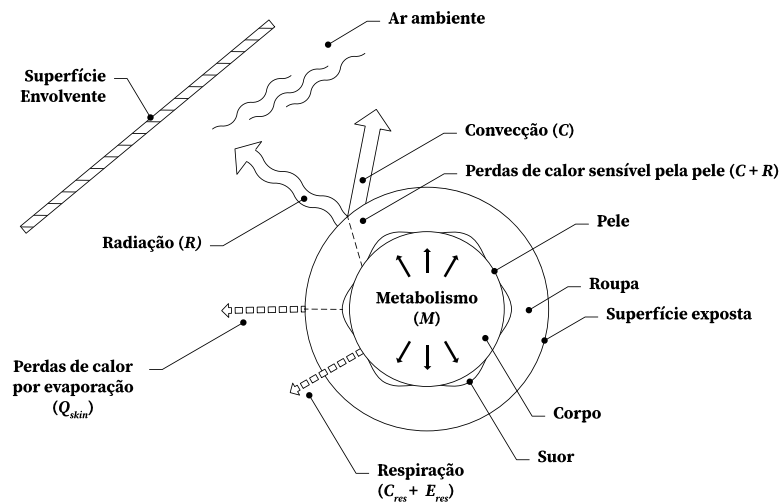


Figura 3.4 – Interação térmica do corpo humano com o ambiente exterior (Fonte (21)).

3.3.1 Mecanismos de transmissão de calor

A transmissão de calor ocorre segundo as leis da termodinâmica, ou seja, a transmissão realiza-se sempre entre dois elementos que possuem uma diferença de temperatura entre si, sendo que a transmissão de calor ocorre do elemento a temperatura elevada para o elemento de temperatura mais baixa e com conservação da energia.

Os edifícios devem garantir no seu interior um ambiente com condições mínimas de conforto e habitabilidade. Para tal, é fundamental filtrar a passagem de luz, ar, ruído e energia entre o ambiente exterior e o ambiente interior. Nas envolventes do edifício podem ocorrer três processos físicos de transmissão de calor, nomeadamente, condução, convecção e radiação (Figura 3.5).

Estes processos podem ser descritos da seguinte forma:

- Transmissão por condução: A condução de calor corresponde a um fenómeno de transferência de calor entre dois corpos sólidos com temperaturas diferentes. Desta forma, a transmissão de calor ocorre por contato direto entre zonas com temperaturas diferentes. Um material com uma determinada temperatura corresponde a um determinado estado de agitação molecular, que é mais elevado quanto maior for a temperatura. Entre dois corpos com temperaturas diferentes, essa agitação transmite-se da que tiver o maior estado de agitação para a menor até se atingir um equilíbrio entre as duas (22).
- Transmissão por convecção: O fluxo de calor transmite-se por partículas do meio, que se movimentam de um local para outro, e ocorre em líquidos e gases, sendo que para edifícios o fluido a considerar é o ar.
- Transmissão por radiação: A radiação é um mecanismo de transmissão de calor, que ocorre por transferência de energia por ondas eletromagnéticas, não dependendo assim, de um meio material, podendo ocorrer mesmo em vácuo. A energia solar chega até à Terra por radiação.

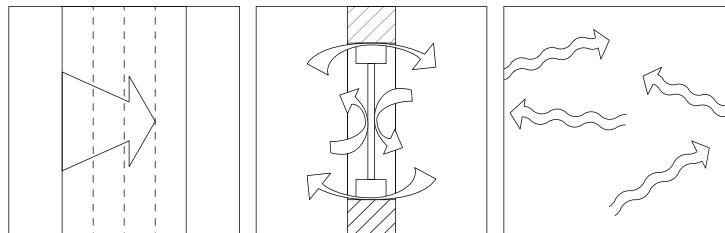


Figura 3.5 – Mecanismos de transmissão de calor: condução, convecção e radiação (Fonte (22)).

3.3.2 Metabolismo

As taxas de metabolismo correspondem a valores médios registados por meio de ensaios fisiológicos, apresentando-se na Tabela 3.4 os valores associados a algumas atividades típicas, sendo que A_c (área média do corpo humano) é de $1.75 m^2$ e $1 met$ equivale a $58.15 W/m^2$.

Tabela 3.4 – Taxa metabólica referente a várias atividades (Fonte (23)).

Atividade	Taxa Metabólica	
	(W/m^2)	(<i>met</i>)
Em repouso	80 – 100	0.8 – 1.0
Atividade sedentária	100 – 120	1.0 – 1.2
Trabalho Leve	140 – 180	1.4 – 1.8
Trabalho oficial médio	200 – 300	2.0 – 3.0
Ginástica	300 – 400	3.0 – 4.0
Desporto de competição	400 – 600	4.0 – 6.0

O balanço térmico pode-se verificar na seguinte equação (24):

$$S = (M - W) - (Q_{skin} + Q_{res}) \quad (3.8)$$

Sendo:

$$Q_{skin} = C + R + E_{rsw} + E_{dif} \quad (3.9)$$

$$Q_{res} = C_{res} + E_{res} \quad (3.10)$$

Em que:

S — Taxa de calor acumulado no corpo (W/m^2);

M — Atividade metabólica (W/m^2);

W — Trabalho mecânico (W/m^2);

Q_{skin} — Calor perdido pela pele (W/m^2);

Q_{res} — Calor perdido pela respiração (W/m^2);

C — Perda de calor sensível pela pele por convecção (W/m^2);

R — Perda de calor sensível pela pele por radiação (W/m^2);

E_{rsw} — Perda de calor por evaporação da transpiração (W/m^2);

E_{dif} — Perda de calor por difusão do vapor através da pele (W/m^2);

C_{res} — Perda de calor convectivo na respiração (W/m^2);

E_{res} — Perda de calor evaporativa na respiração (W/m^2).

Sendo:

$$C + R = 3.96 \times 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(\theta_{cl} + 273)^4 - (\bar{\theta}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c(\theta_{cl} - \theta_a) \quad (3.11)$$

Em que:

f_{cl} — Fator de área da superfície da indumentária (W/m^2);

θ_{cl} — Temperatura do superficial da indumentária ($^{\circ}C$);

$\bar{\theta}_r$ — Temperatura radiante média ($^{\circ}C$);

h_c — Coeficiente de transferência de calor por convecção [$W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$];

θ_a — Temperatura do ar ambiente ($^{\circ}C$).

Do estudo das equações anteriores conclui-se que o balanço térmico é uma função dependente de variáveis ambientais, como, temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade e humidade relativa do ar, assim como, de variáveis pessoais relacionadas com o tipo de ocupação, nível de atividade e tipo de indumentária.

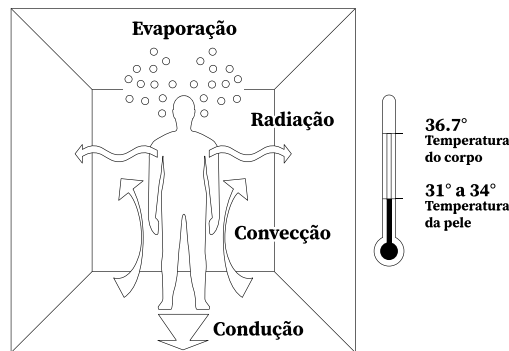


Figura 3.6 – Mecanismos de perda de calor do corpo humano (Fonte (22)).

Da equação de equilíbrio térmico, em função da situação em análise, é possível efetuar as seguintes interpretações:

- $S < 0$, verifica-se o estado de desequilíbrio térmico do corpo associado condições críticas de ausência de calor, ocorrência de perdas térmicas indesejadas;
- $S = 0$, verifica-se o estado de equilíbrio térmico do corpo associado à sensação neutra de conforto;
- $S > 0$, verifica-se o estado de desequilíbrio térmico do corpo associado a condições críticas de calor, ocorrência de ganhos térmicos indesejados.

A temperatura da superfície do vestuário é obtida por balanço energético igualando a transferência por condução da pele para o vestuário à transferência de calor por convecção e radiação, obtendo-se pela seguinte equação:

$$\theta_{skin} = 35.7 - 0.0275 \cdot (M - W) \tag{3.12}$$

$$\theta_{cl} = \theta_{skin} - I_{cl} \cdot (C + R) \tag{3.13}$$

Em que:

θ_{skin} — Temperatura superficial da pele (°C);

θ_{cl} — Temperatura do superficial da indumentária (°C);

I_{cl} — Resistência térmica proporcionada pelo vestuário [(m² · K)/W];

C — Perda de calor sensível pela pele por convecção (W/m²);

R — Perda de calor sensível pela pele por radiação (W/m²).

O vestuário possui resistência térmica, assim, garante uma atenuação da sensação de desconforto, ou seja, mitiga a perda de calor por condução e convecção, ao criar uma almofada de ar, não renovada, junto à superfície corporal. A unidade utilizada para quantificar o efeito de isolamento proporcionado pela indumentária, no conforto térmico, é o *clo*, sendo $1\ clo = 0.155\ K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$. A tabela seguinte, apresenta o valor de *clo* para algumas combinações de indumentária (23).

Tabela 3.5 – Resistência térmica referente a várias indumentárias (Fonte (24)).

Vestuário	I_{cl} (clo)
Calções e camisa de manga curta	0.36
Calças e camisa de manga curta	0.57
Calças, camisa de manga comprida	0.61
Calças, camisa de manga comprida e casaco	0.96
Calças, camisa de manga comprida, t-shirt e camisola	1.01
Calças, camisa de manga comprida, t-shirt e camisola e casaco	1.30
Roupa desportiva (calças e camisola de manga comprida)	0.74

As perdas por evaporação de água na pele são devidas ao mecanismo permanente de difusão de vapor e às situações de transpiração, resultante da necessidade do corpo em manter uma temperatura constante. A difusão de vapor depende da diferença de pressão de vapor entre a pele e a atmosfera, sendo obtida pela seguinte expressão:

$$E_{rsw} + E_{dif} = 3.05 \times 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99 \cdot (M - W) - p_w] + 0.42(M - W - 58.15) \quad (3.14)$$

Em que:

E_{rsw} — Perda de calor por evaporação da transpiração (W/m^2);

E_{dif} — Perda de calor por difusão do vapor através da pele (W/m^2);

M — Atividade metabólica (W/m^2);

W — Trabalho mecânico (W/m^2);

p_w — Pressão parcial de vapor de água (Pa).

Existem também perdas devido à respiração, sendo composta por uma carga sensível resultante do aquecimento do caudal de ar de respiração e de uma carga latente por humidificação do ar. Estas perdas calculam-se como recurso à seguinte equação:

$$C_{res} = 0.0014 \cdot M \cdot (34 - \theta_a) \quad (3.15)$$

$$E_{res} = 1.7 \times 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_w) \quad (3.16)$$

Em que:

C_{res} — Perda de calor convectivo na respiração (W/m^2);

E_{res} — Perda de calor evaporativa na respiração (W/m^2);

M — Atividade metabólica (W/m^2);

θ_a — Temperatura do ar ambiente ($^{\circ}C$);

p_w — Pressão parcial de vapor de água (Pa).

Este fator define-se pela razão entre a área exterior do vestuário e a área corporal, sendo, consequentemente, um valor adimensional e superior à unidade. Este fator correlaciona-se com a resistência térmica do vestuário e pode ser obtido através da seguinte equação:

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 \times I_{cl} & I_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2 \cdot K/W \\ 1.05 + 0.645 \times I_{cl} & I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \cdot K/W \end{cases} \quad (3.17)$$

A norma define o cálculo do coeficiente de convecção através da seguinte equação:

$$h_c = \max \begin{cases} 2.38 \times |\theta_{cl} - \theta_a|^{0.25} \\ 12.1 \times \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (3.18)$$

Em que:

h_c — Coeficiente de transferência de calor por convecção [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];

θ_{cl} — Temperatura superficial do vestuário ($^\circ C$);

θ_a — Temperatura do ar ambiente ($^\circ C$);

v_{ar} — Velocidade do ar (m/s).

3.3.3 Índices de conforto térmico

A norma ISO 7730:2005 (18) adota o método desenvolvido por Fanger (25), cuja avaliação de conforto térmico se baseia no conhecimento e medição dos parâmetros físicos do ambiente do interior do edifício (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade e humidade do ar) e dos parâmetros individuais (vestuário e atividade exercida) para calcular os índices *PMV* (voto médio estimado) e *PPD* (percentagem prevista de insatisfeitos), bem como os critérios de desconforto local. O índice *PMV* obtém-se através da seguinte equação:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \cdot S \quad (3.19)$$

Em que:

PMV — *Predicted mean vote* ou voto médio estimado;

M — Atividade metabólica (W/m^2);

S — Taxa de calor acumulado no corpo (W/m^2).

A equação do *PMV* é complexa e de difícil manipulação, assim a norma ISO 7730:2005 (18) possui tabelas, cada uma delas referente a um tipo de metabolismo em ambiente com 50% de humidade relativa podendo, o *PMV* ser obtido em função da resistência térmica da indumentária, da velocidade relativa do ar e da temperatura de conforto sendo que os limites de -0.5 e 0.5 são consideradas como limiares de conforto. De salientar que a aplicação desta equação é aconselhável apenas se respeitadas as seguintes condições (27):

- Para valores de *M* compreendidos entre 46 a 232 W/m^2 ;
- Para valores de I_{cl} compreendidos entre 0 a 0.310 ($m^2 \cdot ^\circ C$)/*W*;
- Para valores de θ_a compreendidos entre 10 a 30 $^\circ C$;

- Para valores de $\bar{\theta}_r$ compreendidos entre 10 a 40°C;
- Para valores de v_{ar} compreendidos entre 0 a 1 m/s;
- Para valores de p_w compreendidos entre 0 a 2700 Pa com humidade relativa (HR) entre 30% e 70%.

A norma também propõe outro indicador, que estima o *PPD* (*predicted percentage of dissatisfied* ou percentagem previsível de insatisfeitos), cujo valor se obtém da seguinte equação:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad (3.20)$$

Em que:

PPD — *Predicted percentage of dissatisfied* ou percentagem previsível de insatisfeitos;

PMV — *Predicted mean vote* ou voto médio estimado.

Esta equação pode ser representada pela curva de probabilidade da Figura 3.7, e como se pode observar o valor de *PPD* nunca é nulo para *PMV* nulo (condição de conforto ótimo), ou seja, o valor de *PPD* é de 5% de indivíduos insatisfeitos para 95% satisfeitos, sendo que a norma define como insatisfação máxima um valor de *PPD* de 10%.

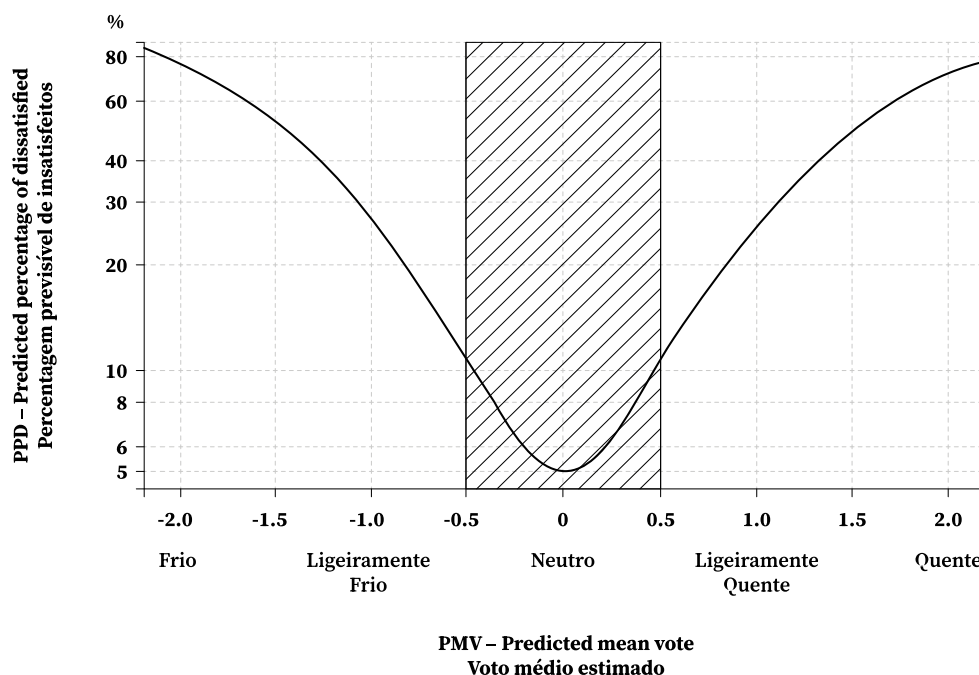


Figura 3.7 – Relação entre os índices *PPD* (percentagem previsível de insatisfeitos) e *PMV* (voto médio estimado) (Fonte (18)).

É necessário mencionar, que não foram considerados como insatisfeitos os indivíduos que apresentaram sensações térmicas de 1 e -1 (ligeiramente calor ou ligeiramente frio respectivamente) por não apresentarem desconforto acentuado (25). Um outro aspeto relevante é a simetria da curva da Figura 3.7, revelando que a sensação de insatisfação com o ambiente térmico segue o mesmo padrão quer o motivo seja o frio ou o calor.

Esta abordagem da análise do conforto térmico (analítica) obtida através das condições de estado estacionário de trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente envolvente foi adotada ao longo das últimas décadas por vários documentos normativos, tendo por base a análise de conforto térmico para ambientes interiores moderados na determinação dos índices *PMV/PPD*.

A ISO 7730:2005 (18) impõe outras regras necessárias para conforto térmico, relacionadas com os parâmetros de conforto:

- A assimetria da temperatura radiante de janelas ou outra superfície vertical fria deve ser inferior a 10°C (em relação a um plano vertical 0.6 m acima do chão);
- A velocidade do ar tem de ser no inverno inferior a 0.15 m/s, com temperaturas entre 20°C e 24°C e no verão inferior a 0.25 m/s, com temperaturas entre 23°C e 26°C;
- A diferença de temperatura do ar a 1.1 m e a 0.1 m acima do chão não deve exceder 3°C;
- A temperatura do chão deve situar-se entre 19°C e 26°C exceto em pavimentos radiantes podendo atingir neste caso os 29°C.

3.4 QUALIDADE DO AR INTERIOR

O ar interior é um parâmetro determinante na garantia de um ambiente adequado à permanência dos ocupantes. Uma fraca qualidade do ar interior, afeta não só a saúde dos ocupantes como também a sua produtividade (26).

A renovação e circulação do ar interior é um processo que permite a mistura de massas de ar, removendo substâncias poluentes ou indesejáveis, e permite a regulação da temperatura do ar.

Existem vários agentes poluentes do ar tais como: o vapor de água; o dióxido de carbono; o monóxido de carbono; partículas e odores.

Existem também poluentes presentes nos materiais constituintes dos edifícios como os compostos orgânicos voláteis, formaldeído, radão, entre outros (27).

Estes poluentes não só contribuem para a insalubridade do local como também podem ser prejudiciais para a saúde dos ocupantes. Uma fraca qualidade do ar interior afeta diretamente os ocupantes em três áreas:

- Conforto: Sente-se o ar viciado e odores;
- Efeitos agudos sobre a saúde: Ardor nos olhos e problemas pulmonares;
- Efeitos crónicos sobre a saúde: Os seus efeitos nocivos demoram vários anos até se fazerem sentir.

Para os edifícios escolares, de acordo com o Manual de Arquitetura da Parque Escolar (28), é necessário considerar a arquitetura do edifício face à implementação obrigatória de sistemas ativos/AVAC, que poderá proporcionar uma resposta continuada e fiável às carências de salubridade e conforto interior.

O manual considera que nos espaços sem AVAC as temperaturas podem oscilar entre os 18°C e os 28°C (limites admissíveis para inverno e verão, que poderão ser excedidos em 5% do período letivo).

O manual também considera que as patologias de origem termo-higrométricas surgem, correntemente nas pontes térmicas onde ocorrem condensações e patologias associadas, sendo que a forte ventilação diminui o risco de anomalias associadas ao excesso de humidade relativa.

De acordo com o manual a adoção dos pontos seguintes é essencial para se obter conforto nas salas de aula:

- Ventilação natural e/ou forçada com arrefecimento passivo (ventilação noturna e arrefecimento geotérmico);
- Proteção dos vãos por sombreadores exteriores (palas fixas e/ou verticais móveis);
- Recuperação de calor/frio de Ventilação (permutadores);
- Isolamento de coberturas (forte isolamento);
- Vidros duplos (em janelas amplas e caixilhos esbeltos);
- Isolamento nas paredes exteriores (exterior à massa térmica interior).

Denota-se um grande cuidado com a escolha de soluções para garantir o conforto, contudo é certo que existem estabelecimentos de ensino que não aderem à totalidade destas premissas, sendo o conforto dos ocupantes assegurado quase que exclusivamente por sistemas AVAC.

3.4.1 Fontes de poluição do ar interior

Como já referido existem diversas fontes de poluição do ar interior, desde a atividade dos ocupantes, dos equipamentos e dos materiais de construção. Os poluentes apresentados anteriormente representam uma pequena parte daqueles que se podem encontrar em ambientes interiores. Na tabela seguinte apresentam-se as fontes dos diversos poluentes.

Tabela 3.6 – Principais poluentes (Fonte (29)).

Poluente	Fonte de poluição interior
Dióxido de carbono	Processos de combustão e humanos
Monóxido de carbono	Combustão incompleta e fumo do tabaco
Compostos orgânicos voláteis	Produtos de combustão, solventes e produtos de limpeza
Formaldeído	Isolantes térmicos, colas, derivados da madeira e fumo do tabaco
Radão	Terreno ou rochas por baixo do edifício e materiais de construção
Ozono	Fotocopiadoras e impressoras laser
Organismos viáveis	Humanos, animais de estimação, insetos, plantas, fungos e ar condicionado

3.4.2 Critérios para assegurar a qualidade do ar interior

Com o correto dimensionamento e implementação adequada de sistemas de ventilação de forma a proceder à captação e evacuação para o exterior das substâncias poluentes, preferencialmente junto da sua fonte, é possível obter uma boa qualidade do ar que seja agradável, saudável e que estimula a produtividade.

Contudo e como já referido, uma estratégia de ventilação inapropriada e deficientemente implementada, pode causar desconforto, devido a, por exemplo, correntes de ar. A qualidade do ar deve assegurar que os poluentes perigosos não atinjam concentrações que possam colocar em risco a saúde dos ocupantes do edifício, mantendo simultaneamente um ambiente agradável.

Assim devem ser estabelecidos dois critérios coexistentes de objetividade da ventilação:

- Estabelecimento de valores limite para as substâncias poluentes em função do tempo de permanência dos ocupantes no ambiente contaminado (critério de saúde);
- Estabelecimento de critérios relacionados com os efeitos sensoriais causados pelas substâncias poluentes nos ocupantes (critério conforto).

Apresenta-se então na Tabela 3.7 as concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios de acordo com a legislação em vigor.

Tabela 3.7 – Limiar de proteção para os poluentes físico-químicos de acordo com o Regulamento de Desempenho dos Edifícios de Comércio e Serviços (Fonte (14)).

Poluentes	Limiar de proteção	Unidades
Partículas em suspensão (PM ₁₀)	50	$\mu g/m^3$
Partículas em suspensão (PM _{2,5})	25	$\mu g/m^3$
Dióxido de carbono	2250	$\mu g/m^3$
Monóxido de carbono	10	mg/m^3
Formaldeído	100	$\mu g/m^3$
Compostos orgânicos voláteis totais (COVs)	600	$\mu g/m^3$
Bactérias	(a)	UFC/m^3
Fungos	500 ^(b)	UFC/m^3
Legionella	100 ^(c)	UFC/l
Radão ^(d)	400	Bq/m^3
<p>(a) Concentração de bactérias totais no interior inferior à concentração no exterior, acrescida de 350 UFC/m^3;</p> <p>(b) Mistura de espécies: Concentração inferior ou igual a 500 UFC/m^3;</p> <p>(c) Exceto no caso da pesquisa de torres de arrefecimento em que deve verificar se uma concentração inferior a 1000 UFC/l;</p> <p>(d) Pesquisa obrigatória em zonas graníticas, nomeadamente, nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.</p>		

3.5 TÉCNICAS PARA MELHORAR O COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

Dado que a higrotérmica é caracterizada pela interação entre a térmica, a higrometria e a ventilação, quando uma patologia aparece associada à área da higrotérmica, a intervenção deverá procurar eliminar as suas causas, com reforço das características dos elementos considerando-se as ações que não sejam possíveis ou economicamente passíveis de eliminar, para garantir o conforto dos ocupantes e mitigar a deterioração do edifício.

Devido à complexidade da interação entre estes conceitos são inúmeras as soluções de reabilitação higrotérmicas, sendo que, de um modo geral, a metodologia de intervenção, assume as seguintes premissas:

- Melhorar o desempenho térmico da envolvente exterior;
- Assegurar caudais de ventilação adequados;
- Maximizar a inércia higríca, nomeadamente nas instalações sanitárias;
- Controlar e anular fontes de humidade e promover a sua secagem rápida;
- Formação dos utilizadores sobre a melhor forma de ocupar os espaços interiores dos edifícios.

3.5.1 Soluções construtivas

Um isolamento térmico eficaz é a metodologia preferencial de melhoria do desempenho térmico, especialmente se aliado a ganhos solares passivos. Esta metodologia tem por objetivo melhorar o comportamento térmico do edifício face às amplitudes térmicas. Com o aumento da resistência térmica, reduzem-se as trocas de calor entre o edifício e o exterior, reduzindo não apenas as necessidades térmicas, como também a probabilidade do desenvolvimento de alguns tipos de patologias.

Os principais isolamentos (Tabela 3.8) usados no melhoramento da resistência térmica da envolvente de edifícios são: o poliestireno expandido moldado (EPS); o poliestireno extrudido (XPS), a espuma rígida de poliuretano (PUR); a lã mineral (MW); o aglomerado negro de cortiça (ICB) e a argila expandida em grânulos (LWA).

Estes materiais porosos de baixa densidade são utilizados correntemente como isolantes térmicos e a sua aplicação deve-se adequar a cada situação específica, tendo em consideração a espessura do isolante que é definida de acordo com o cálculo térmico (30).

A melhoria do desempenho e resistência térmica resultará de um aumento adequado da resistência térmica da envolvente, que pode ser realizado da seguinte forma (31):

- Aumento do isolamento térmico da envolvente opaca (paredes, pavimentos e coberturas);
- Seleção de vãos envidraçados com menores coeficientes de transmissão térmica superficial;
- Controlo dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, por meio da instalação de proteções solares apropriadas de modo a adequar os ganhos térmicos às necessidades de aquecimento e arrefecimento.

As paredes são elementos construtivos responsáveis por cerca de 25% das perdas térmicas (32). Assim, a aplicação de isolamento térmico é a melhor forma de mitigar essas perdas. O isolamento pode ser aplicado pelo interior, pelo exterior ou na caixa-de-ar da parede. O isolamento aplicado no exterior é particularmente vantajoso pois a sua aplicação não importuna os ocupantes do edifício e permite aproveitar a inércia térmica das paredes, mitigando as pontes térmicas e reduzir os riscos de condensação.

Contudo, o isolamento térmico exterior é dispendioso e pode provocar sobreaquecimento nas fachadas expostas a forte radiação solar e também altera a estética da fachada (33). Por sua vez, o isolamento térmico aplicado no interior, permite a preservação da estética da fachada e possui, comparativamente com o isolamento pelo exterior, custos diminutos. Contudo, não é tão eficaz dado que se torna difícil isolar determinados pontos da envolvente, não permitindo o aproveitamento da inércia térmica existente nas paredes reduzindo ainda o espaço útil interior (33).

O isolamento também pode ser colocado na caixa-de-ar, ocupando totalmente ou parcialmente a mesma. Esta instalação não reduz o espaço útil do edifício, preserva a estética das fachadas e possibilita o aproveitamento da inercia térmica dos elementos construtivos. Contudo, esta instalação só é exequível em paredes duplas e pode ser difícil garantir a homogeneidade da parede.

3.5.2 Pavimentos

O pavimento é um elemento construtivo da envolvente responsável por cerca de 20% das perdas térmicas totais de um edifício (32). Os pavimentos que se encontram em contacto direto com o ambiente exterior ou com os espaços úteis não aquecidos devem ter isolamento térmico de forma a aumentar o conforto interior e mitigar os riscos de condensações superficiais.

O isolamento térmico pode ser aplicado, quando acessível, na face interior do pavimento (indicado em reabilitações não destrutivas), na zona intermédia, sendo necessário recorrer a uma reabilitação destrutiva ou parcialmente destrutiva para inserir o isolamento no pavimento, ou na face superior, através de um isolante resistente à compressão para que não haja deformações excessivas do pavimento.

3.5.3 Coberturas

A cobertura é um elemento construtivo sujeito a grandes flutuações térmicas, particularmente por se tratar de uma área, de grandes dimensões, que se encontra exposta a radiação solar durante todo o ano. Assim o isolamento térmico também é, nesta situação, a melhor opção para melhorar a resistência e desempenho térmico deste elemento ao criar uma barreira à transmissão de calor para o exterior e intervir na redução das necessidades energéticas (32). A aplicação de isolamento térmico na cobertura distingue-se segundo as seguintes soluções:

- Coberturas inclinadas: O isolamento pode ser colocado nas vertentes ou na esteira horizontal. Caso exista sótão habitável aplica-se o isolamento nas vertentes, caso contrário, pode ser colocado um reforço sobre a esteira horizontal. Caso não seja possível remover o revestimento exterior deve-se aplicar o isolamento térmico na face interior da cobertura. A sua aplicação deve assegurar a existência de um espaço de ar ventilado, entre o revestimento exterior da cobertura (geralmente telha) de forma a evitar a degradação do material de isolamento. Já o isolamento na esteira horizontal é aplicado se o desvão for acessível e garantindo uma boa ventilação;
- Coberturas planas: Para coberturas planas o isolamento térmico pode ser colocado na face superior da cobertura, sob ou sobre a impermeabilização, sendo que desta forma fica resguardada das variáveis térmicas e da radiação ultravioleta. O isolante também pode ser colocado na face inferior da esteira, sendo que desta forma não protege termicamente os elementos da estrutura.

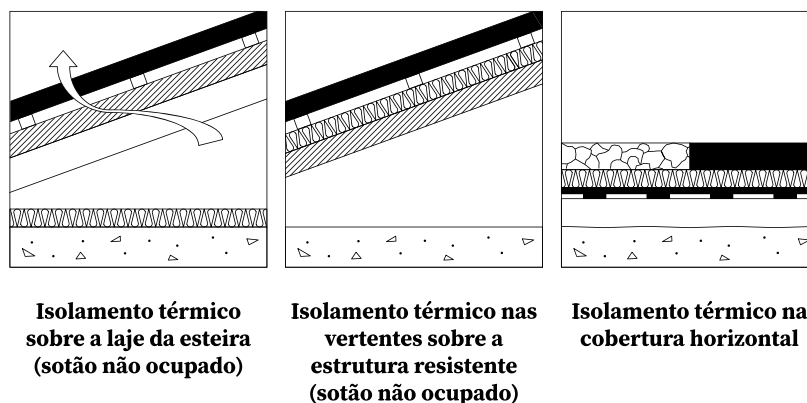


Figura 3.8 – Esquema ilustrativo de isolamento de coberturas (Fonte (34)).

Tabela 3.8 – Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica (Fonte (8)).

Elementos opacos	Constituição		Isolamento térmico	Placas					Mantas	Grânulo	Fibras	Espuma	
	Localização	Solução		EPS	XPS	PUR	MW	ICB					MW
Paredes de fachada	Simples	Exterior	Revestimento delgado ou espesso sobre o isolante	•									
			Revestimento independente com isolante no espaço de ar	•	•	•	•						
			Reboco isolante							•	•		
	Interior		Painéis isolantes	•	•	•	•						
			Contra fachada com isolante no espaço de ar	•	•	•	•						
	Duplas	Intermédio	Preenchimento total da caixa-de-ar							•	•	•	•
Pavimentos	Exterior		Revestimento sobre o isolante	•		•	•						
			Teto falso com isolante na caixa-de-ar	•	•	•	•	•	•				
Cobertura	Plana	Exterior	Suporte isolante de impermeabilização; cobertura "invertida" sobre a esteira, sobre e sob a estrutura	•		•	•	•					
			Cobertura invertida	•	•	•	•	•	•				
	Inclinada	Esteira	Sobre a esteira	•	•	•	•	•	•		•		
		Vertentes	Sobre e sob a estrutura resistente	•	•	•	•	•	•				

3.5.4 Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados são elementos importantes devido às perdas e ganhos de calor que ocorrem através dessa superfície. A reabilitação térmica dos vãos envidraçados visa reforçar o isolamento térmico do edifício, a redução das infiltrações do ar não controlado através das juntas de caixilharia, a melhoria da ventilação natural, o aumento da captação de ganhos solares no inverno e o reforço da proteção contra a radiação solar durante o verão (redução das necessidades de consumo de energia, melhoria das condições de conforto e de qualidade do ar interior dos edifícios).

Os vidros duplos oferecem maior capacidade de isolamento comparativamente ao vidro simples, dado que a presença de um gás entre vidros reduz as perdas de calor no inverno e ganhos de calor indesejáveis no verão. A caixilharia desempenha uma função importante na dissipação de calor pois pode possuir corte térmico com propriedades térmicas mais adequadas.

Na reabilitação dos envidraçados deve-se considerar o controlo dos ganhos solares, recorrendo a:

- Gestão da área dos envidraçados: Quanto maior for a área do envidraçado maior serão os ganhos solares, contudo pode ser prejudicial na estação de arrefecimento devido ao excesso de ganhos solares. A área de envidraçados não deve exceder 15% de acordo com o REH (14), pois pode causar sobreaquecimento nas estações quentes;
- Aplicação de envidraçados de baixa emissividade: A utilização de vidros duplos por si só não confere controlo nos ganhos solares, deve-se utilizar vidros de “controlo solar”, como o vidro colorido ou vidro com película baixo-emissiva que pode ser aplicada em ambos os panos envidraçados (interior ou exterior) sempre nas faces voltadas para o interior da cavidade por razões de durabilidade;

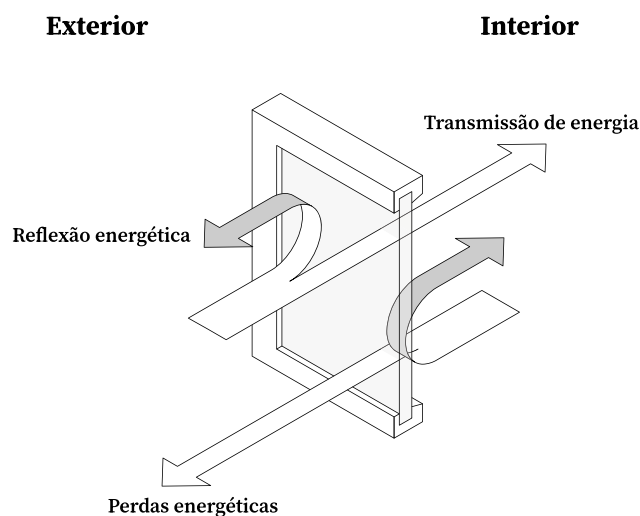


Figura 3.9 – Vidro baixa emissividade (*low-ε*) (Fonte (35)).

- Utilização de dispositivos de sombreamento eficazes: Consistem em dispositivos que conseguem controlar a radiação solar direta, de forma a garantir as condições de conforto térmico no interior.

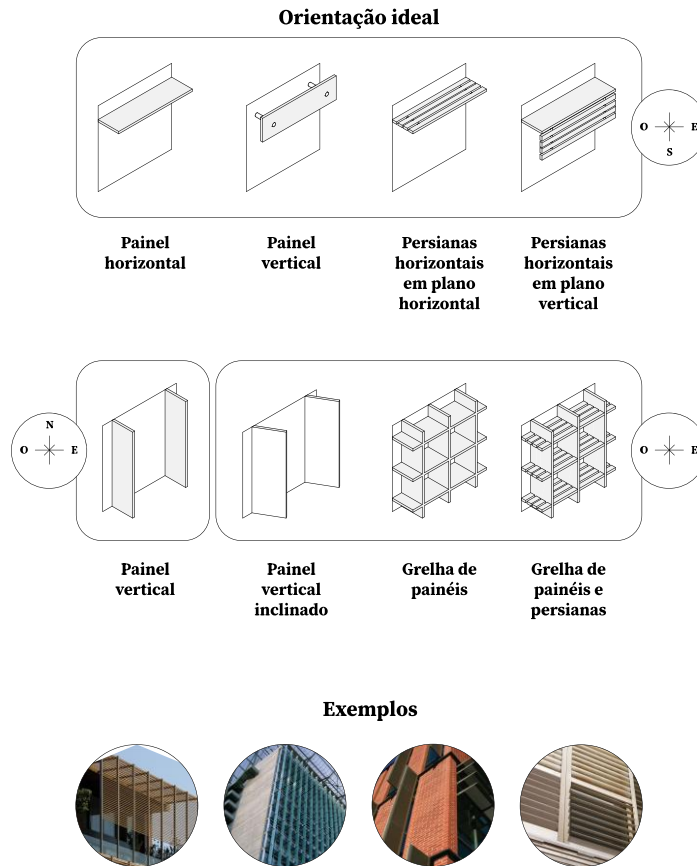


Figura 3.10 – Exemplos de dispositivos de sombreamento (Fonte (36)).

3.5.5 Inércia higroscópica

Inércia higroscópica é a capacidade que os materiais possuem em armazenar a humidade em excesso do ar e restituí-la ao ambiente quando se verifica um défice da mesma. A higroscopicidade caracteriza a capacidade de um determinado material fixar água por adsorção e de a restituir ao ambiente em que se encontra, de acordo com as variações de temperatura e da humidade relativa (37).

A adsorção é o processo pelo qual um material poroso detêm moléculas de vapor de água na superfície dos poros, através de forças químicas e/ou físicas. O teor de humidade que um material pode reter por adsorção é condicionado, pela sua higroscopicidade e da humidade relativa ambiente. Os materiais de construção podem ser de diversos graus de higroscopicidade, e podem ser classificados em dois grupos:

- Materiais higroscópicos: Quando a quantidade de água fixada por adsorção é relativamente importante como, por exemplo, o betão e a madeira;
- Materiais não higroscópicos: Quando a massa é praticamente constante qualquer que seja a humidade relativa da ambiência onde se encontrem como, por exemplo, o barro vermelho.

Pode-se então afirmar que os materiais correntemente usados em construção são higroscópicos, ou seja, quando a humidade relativa ambiente varia, o seu teor de humidade também varia (38).

Dado que na utilização normal de uma habitação são produzidas diariamente quantidades de vapor de água elevadas (em compartimentos tais como: cozinhas e casas de banho), materiais como rebocos, argamassas e materiais à base de bio agregados (cortiça e placas de gesso cartonado) são materiais que permitem a saída desse vapor de água, uma característica desejável porque permite, de forma passiva, moderar as oscilações de humidade relativa que se registam no interior dos compartimentos (39).

3.5.6 Ventilação

No âmbito da higrotérmica, a ventilação é um componente essencial de redução da humidade relativa do ar e controlo térmico. Nos compartimentos onde existe elevadas produções de vapor de água, como os quartos de banho e cozinhas, a ventilação é imperativa para mitigar o risco de condensações indesejáveis que possam originar patologias e anomalias.

A ventilação também é responsável por realizar trocas térmicas entre o interior e o exterior. Na estação de aquecimento (inverno) contribui para o arrefecimento do edifício, e conseqüentemente, para o aumento das necessidades energéticas para correção da perda de calor. Contudo é possível, utilizando equipamentos mecânicos (recuperadores de calor e unidades de tratamento de ar novo dotados de roda térmica) insuflar o ar exterior, minimizando assim as perdas térmicas (40). Assim podemos inferir que a ventilação tem como principais objetivos:

- Manter a qualidade do ar;
- Promover a refrigeração fisiológica dos ocupantes (conforto térmico);
- Remover a carga térmica adquirida pelo edifício de acordo com os ganhos externos e internos, a fim de mitigar o risco de condensações.

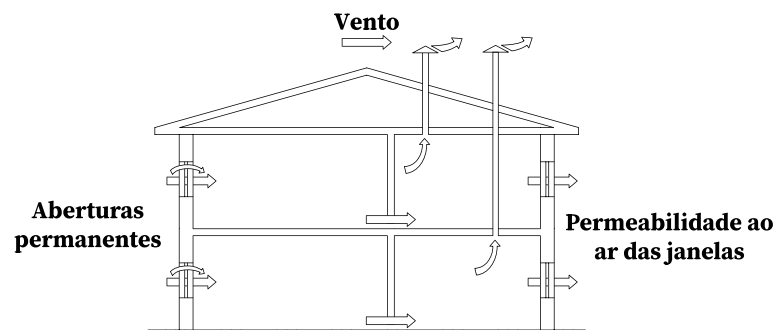


Figura 3.11 – Possível esquema de ventilação (Fonte (16)).

A ventilação deve então ser geral e permanente, até na estação de aquecimento, proporcionando a entrada de ar por compartimentos como salas e quartos e saída pelas instalações sanitárias e arrumos como descreve a Figura 3.11. Este fluxo serve para que exista circulação do ar no sentido dos compartimentos secos para os compartimentos húmidos e não o contrário (41).

É necessário garantir passagens de ar nas portas de comunicação, com recurso a folga inferior ou grelha e deve ser considerado o funcionamento holístico da ventilação, ou seja, não deve existir aberturas de admissão e exaustão do ar em cada compartimento. Os problemas relacionados com a qualidade do ar interior têm vindo a aumentar nas últimas duas décadas devido a:

- Redução da permeabilidade ao ar da envolvente dos edifícios;
- Redução das taxas de ventilação de modo a reduzir o consumo de energia;
- Aumento do uso de material eletrónico;
- Materiais de construção e mobiliário com elevada emissão de poluentes;
- Falta de manutenção de equipamentos de ventilação.

É possível quantificar a ventilação através do cálculo das renovações horárias, que deve ser adequado de modo a evitar a acumulação de humidade no seu interior e depende, fundamentalmente, da utilização dos espaços e das atividades realizadas, do volume interior desses espaços, das condições específicas dos ambientes exterior e interior, da taxa de ocupação e da permeabilidade das caixilharias. Apresenta-se na Tabela 3.9 os valores do caudal mínimo de ar novo para salas de aula, jardins de infância e pré-escolar.

Tabela 3.9 – Caudal mínimo de ar novo em função da carga poluente devida à ocupação (Fonte (42)).

Tipos de Espaço	Caudal de ar novo <i>[m³/(hora · pessoa)]</i>
Salas de aula	24
Salas de jardim de infância, pré-escolar creches	28

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DE CASOS PRÁTICOS

4.1 ESCOLA DA IGREJA VELHA

Durante a permanência na Divisão de Edifícios Municipais do Departamento de Conservação foi necessário realizar a medição do nível de dióxido de carbono, temperatura e humidade relativa num estabelecimento de ensino do município de Matosinhos nomeadamente a Escola Básica da Igreja Velha - EB1/JI, sito na Rua da Igreja Velha/Rua da Escola na freguesia de S. Mamede Infesta, Matosinhos, tendo o estagiário realizado as medições em duas visitas, uma acompanhado e outra autónoma. Esta visita e monitorização dos parâmetros referidos surgiu em consequência da existência de algumas queixas dos utentes relacionadas com as questões de conforto higrotérmico no interior do edifício.

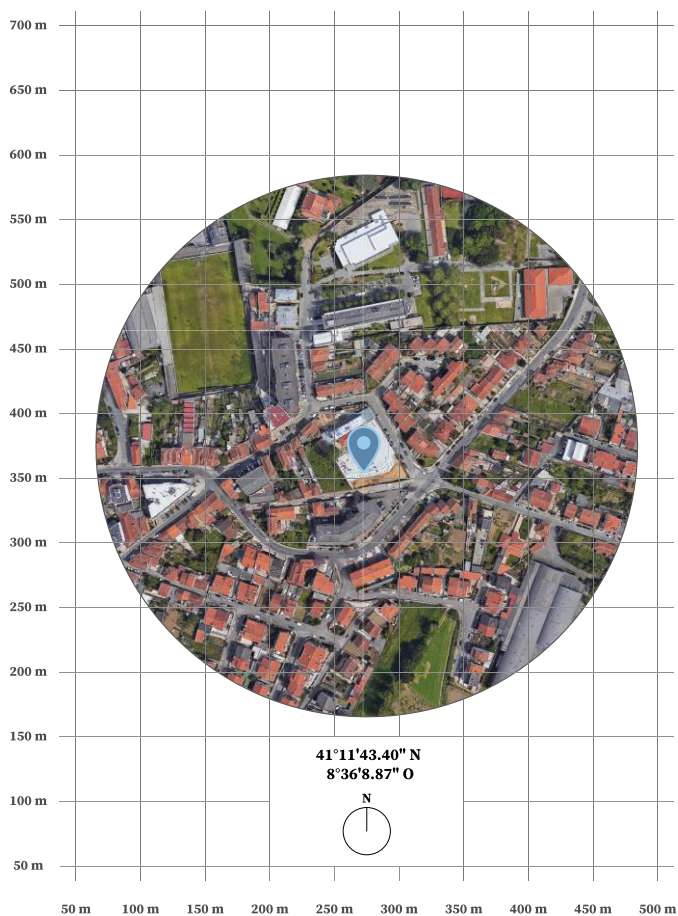


Figura 4.1 – Localização da escola (Fonte (43)).

4.1.1 Descrição do estabelecimento de ensino

A escola, construída originalmente em 1958, foi alvo de uma renovação em 2015, sendo ampliada para receber oito salas de aula do primeiro ciclo, duas de jardim de infância, biblioteca, cozinha, refeitório e uma sala polivalente, assim como gabinetes e áreas de apoio.

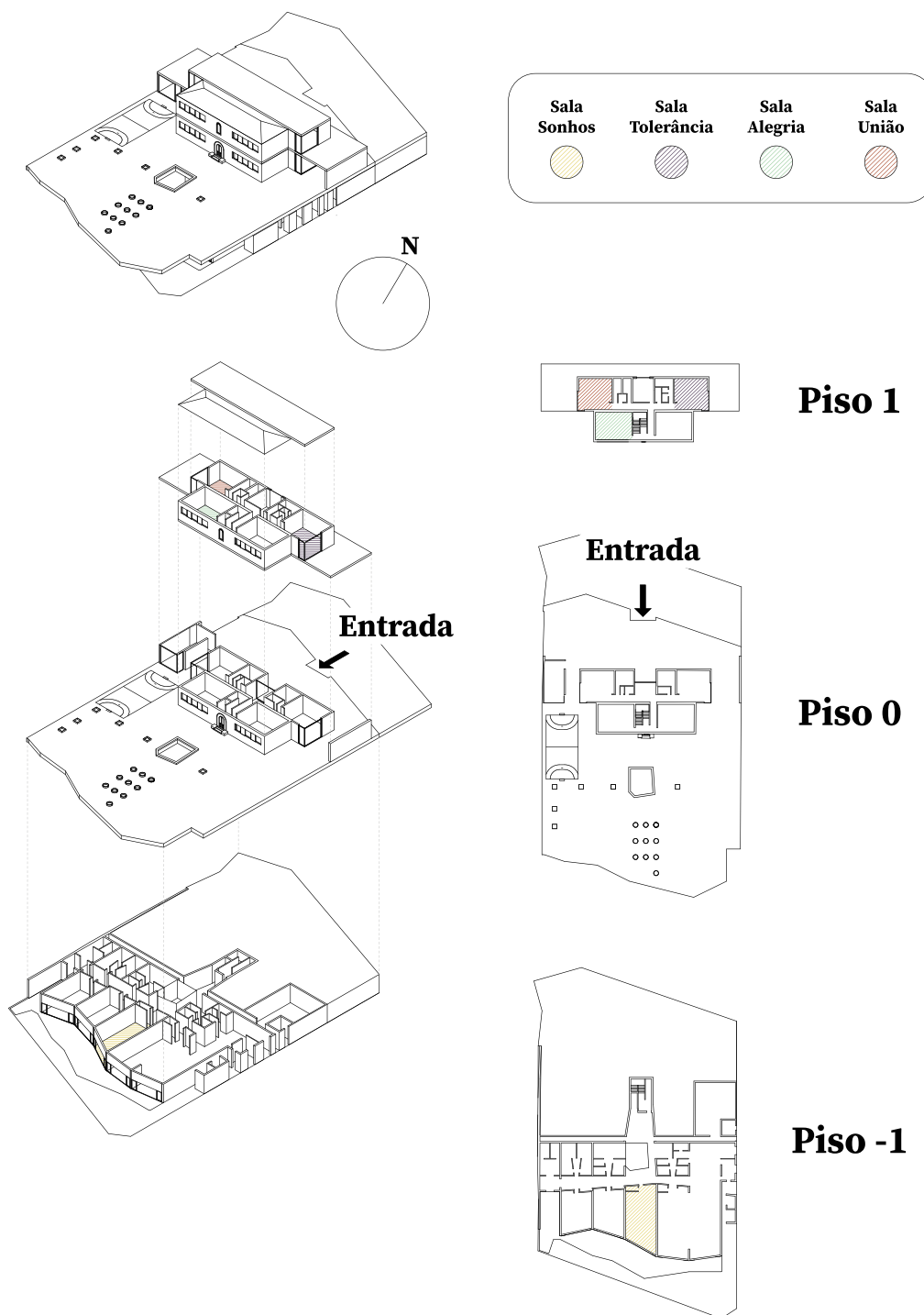


Figura 4.2 – Diagrama da escola (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).

Tabela 4.1 – Organização funcional do Piso -1 (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).

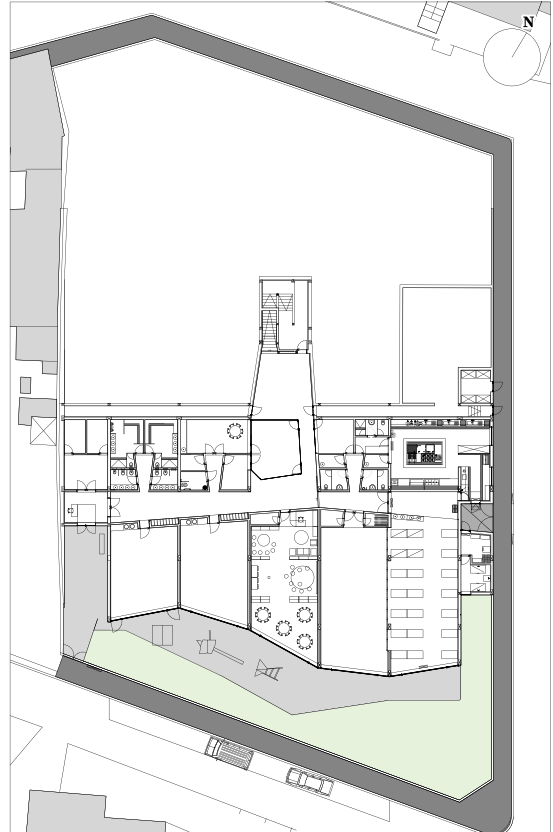
Planta do Piso -1	Compartimento
	Átrio pré-escolar
	Salas de jardim de infância
	Instalações sanitárias de jardim de infância
	Gabinete de atendimento
	Gabinete da direção
	Gabinete de apoio educativo
	Sala de professores
	Arrumos diversos e áreas técnicas
	Circulações com caixa de escadas de acesso ao Piso 0
	Hall/recreio coberto
	Instalações sanitárias para adultos e pessoas com mobilidade condicionada



Figura 4.3 – Fachada do edifício original da escola.

Tabela 4.2 – Organização funcional do Piso 0 (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).

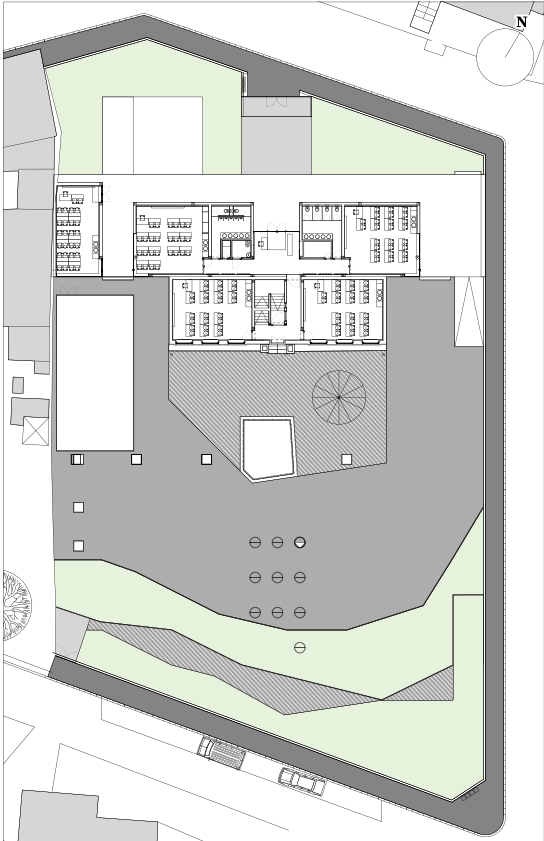
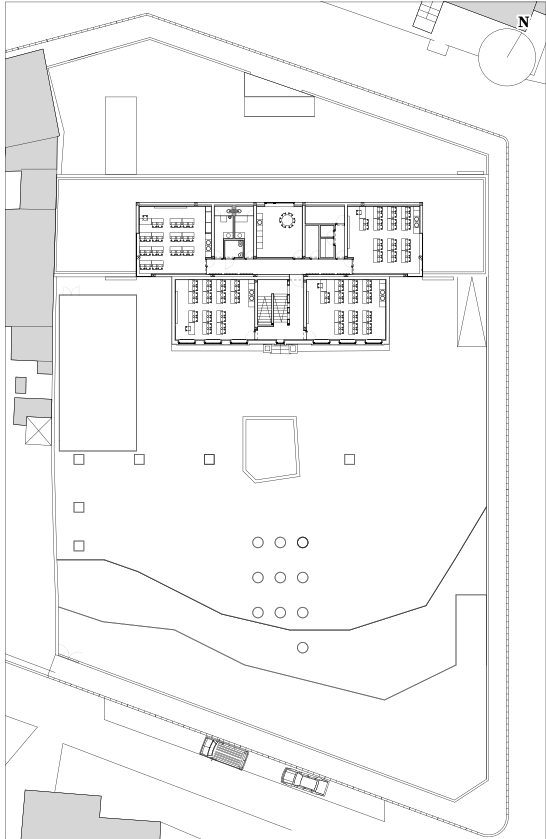
Planta do Piso 0	Compartimento
	Átrio principal
	Salas de 1º ciclo com bancadas de expressão plástica
	Instalações sanitárias e instalação sanitária para pessoas de mobilidade condicionada
	Arrumos diversos e áreas técnicas
	Circulações com caixa de escadas de acesso ao Piso 1 e Piso -1



Figura 4.4 – Sala do 1º ciclo da escola.

Tabela 4.3 – Organização funcional do Piso 1 (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).

Planta do Piso 1	Compartimento
	Sala de professores
	Salas de 1º ciclo com bancadas de expressão plástica
	Instalações sanitárias e instalação sanitária para pessoas de mobilidade condicionada
	Arrumos diversos e áreas técnicas
	Circulações com caixa de escadas de acesso ao Piso 0

4.1.2 Caracterização das condições meteorológicas e geometria solar

As características climáticas locais são um fator a considerar na análise do comportamento higrotérmico do edifício. Na freguesia de São Mamede de Infesta, o verão é morno, seco e de céu quase sem nuvens, por sua vez, o inverno é fresco, com precipitação e de céu parcialmente encoberto.

Dado que as medições se realizaram durante o mês de junho, é pertinente uma análise detalhada da temperatura e insolação durante este intervalo de tempo.

Em junho as temperaturas máximas encontram-se entre os 21°C e os 23°C, sendo raramente inferiores a 17°C ou ultrapassando 29°C. As temperaturas mínimas variam entre 13°C a 15°C, sendo raramente inferiores a 10°C ou ultrapassando 18°C. Como referência, o dia 29 de julho, o dia mais quente do ano, em geral, as temperaturas em São Mamede de Infesta variam entre 15°C e 25°C.

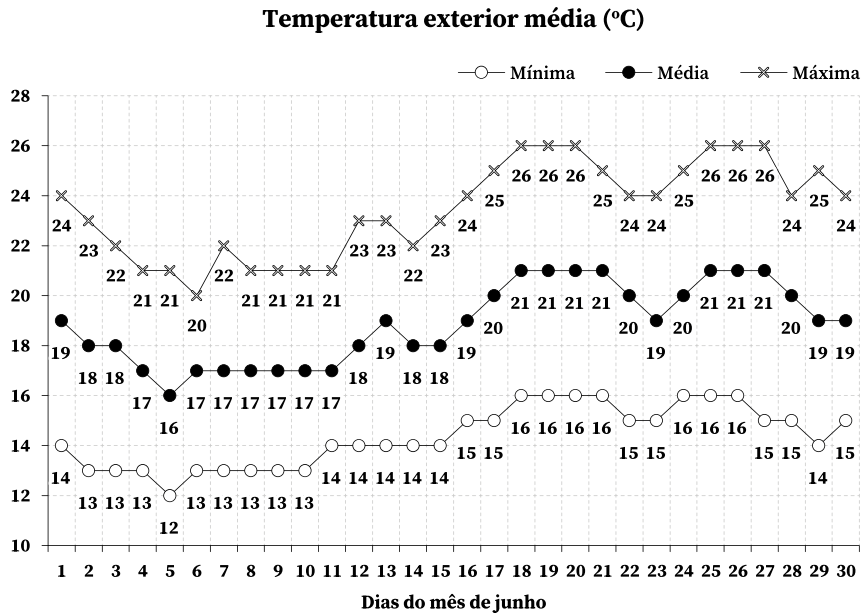


Figura 4.5 – Temperatura exterior média, mínima média e máxima média em junho para São Mamede de Infesta (Fonte (44)).

A Figura 4.5 representa a caracterização compacta das temperaturas médias horárias para o trimestre centralizado em junho. O eixo horizontal indica o dia e o eixo vertical indica o valor da temperatura média.

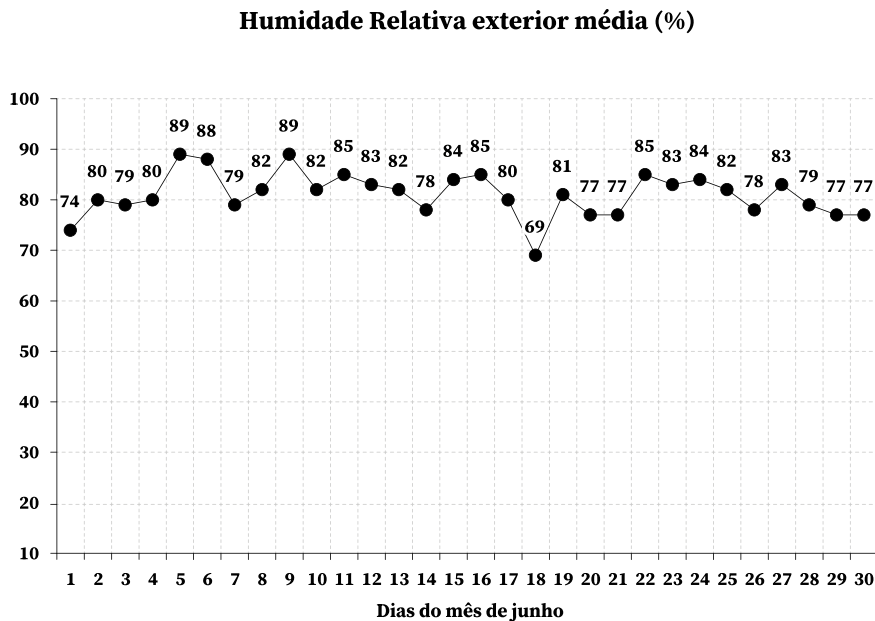


Figura 4.6 – Humidade Relativa exterior média, mínima média e máxima média em junho para São Mamede de Infesta (Fonte (44)).

A Figura 4.6 representa a caracterização da humidade relativa média para junho. O eixo horizontal indica o dia e o eixo vertical indica o valor da humidade relativa média.

Ao longo de junho em São Mamede de Infesta, o número de horas de luz solar é praticamente constante. O dia mais curto do mês é 1 de junho, com 14 horas e 56 minutos de luz solar. O dia mais longo é 21 de junho, com 15 horas e 9 minutos de luz solar.

A geometria solar imposta pela implantação e orientação do edifício, implica um grande número de horas de insolação direta nos envidraçados. Apresenta-se em anexo (Anexo – Geometria solar) os valores de altitude e azimute para caracterização da geometria solar para os dias e local em que foram realizadas as medições.

4.1.3 Critérios de medição de dióxido de carbono, temperatura e humidade relativa

A escola solicitou um pedido de vistoria explicitando que a temperatura das salas de aula é muito elevada, provocando desconforto nos utentes do espaço. Salienta-se que por imposição do período de realização do estágio as medições e observações foram realizadas durante o mês de junho, durante a estação de arrefecimento (verão).

Realizou-se uma vistoria ao local para identificar potenciais anomalias que potenciem o comportamento higrotérmico descrito e o registo da qualidade do ar interior, relativamente ao nível de dióxido de carbono, temperatura e humidade relativa, tendo sido realizada uma monitorização de algumas salas com recurso a um aparelho de medição.

No local foi possível observar vãos de envidraçados de grandes dimensões, cuja abertura é bastante limitada. Os envidraçados também possuem *black-out* duplo interior o que mitiga a transmissão de energia solar para o interior do edifício, mas propicia o efeito de estufa entre o *black-out* e o envidraçado. Ao toque os envidraçados aparentavam encontrar-se a uma temperatura inferior à temperatura interior sendo possível inferir que a sua temperatura superficial se encontrava a uma temperatura, no máximo, semelhante à temperatura exterior. É de salientar que os espaços interiores se encontravam a uma temperatura superior à existente no exterior.

Para determinar a qualidade do ar interior é necessário considerar os limites aceitáveis de cada parâmetro medido, apresenta-se assim na Tabela 4.4 os valores admissíveis de dióxido de carbono e na Tabela 4.5 os valores aceitáveis de temperatura e humidade relativa.

Tabela 4.4 – Valores admissíveis de dióxido de carbono (CO₂) (Fonte (45)).

Níveis de CO ₂ (ppm)	Classificação	Sugestão de Intervenção
< 700	Valor Ótimo	Não é necessária ventilação adicional
< 1000	Valor Normal	Não é necessária ventilação adicional
> 1000	Valor Elevado	É necessário ventilar e melhorar o comportamento de ventilação
> 2000	Valor Muito Elevado	É imperativo ventilar e melhorar as condições de ventilação (mais ventilação, redução do número de ocupantes do espaço a ventilar)

Tabela 4.5 – Valores aceitáveis da relação temperatura/ humidade relativa (Fonte (45)).

Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)
20	< 80
22	< 70
24	< 62
26	< 55

Os níveis de conforto térmico dentro do edifício devem aproximar-se dos valores limite de 18°C e de 24°C, respetivamente para a estação de aquecimento e para a estação de arrefecimento, considerando o valor médio da humidade relativa entre 35% e 70%. Deve-se tomar, de acordo com o RECS (14), como limite máximo de dióxido de carbono 2250 mg/m³ ou 1250 ppm.

4.1.4 Aparelho de medição

Para a realização das medições o equipamento de medição (Wöhler CDL 210 CO₂ Data Logger) foi sempre posicionado a altura de cerca de 80 cm acima do pavimento, num local que espelha as condições normais da sala de aula, sendo que os alunos receberam instruções para não se aproximarem do aparelho por forma a não influenciar os valores medidos.

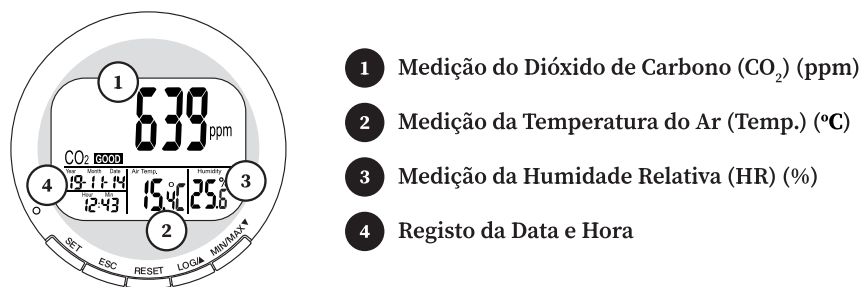


Figura 4.7 – Esquema do aparelho de medição (Fonte (45)).

Com esta medição é possível inferir sobre o desconforto térmico e comportamento da ventilação interior sendo que o aparelho recorre a sinais sonoros e visuais para que se adote um bom comportamento de ventilação, mitigando problemas relacionados com o comportamento higrotérmico. Saliente-se que o aparelho é para uso interior, sendo a sua utilização otimizada para espaços habitacionais, áreas comerciais e públicas, destacando-se neste relatório a sua utilização em salas de aula de escolas.

O aparelho inicia as medições, sem gravar, quando ligado à corrente elétrica e atualiza as leituras a cada segundo. Se o ambiente se altera, são necessários 2 minutos para o sensor de dióxido de carbono e temperatura registar a alteração e 10 minutos para o sensor de humidade relativa registar a alteração.

A capacidade de memória é de 15999 registos (5333 registos do nível de dióxido de carbono, temperatura e humidade relativa). O intervalo de medição é ajustável de 1 segundo até 4 horas 59 minutos e 59 segundos. As medições foram realizadas durante o mês de junho (estação de arrefecimento) em salas de aula, tendo por único critério a insatisfação dos ocupantes relativamente ao conforto térmico.

As salas que a seguir se apresentam foram reportadas pelos ocupantes como sendo as de maior desconforto:

- Sala Sonhos: Sala localizada no Piso -1, os ocupantes relataram temperaturas elevadas, sendo a sala de particular interesse pois é uma sala de jardim de infância onde os ocupantes são mais suscetíveis à sensação de calor;
- Sala Tolerância: Sala localizada no Piso 1 onde a insatisfação dos ocupantes era mais sentida, com relatos de sensação de calor elevado;
- Sala União: Sala onde os ocupantes relataram sensação de calor elevado, localizada no Piso 1 encontrando-se oposta à Sala Tolerância;
- Sala Alegria: Sala onde os ocupantes relataram sensação de calor elevado, localizada no Piso 1 adjacente à Sala União.

Saliente-se que a escola ministra educação pré-escolar e o 1º ciclo do ensino básico, sendo que os alunos possuem idades compreendidas entre os 3 e os 9 anos de idade, uma demografia particularmente suscetível a temperaturas elevadas, sendo que o desconforto pode condicionar o desenvolvimento de competências e a aprendizagem. Foram realizadas as seguintes medições e verificações:

- Medições de dióxido de carbono e verificação de acordo com a Tabela 4.4;
- Medições da temperatura (interior);
- Medições da humidade relativa (interior);
- Verificação da relação temperatura/humidade relativa de acordo com Tabela 4.5.

Saliente-se que o aparelho de medição se encontrava otimizado apenas para uso interior, sendo que o valor da temperatura exterior e da humidade relativa exterior foram retirados do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).

Os valores do IPMA advêm da estação meteorológica instalada no Aeroporto Sá Carneiro, localizado na zona de confluência entre os concelhos da Maia, Matosinhos e Vila do Conde, no distrito do Porto, que dista 8.18 *km* do estabelecimento de ensino em estudo.

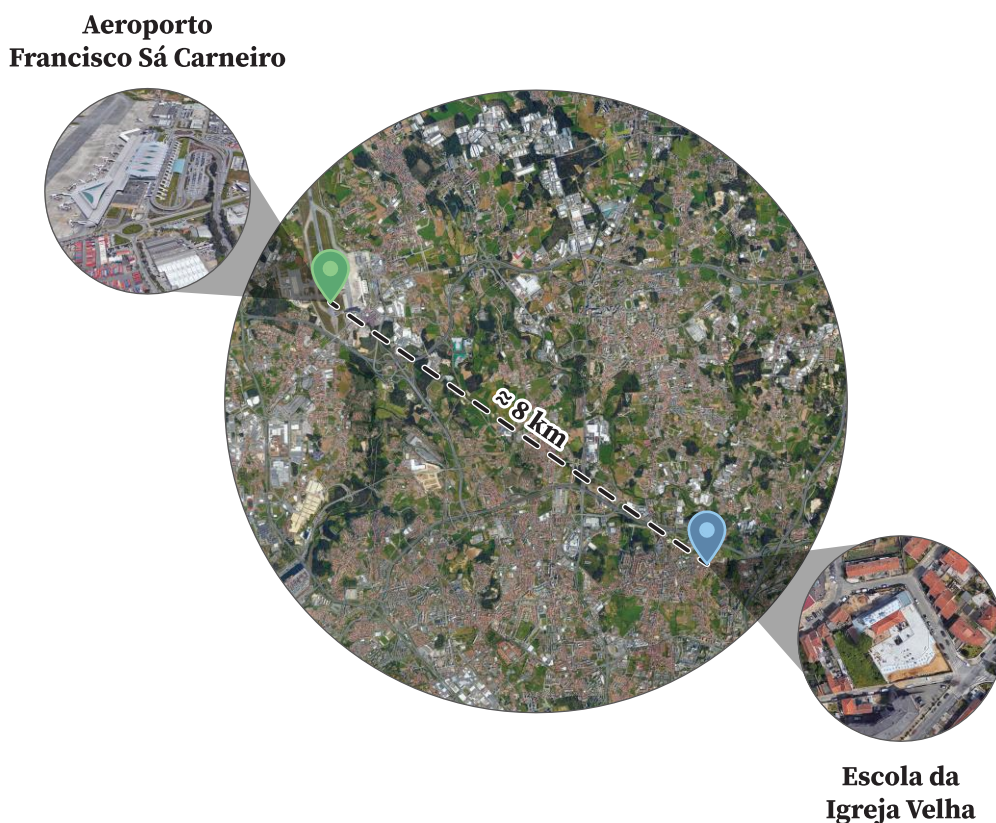


Figura 4.8 – Distância entre a estação meteorológica e o caso de estudo (Fonte (43)).

4.1.5 Medição da Sala Sonhos

A Sala de Sonhos destina-se a alunos do 1º ciclo está localizada no Piso -1 da Escola da Igreja Velha e tem a parede exterior orientada a Sudeste. Apresenta uma cobertura ajardinada que como forma uma ligeira pala horizontal provoca algum sombreamento nos envidraçados. É de salientar que está situada na parte nova da escola (construída em 2015). As medições foram realizadas durante o período letivo, encontrando-se a mesma ocupada aquando as medições. Apresenta-se de seguida a localização da sala na escola, a posição do aparelho na sala de aula, assim como, as medições realizadas.

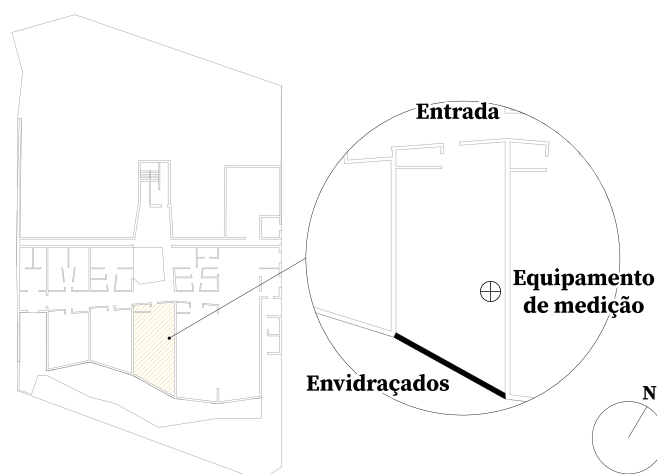


Figura 4.9 – Localização da Sala Sonhos (Piso -1) e do aparelho de medição (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).

Tabela 4.6 – Medição do nível de dióxido de carbono, temperatura (Temp.) e Humidade Relativa (HR) da Sala Sonhos (dados obtidos do equipamento Wöhler CDL 210).

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
07/06/2019	15:23	861	Não Verifica	24.1	17	45	63.4	Não Verifica
07/06/2019	15:24	840	Verifica	24.1	17	43.1	63.4	Verifica
07/06/2019	15:25	770	Verifica	24	17	43.4	63.4	Verifica
07/06/2019	15:26	760	Verifica	23.9	17	44.1	63.4	Verifica
07/06/2019	15:27	759	Verifica	23.9	17	44.1	63.4	Verifica
07/06/2019	15:28	772	Verifica	23.7	17	44.1	63.4	Verifica
07/06/2019	15:29	759	Verifica	23.7	17	43.9	63.4	Verifica

Registro		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
07/06/2019	15:30	749	Verifica	23.6	17	43.7	63.4	Verifica
07/06/2019	15:31	731	Verifica	23.6	17	44.2	63.4	Verifica
07/06/2019	15:32	743	Verifica	23.5	17	44.3	63.4	Verifica
07/06/2019	15:33	744	Verifica	23.5	17	44.7	63.4	Verifica
07/06/2019	15:34	755	Verifica	23.4	17	44.8	63.4	Verifica
07/06/2019	15:35	760	Verifica	23.4	17	44.7	63.4	Verifica
07/06/2019	15:36	759	Verifica	23.4	17	44.9	63.4	Verifica
07/06/2019	15:37	762	Verifica	23.4	17	45	63.4	Verifica
07/06/2019	15:38	766	Verifica	23.4	17	45.2	63.4	Verifica
07/06/2019	15:39	773	Verifica	23.3	17	45.2	63.4	Verifica
07/06/2019	15:40	777	Verifica	23.3	17	45.4	63.4	Verifica

Concentração de CO₂ interior (ppm)

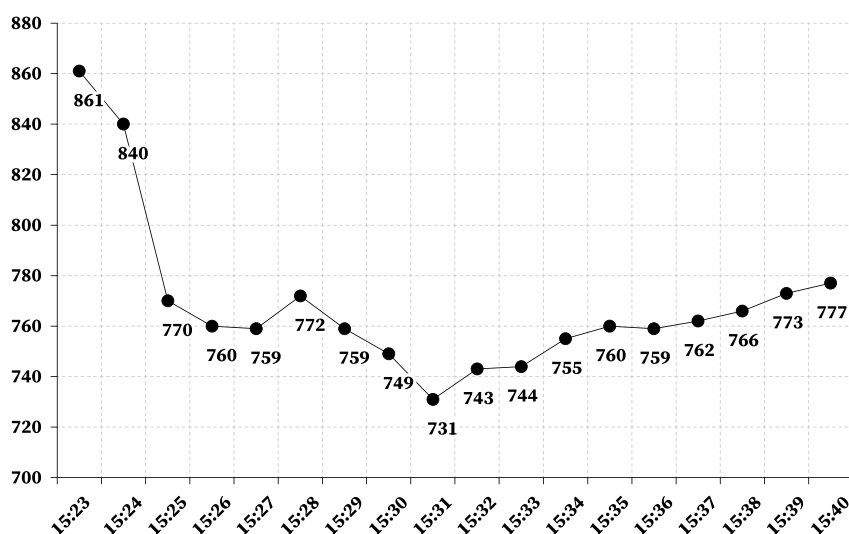


Figura 4.10 – Gráfico do dióxido de carbono dos valores da Tabela 4.6.

Em análise ao gráfico da Figura 4.10 os resultados de 861 *ppm* e 840 *ppm* são valores que se podem desprezar dado que poderão ser resultado da instalação do equipamento de medição, sendo a presença do instalador, neste caso do estagiário, um fator a desconsiderar. Os valores de dióxido de carbono oscilam entre os 731 *ppm* e 777 *ppm* sendo estes resultados ótimos (inferiores a 700 *ppm*).

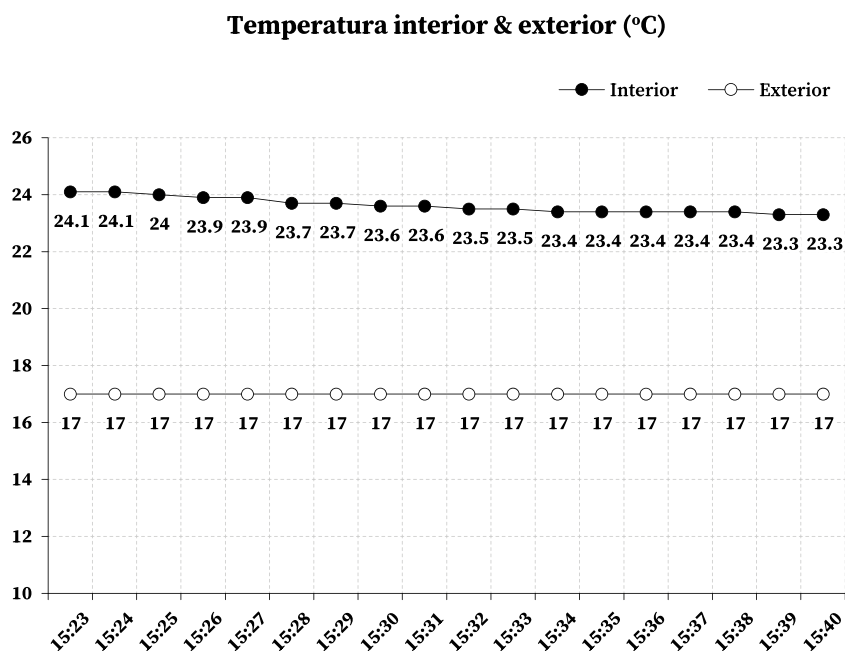


Figura 4.11 – Gráfico da temperatura dos valores da Tabela 4.6.

Os valores da temperatura interior são consideravelmente inferiores aos da temperatura exterior, contudo a variação dos resultados é reduzida oscilando entre 24.1°C e 23.3°C.

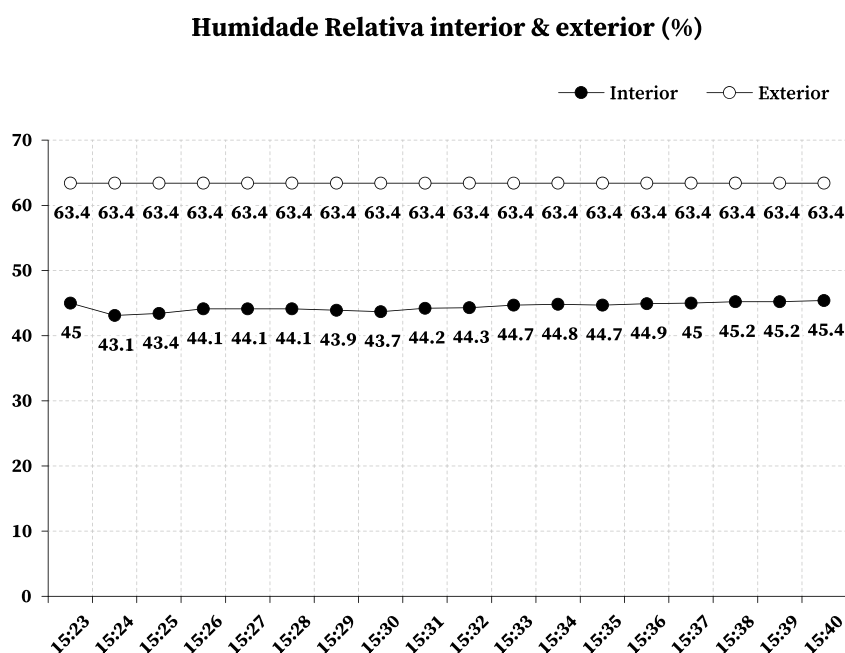


Figura 4.12 – Gráfico da humidade relativa dos valores da Tabela 4.6.

Os valores da humidade relativa, exterior são superiores aos interiores, sendo que os resultados interiores variam entre 45.4% e 43.1%, existindo pouca variação dos valores.

Como se pode observar, nesta sala o valor de dióxido de carbono médio é de 769 *ppm*, um valor muito próximo do valor ótimo (inferior a 700 *ppm*), o valor de 23.6°C da temperatura média interior e de 44.4% da húmida relativa média interior são valores aceitáveis para escolas (para estação de arrefecimento admite-se até 24°C de temperatura interior para 62% de humidade relativa interior).

É possível que estes valores sejam razoáveis devido à arquitetura do edifício, uma vez que esta sala se encontra no Piso -1 os seus envidraçados encontram-se protegidos por uma consola da cobertura ajardinada do Piso 0, mitigando assim a exposição solar da sala.

4.1.6 Medição da Sala Tolerância

Apresenta-se de seguida a localização da sala na escola, a posição do aparelho na sala de aula, assim como, as medições realizadas da Sala Tolerância localizada no Piso 1 do edifício, com envidraçados orientados a nordeste e sudeste. Os envidraçados não possuem nenhum dispositivo de sombreamento e a cobertura é em terraço.

Esta sala, tal como todas as do Piso 1, destina-se alunos do 1º ciclo. Esta sala é aquela que foi considerada mais quente, de acordo com a opinião expressa pelos ocupantes. Saliente-se que foram realizadas a medições durante o período letivo (com ocupantes) e após o término deste.

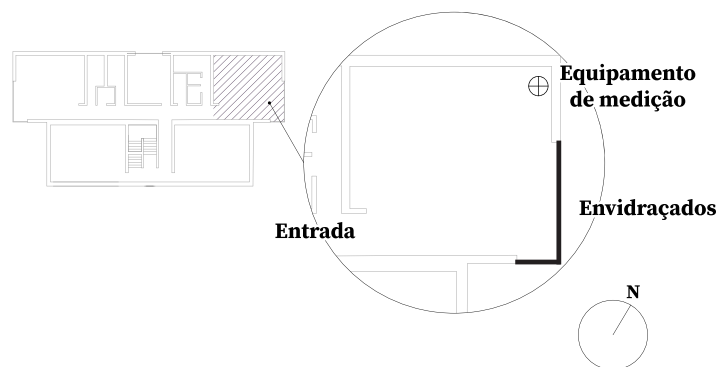


Figura 4.13 – Localização da Sala Tolerância (Piso 1) e do aparelho de medição (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).

Tabela 4.7 – Medição do nível de dióxido de carbono, temperatura (Temp.) e Humidade Relativa (HR) da Sala Tolerância (dados obtidos do equipamento Wöhler CDL 210) (com ocupantes).

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
07/06/2019	15:48	1533	Não verifica	24.4	17	59.1	63.4	Não verifica
07/06/2019	15:49	1337	Não verifica	24.6	17	48.6	63.4	Verifica
07/06/2019	15:50	1210	Não verifica	24.7	17	47.4	63.4	Verifica
07/06/2019	15:51	1177	Não verifica	24.6	17	47.3	63.4	Verifica
07/06/2019	15:52	1171	Não verifica	24.6	17	46.9	63.4	Verifica
07/06/2019	15:53	1166	Não verifica	24.7	17	46.8	63.4	Verifica
07/06/2019	15:54	1144	Não verifica	24.6	17	46.5	63.4	Verifica
07/06/2019	15:55	1137	Não verifica	24.7	17	46.7	63.4	Verifica
07/06/2019	15:56	1134	Não verifica	24.6	17	46.7	63.4	Verifica
07/06/2019	15:57	1120	Não verifica	24.6	17	46.7	63.4	Verifica
07/06/2019	15:58	1087	Não verifica	24.7	17	46.4	63.4	Verifica
07/06/2019	15:59	1064	Não verifica	24.7	17	46.5	63.4	Verifica
07/06/2019	16:00	1046	Não verifica	24.6	17	46.4	63.4	Verifica
07/06/2019	16:01	1036	Não verifica	24.6	17	46.2	63.4	Verifica

Concentração de CO₂ interior (ppm)

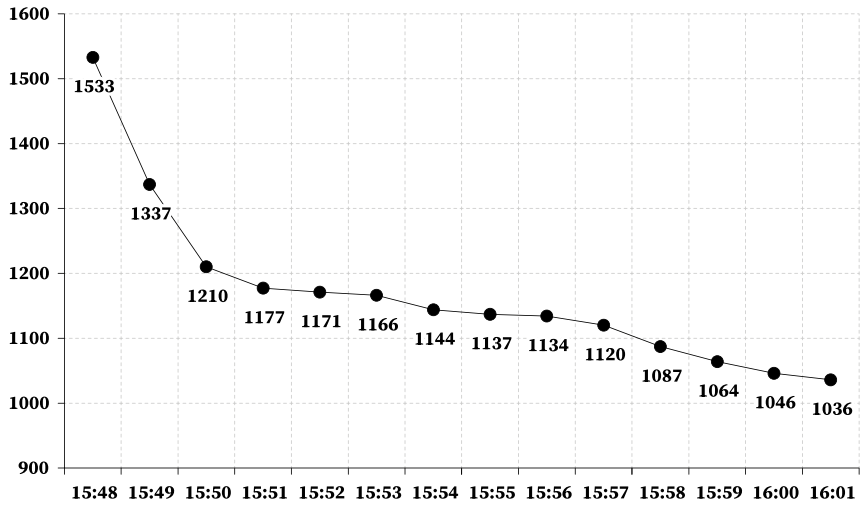


Figura 4.14 – Gráfico do dióxido de carbono dos valores da Tabela 4.7 (com ocupantes).

Tal como mencionado previamente o resultado de 1533 ppm pode ser desprezado uma vez que se encontram muito afastado dos restantes valores. O nível de dióxido de carbono tende a decrescer uma vez que no momento da medição os ocupantes tinham acabado de abandonar esta sala.

Contudo os valores entre 1337 ppm e 1036 ppm são indiciativos da sua presença recente sendo expectável que o valor de dióxido de carbono diminua com o tempo e contínua ausência de ocupantes.

Temperatura interior & exterior (°C)

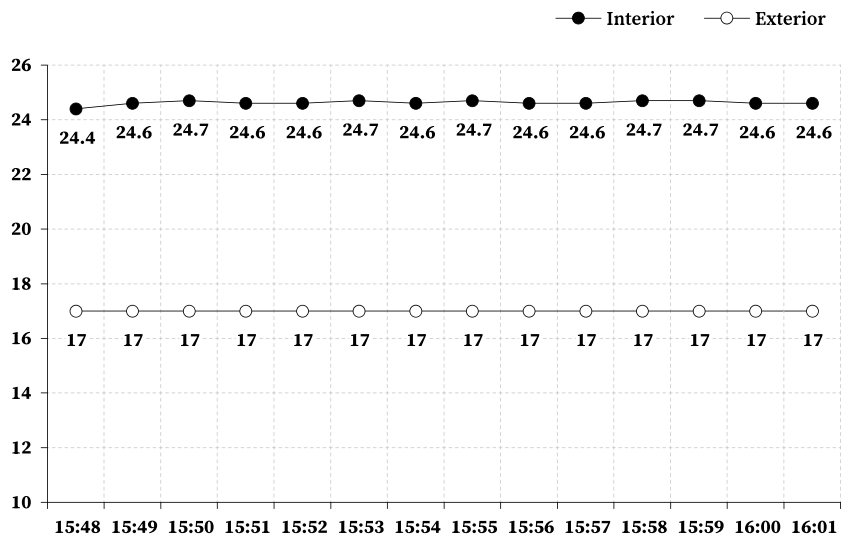


Figura 4.15 – Gráfico da temperatura dos valores da Tabela 4.7 (com ocupantes).

Tal como no gráfico da Figura 4.11 nesta medição também não existe uma grande variação dos valores da temperatura interior, sendo que os resultados oscilam entre os 24.4°C e os 24.7°C. Salienta-se que os valores da temperatura interior são superiores ao da temperatura exterior.

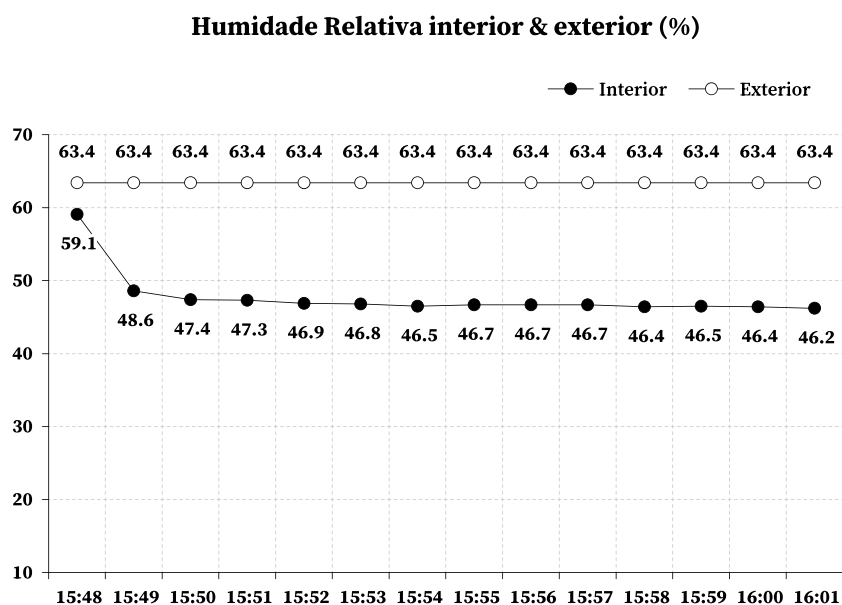


Figura 4.16 – Gráfico da humidade relativa dos valores da Tabela 4.7 (com ocupantes).

À exceção do valor de 59.1%, que tal como, outro valor díspar poderá ter resultado da sua instalação, os resultados da humidade relativa interiores são inferiores face aos valores exteriores, variando entre 48.6% e 46.2%.

Tabela 4.8 – Medição do nível de dióxido de carbono, temperatura (Temp.) e Humidade Relativa (HR) da Sala Tolerância (dados obtidos do equipamento Wöhler CDL 210) (sem ocupantes).

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
21/06/2019	11:47	2109	Não verifica	23.6	18	73.4	77.6	Não verifica
21/06/2019	12:47	1111	Não verifica	24.9	19	60.5	77.6	Não verifica
21/06/2019	13:47	655	Verifica	24.6	19	58.7	77.6	Não verifica
21/06/2019	14:47	1056	Não verifica	24.9	20	59.9	68.4	Não verifica
21/06/2019	15:47	1482	Não verifica	25.4	19	63.4	77.6	Não verifica

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
21/06/2019	16:47	1509	Não verifica	25.2	19	64.2	72.8	Não verifica
21/06/2019	17:47	755	Verifica	24.9	18	57.6	82.6	Não verifica
21/06/2019	18:47	640	Verifica	24.8	18	55.6	77.5	Não verifica
21/06/2019	19:47	601	Verifica	24.8	17	55.8	82.5	Não verifica
21/06/2019	20:47	590	Verifica	24.7	16	56.1	87.9	Não verifica
21/06/2019	21:47	583	Verifica	24.7	15	56.6	93.7	Não verifica
21/06/2019	22:47	577	Verifica	24.6	14	57.2	93.7	Não verifica
21/06/2019	23:47	572	Verifica	24.5	15	57.7	100	Não verifica
22/06/2019	00:47	565	Verifica	24.4	15	58.2	100	Não verifica
22/06/2019	01:47	554	Verifica	24.3	15	58.6	100	Não verifica
22/06/2019	02:47	541	Verifica	24.3	15	58.9	100	Não verifica
22/06/2019	03:47	533	Verifica	24.2	14	59.3	100	Não verifica
22/06/2019	04:47	523	Verifica	24.1	14	59.7	100	Não verifica
22/06/2019	05:47	515	Verifica	24.1	14	59.8	100	Não verifica
22/06/2019	06:47	506	Verifica	23.9	15	60.3	94	Verifica
22/06/2019	07:47	496	Verifica	23.9	15	60.4	100	Verifica
22/06/2019	08:47	485	Verifica	23.9	17	60.7	88	Verifica
22/06/2019	09:47	481	Verifica	24.1	17	60.7	88	Não verifica
22/06/2019	10:47	474	Verifica	24.6	19	59.7	73	Não verifica
22/06/2019	11:47	487	Verifica	24.9	20	59	77.8	Não verifica
22/06/2019	12:47	493	Verifica	25	19	58.7	77.6	Não verifica
22/06/2019	13:47	492	Verifica	25	20	58.6	68.4	Não verifica

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
22/06/2019	14:47	486	Verifica	25	20	57.7	64.1	Não verifica
22/06/2019	15:47	473	Verifica	25.1	20	57.2	56.1	Não verifica
22/06/2019	16:47	460	Verifica	25	20	56.1	49.1	Não verifica
22/06/2019	17:47	458	Verifica	25	19	56.4	52.2	Não verifica
22/06/2019	18:47	452	Verifica	25	19	56.8	52.2	Não verifica
22/06/2019	19:47	447	Verifica	24.9	19	57.3	48.8	Não verifica
22/06/2019	20:47	441	Verifica	24.9	18	57.4	55.6	Não verifica
22/06/2019	21:47	436	Verifica	24.8	19	57.2	55.9	Não verifica
22/06/2019	22:47	431	Verifica	24.7	16	57.2	87.9	Não verifica
22/06/2019	23:47	428	Verifica	24.7	16	57.4	93.8	Não verifica
23/06/2019	00:47	422	Verifica	24.6	15	57.5	100	Não verifica
23/06/2019	01:47	415	Verifica	24.4	15	57.7	100	Não verifica
23/06/2019	02:47	412	Verifica	24.4	16	57.9	94	Não verifica
23/06/2019	03:47	407	Verifica	24.3	16	58.2	100	Não verifica
23/06/2019	04:47	406	Verifica	24.2	16	58.5	100	Não verifica
23/06/2019	05:47	400	Verifica	24.1	16	58.8	100	Não verifica
23/06/2019	06:47	398	Verifica	24	16	59.1	100	Verifica
23/06/2019	07:47	396	Verifica	23.9	17	59.4	100	Verifica
23/06/2019	08:47	388	Verifica	23.9	17	59.5	100	Verifica
23/06/2019	09:47	387	Verifica	23.8	17	60	100	Verifica
23/06/2019	10:47	385	Verifica	23.7	18	60.1	94	Verifica
23/06/2019	11:47	383	Verifica	23.8	18	60.3	93.9	Verifica

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
23/06/2019	12:47	399	Verifica	23.9	18	60.3	93.9	Verifica
23/06/2019	13:47	397	Verifica	24.1	20	60.2	82.9	Não verifica
23/06/2019	14:47	392	Verifica	24.3	20	60	82.9	Não verifica
23/06/2019	15:47	391	Verifica	24.4	19	59.8	88.2	Não verifica
23/06/2019	16:47	388	Verifica	24.4	19	59.7	88.2	Não verifica
23/06/2019	17:47	388	Verifica	24.4	18	59.7	88.1	Não verifica
23/06/2019	18:47	386	Verifica	24.4	18	59.6	88.1	Não verifica
23/06/2019	19:47	386	Verifica	24.3	17	59.7	93.8	Não verifica
23/06/2019	20:47	381	Verifica	24.3	17	59.8	93.8	Não verifica
23/06/2019	21:47	400	Verifica	24.3	17	59.9	93.8	Não verifica
23/06/2019	22:47	397	Verifica	24.2	16	59.6	100	Não verifica
23/06/2019	23:47	394	Verifica	24.2	16	59.5	100	Não verifica
24/06/2019	00:47	393	Verifica	24.1	15	59.5	100	Não verifica
24/06/2019	01:47	394	Verifica	24.1	16	59.6	100	Não verifica
24/06/2019	02:47	392	Verifica	24	17	59.7	94	Verifica
24/06/2019	03:47	390	Verifica	23.9	16	59.9	100	Verifica
24/06/2019	04:47	387	Verifica	23.9	16	60	100	Verifica
24/06/2019	05:47	387	Verifica	23.8	16	60.2	100	Verifica
24/06/2019	06:47	387	Verifica	23.7	16	60.5	100	Verifica
24/06/2019	07:47	383	Verifica	23.7	17	60.6	100	Verifica
24/06/2019	08:47	394	Verifica	23.6	17	60.6	94	Verifica
24/06/2019	09:47	407	Verifica	23.6	17	60.6	100	Verifica

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
24/06/2019	10:47	417	Verifica	23.7	18	60.3	94	Verifica
24/06/2019	11:47	420	Verifica	23.9	19	60.2	82.9	Verifica
24/06/2019	12:47	423	Verifica	24.1	19	59.8	82.7	Não verifica
24/06/2019	13:47	424	Verifica	24.2	20	59.6	82.9	Não verifica
24/06/2019	14:47	424	Verifica	24.3	20	59.3	82.9	Não verifica
24/06/2019	15:47	423	Verifica	24.4	20	59.1	82.9	Não verifica
24/06/2019	16:47	423	Verifica	24.4	21	58.9	77.9	Não verifica
24/06/2019	17:47	422	Verifica	24.4	20	58.7	82.9	Não verifica
24/06/2019	18:47	420	Verifica	24.4	19	58.7	88.2	Não verifica
24/06/2019	19:47	420	Verifica	24.4	18	58.7	93.9	Não verifica
24/06/2019	20:47	418	Verifica	24.4	17	59	93.8	Não verifica
24/06/2019	21:47	413	Verifica	24.3	16	59	100	Não verifica
24/06/2019	22:47	410	Verifica	24.3	16	59	100	Não verifica
24/06/2019	23:47	404	Verifica	24.2	15	59.1	100	Não verifica
25/06/2019	00:47	400	Verifica	24.2	14	59.3	100	Não verifica
25/06/2019	01:47	398	Verifica	24.1	14	59.5	100	Não verifica
25/06/2019	02:47	396	Verifica	24.1	15	59.7	94	Não verifica
25/06/2019	03:47	394	Verifica	24	15	59.9	100	Verifica
25/06/2019	04:47	394	Verifica	23.9	15	60.1	100	Verifica
25/06/2019	05:47	396	Verifica	23.8	15	60.3	94	Verifica
25/06/2019	06:47	394	Verifica	23.9	16	60.4	94	Verifica
25/06/2019	07:47	394	Verifica	24.2	17	60.3	94	Não verifica

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
25/06/2019	08:47	403	Verifica	24.3	19	60.1	83	Não verifica
25/06/2019	09:47	465	Verifica	24.6	22	56.8	69	Não verifica
25/06/2019	10:47	458	Verifica	24.7	19	53.6	88	Não verifica
25/06/2019	11:47	514	Verifica	24.7	20	55.7	77.8	Não verifica
25/06/2019	12:47	490	Verifica	24.8	20	56.8	72.89	Não verifica
25/06/2019	13:47	461	Verifica	24.8	22	55.7	64.5	Não verifica
25/06/2019	14:47	449	Verifica	24.7	21	54.7	64.3	Verifica
25/06/2019	15:47	451	Verifica	24.8	20	54.1	68.4	Verifica
25/06/2019	16:47	449	Verifica	24.7	20	52	77.8	Verifica
25/06/2019	17:47	452	Verifica	24.9	20	52.3	82.9	Verifica
25/06/2019	18:47	443	Verifica	24.9	20	53	72.9	Verifica
25/06/2019	19:47	438	Verifica	24.9	19	53.8	82.7	Verifica
25/06/2019	20:47	435	Verifica	24.9	18	54	82.6	Verifica
25/06/2019	21:47	431	Verifica	24.8	18	54.5	82.6	Verifica
25/06/2019	22:47	426	Verifica	24.7	17	55	93.8	Verifica
25/06/2019	23:47	419	Verifica	24.7	17	55.4	93.8	Não verifica
26/06/2019	00:47	416	Verifica	24.6	17	56	88	Não verifica
26/06/2019	01:47	411	Verifica	24.6	17	56.5	88	Não verifica
26/06/2019	02:47	408	Verifica	24.5	17	56.9	88	Não verifica
26/06/2019	03:47	405	Verifica	24.4	17	57.3	88	Não verifica
26/06/2019	04:47	402	Verifica	24.3	16	57.6	93.8	Não verifica
26/06/2019	05:47	402	Verifica	24.2	16	57.9	93.8	Não verifica

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
26/06/2019	06:47	400	Verifica	24.2	16	58.2	93.8	Não verifica
26/06/2019	07:47	400	Verifica	24.1	16	58.5	100	Não verifica
26/06/2019	08:47	404	Verifica	24.1	17	58.1	93.8	Não verifica
26/06/2019	09:47	405	Verifica	24.1	17	58.4	93.8	Não verifica

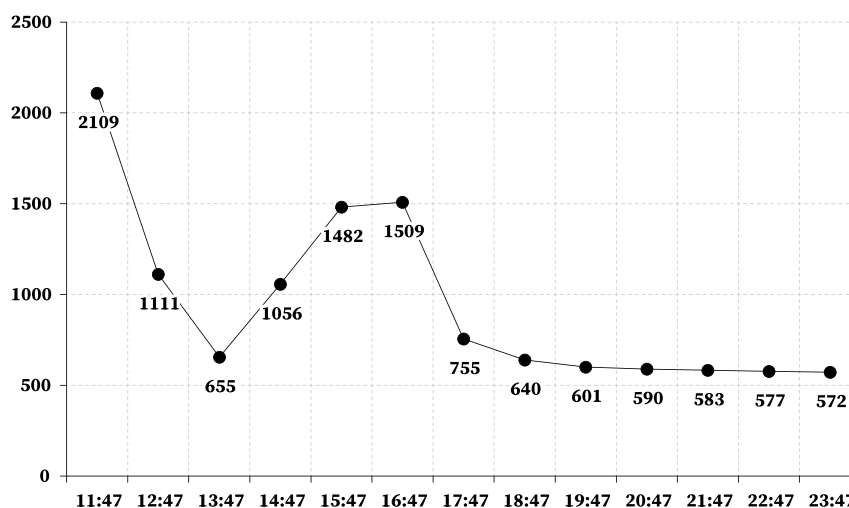
Concentração de CO₂ interior (ppm)

Figura 4.17 – Gráfico do dióxido de carbono do dia 21/06/19 (Sexta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Desprezando o valor de 2109 ppm, uma vez que é um valor que não reflete os resultados obtidos, os valores de dióxido de carbono encontram-se entre os 655 ppm e os 572 ppm, com um pico entre as 14:47 e as 16:47, possivelmente se deve a uma ocupação momentânea da sala, sendo que na generalidade do tempo de medição a sala não se encontrava ocupada, como se observa nos resultados entre as 17:47 e as 23:47 com valores ótimos de dióxido de carbono (< 700 ppm) com tendência a reduzir com o tempo.

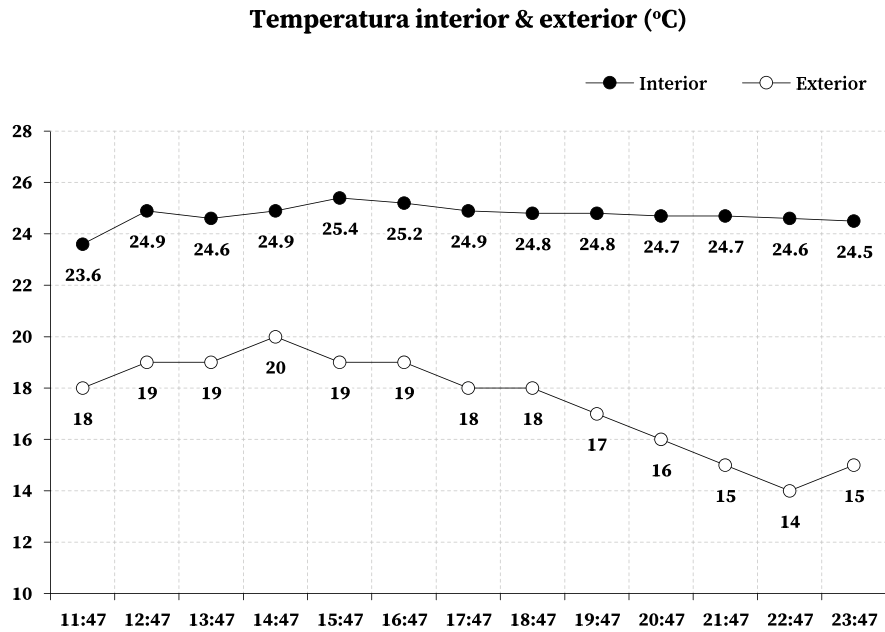


Figura 4.18 – Gráfico da temperatura do dia 21/06/19 (Sexta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Os valores da temperatura interior são superiores ao da temperatura exterior com valores entre os 23.6°C e os 25.4°C. A temperatura exterior possui um pico perto da hora em que o Sol se encontra mais elevado, e o seu valor vai-se reduzindo com o aproximar da noite.

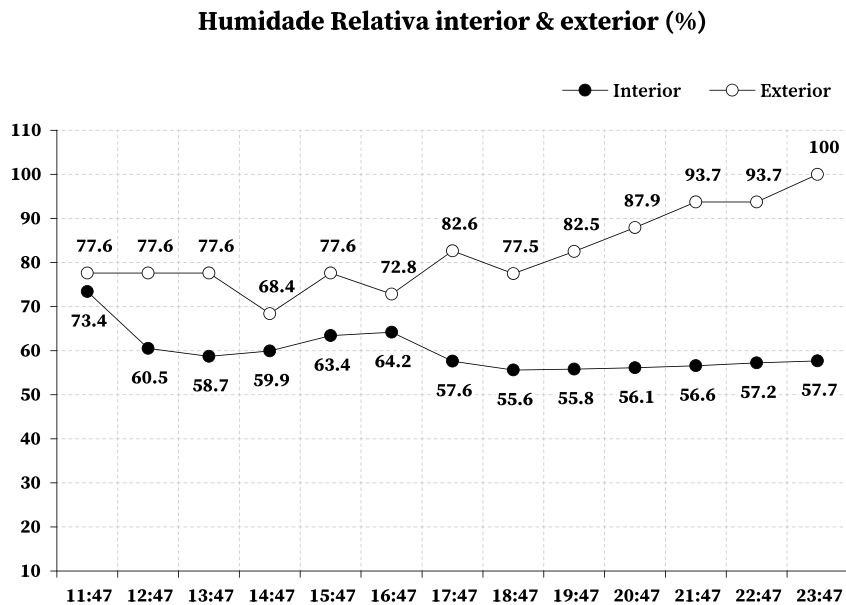


Figura 4.19 – Gráfico da humidade relativa do dia 21/06/19 (Sexta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

A humidade relativa interior encontra-se compreendida entre 73.4% e os 57.7%, valores inferiores ao da humidade relativa exterior que aumenta com o decorrer do tempo. A combinação de diminuição de temperatura e aumento da humidade relativa, atenua os efeitos das temperaturas elevadas.

Concentração de CO₂ interior (ppm)

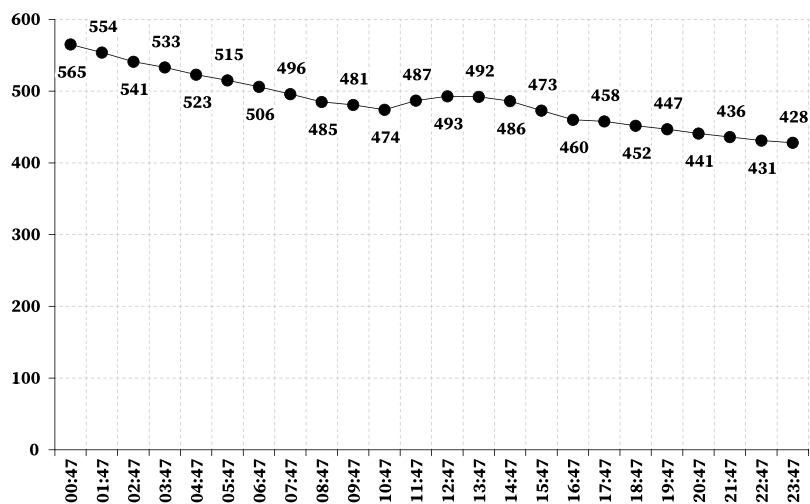


Figura 4.20 – Gráfico do dióxido de carbono do dia 22/06/19 (Sábado) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Tal como nas figuras anteriores o nível de dióxido de carbono mantém-se em valores ótimos com o decorrer do tempo e contínua ausência de ocupantes, com valores compreendidos entre os 565 *ppm* e os 428 *ppm* e com tendência a diminuir.

Temperatura interior & exterior (°C)

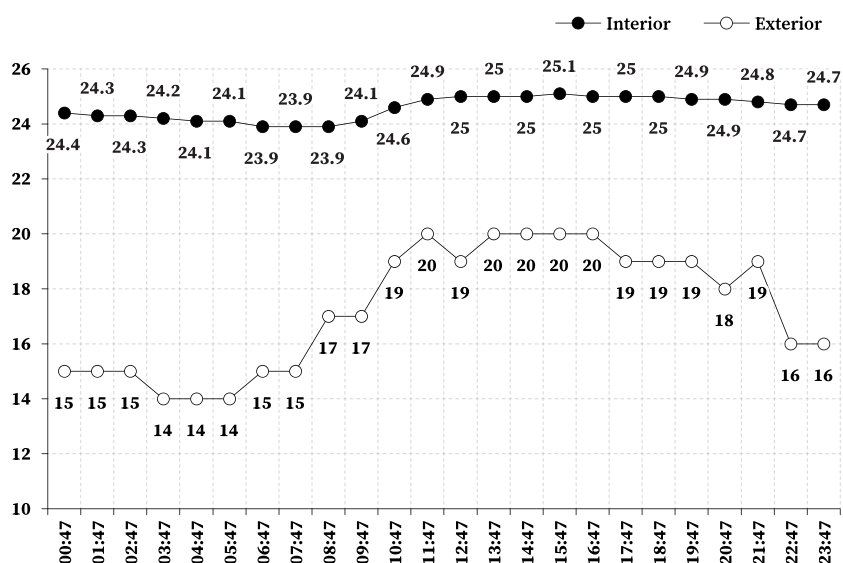


Figura 4.21 – Gráfico da temperatura do dia 22/06/19 (Sábado) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Os valores da temperatura interior apresentam pouca variação encontrando-se compreendidos entre os 23.9°C e os 25.1°C, com um ligeiro aumento denotado a partir das 13:47. A temperatura exterior apresenta resultados inferiores ao da temperatura interior, com o um aumento entre as 08:47 e as 20:47 com um pico entre as 13:47 e as 15:47, ou seja, nas horas em que o Sol se encontra mais elevado.

Salienta-se o aumento da temperatura, tanto interior como exterior nas horas em que o Sol se encontra a prumo sendo a orientação a sudeste da sala um fator que contribui para estes resultados.

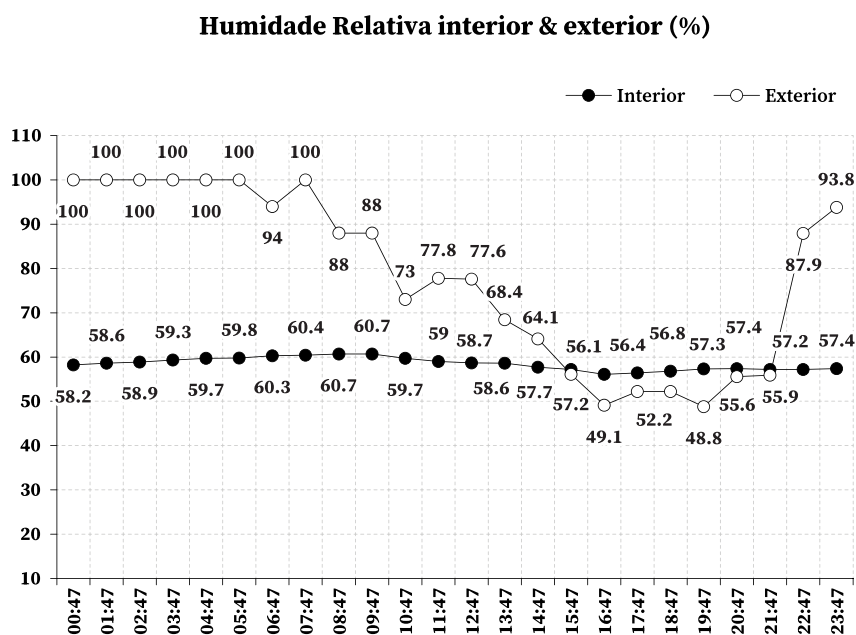


Figura 4.22 – Gráfico da humidade relativa do dia 22/06/19 (Sábado) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

A humidade relativa interior apresenta resultados que variam entre os 58.2% e os 57.74%. A Humidade relativa exterior apresenta valores compreendidos entre 100% e 48.8%, sendo provável que este valor abaixo da humidade relativa interior se deva a velocidade do vento mais elevado entre as 16:47 e as 20:47.

Uma vez que se as massas de ar estão carregadas de humidade, a tendência é aumentar os índices de chuva na região afetada, enquanto massas de ar seco tendem a conservar o ambiente igualmente sem humidade.

Dado que a humidade tende a reduzir a amplitude térmica encontra-se uma correlação entre a redução da humidade relativa e o aumento da temperatura entre as 15:47 e as 20:47.

Concentração de CO₂ interior (ppm)

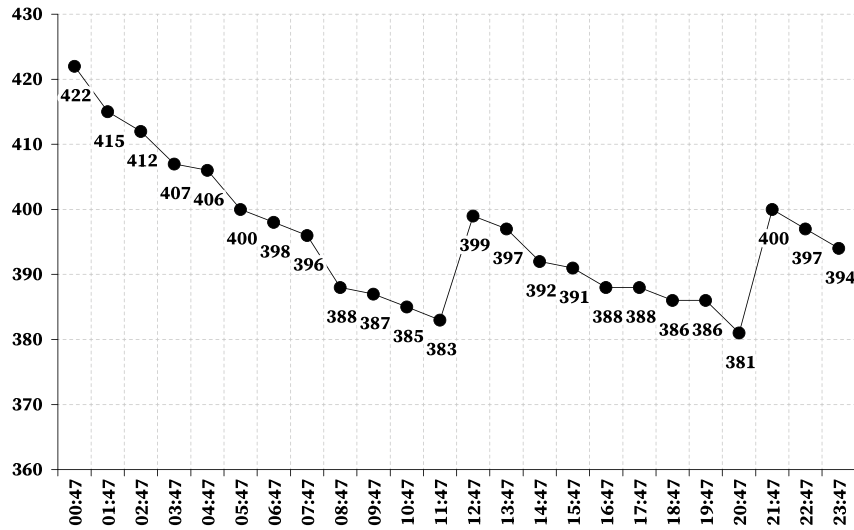


Figura 4.23 – Gráfico do dióxido de carbono do dia 23/06/19 (Domingo) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Tal como em gráficos anteriores o nível de dióxido de carbono continua a diminuir, com pouca oscilação, variando entre os 422 ppm e os 381 ppm, uma vez que a sala se encontra desocupada há cerca de três dias.

Temperatura interior & exterior (°C)

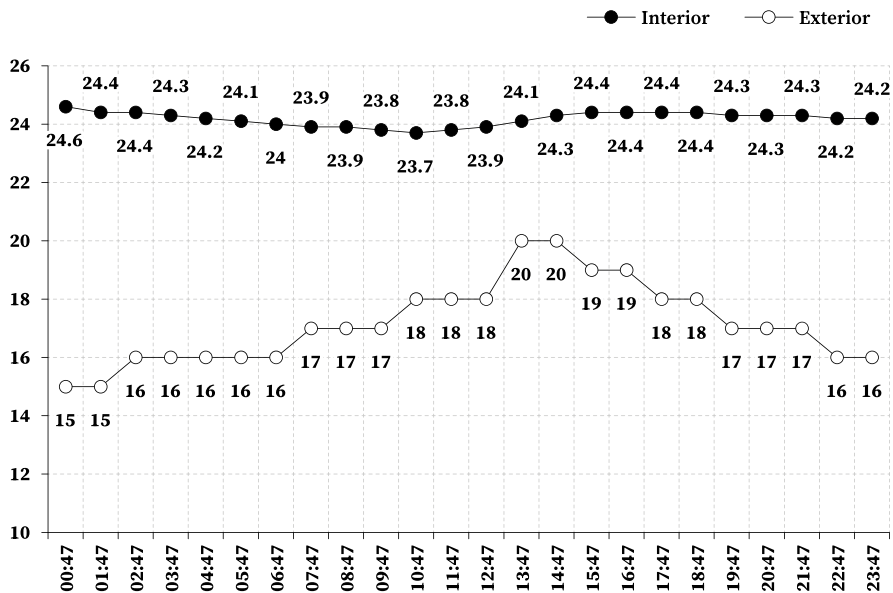


Figura 4.24 – Gráfico da temperatura do dia 23/06/19 (Domingo) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Tal como na Figura 4.21 também neste gráfico se observa a evolução da temperatura exterior com pico por volta das horas de maior calor, entre as 13:47 e as 15:47 e apresenta valores entre os 15°C e os 20°C. A temperatura interior apresenta valores compreendidos entre 24.6°C e 23.7°C, não se evidenciando grande amplitude térmica com o decorrer do tempo.

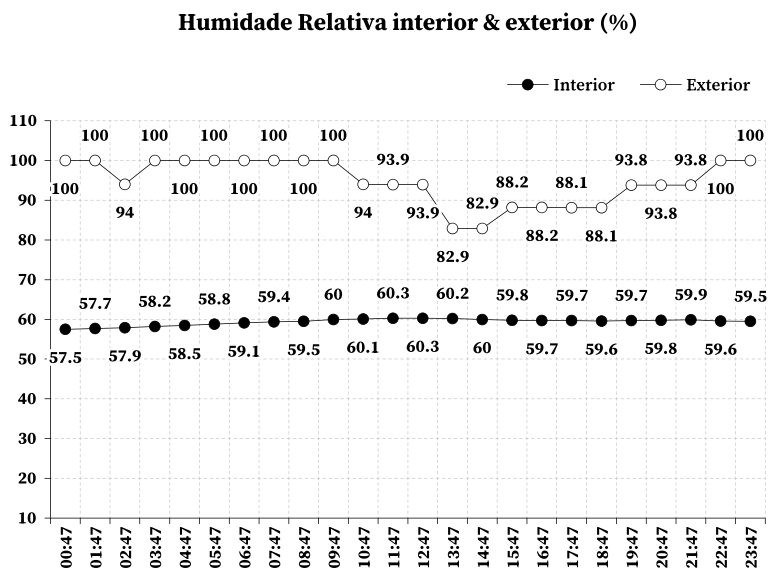


Figura 4.25 – Gráfico da humidade relativa do dia 23/06/19 (Domingo) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Denota-se no gráfico pouca variação entre os resultados da humidade relativa interior, com valores entre 57.5% e 60.3%, por sua vez a humidade relativa exterior apresenta valores entre 100% e 82.9% com um pico mínimo aquando o pico máximo da temperatura por volta das 13:47, provocando uma sensação de ar abafado.

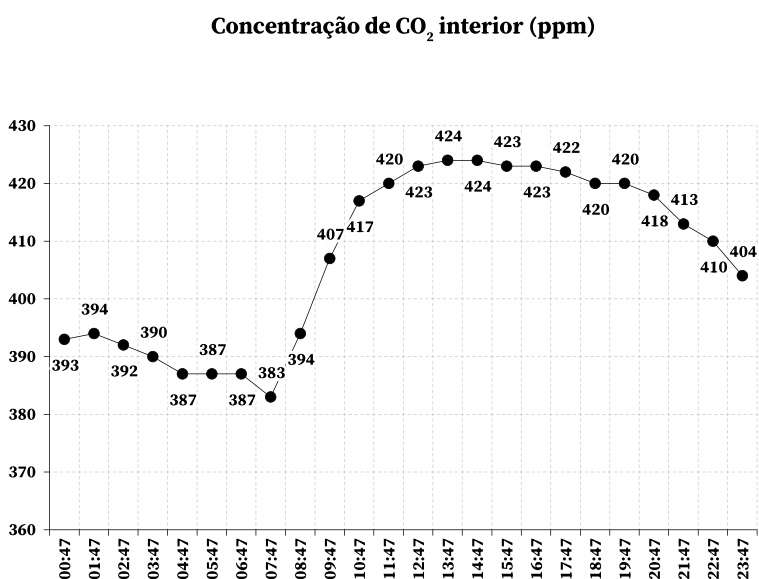


Figura 4.26 – Gráfico do dióxido de carbono do dia 24/06/19 (Segunda-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

A Figura 4.26 apresenta valores ótimos de dióxido de carbono com um aumento dos valores cerca das 09:47, uma vez que esta medição foi realizado após o término do ano letivo, já não se encontravam alunos na sala. No entanto, a sala continua a ser visitada por funcionários da escola, para monitorização do funcionamento do equipamento de medição e limpeza da sala, fator que pode ter contribuído para o aumento dos valores de dióxido de carbono.

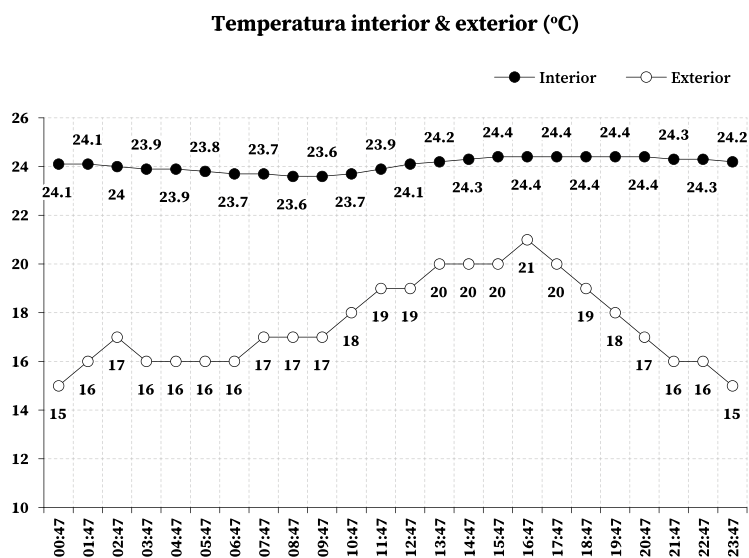


Figura 4.27 – Gráfico da temperatura do dia 24/06/19 (Segunda-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Tal como se observa nos gráficos anteriores também nesta situação se observa um pico da temperatura exterior por volta das horas de maior calor, entre as 13:47 e as 15:47 e apresenta valores entre os 15°C e os 21°C, sendo que o valor da temperatura diminui à medida que se instala o período noturno.

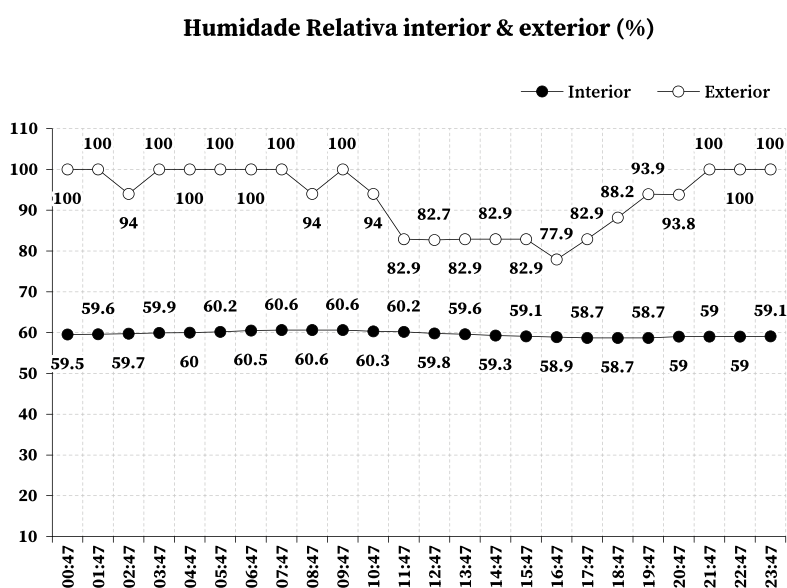


Figura 4.28 – Gráfico da humidade relativa do dia 24/06/19 (Segunda-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Tal como referenciado noutras medições, a humidade relativa exterior acompanha a variação da temperatura exterior apresentado para valores de humidade relativa exterior um pico no intervalo de maior calor (entre as 13:47 e as 15:47) com valores compreendidos entre 100% e 77.9%.

Concentração de CO₂ interior (ppm)

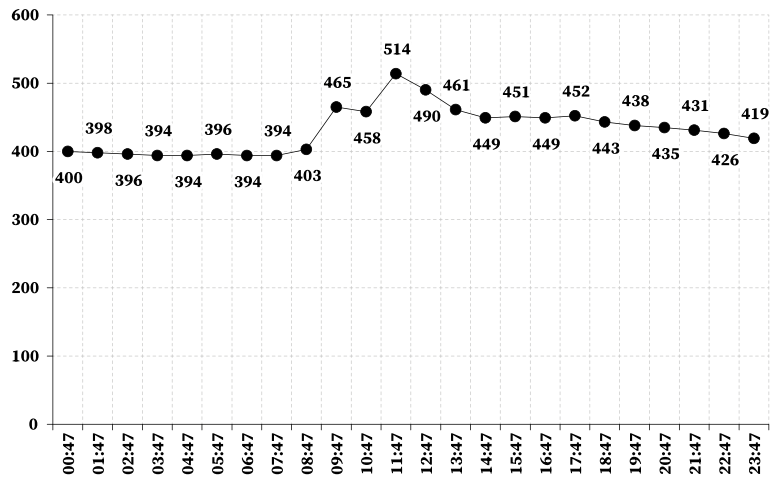


Figura 4.29 – Gráfico do dióxido de carbono do dia 25/06/19 (Terça-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

O gráfico apresenta valores de dióxido de carbono reduzidos resultado da ausência de ocupantes durante um longo período, salvo a excecional visita de funcionários da escola para verificar se o equipamento de medição se encontra a funcionar. Os valores não apresentam grande variação encontrando-se compreendidos entre 194 ppm e 514 ppm.

Temperatura interior & exterior (°C)

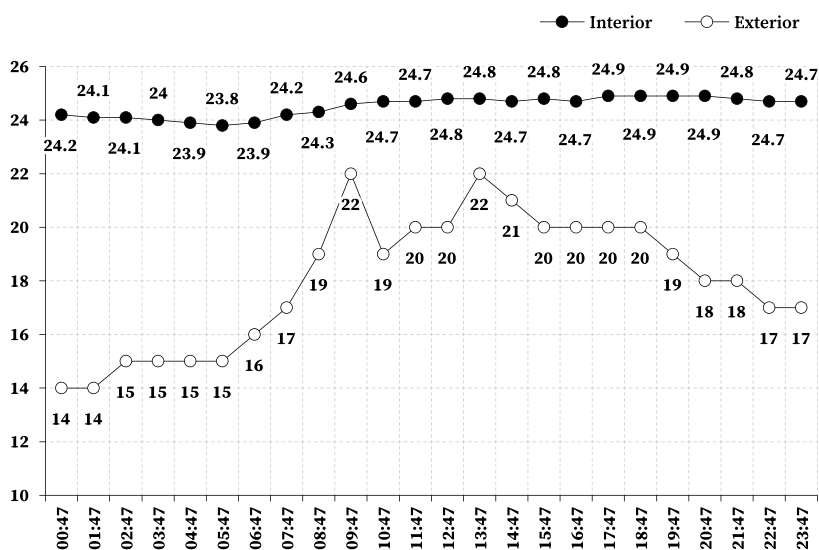


Figura 4.30 – Gráfico da temperatura do dia 25/06/19 (Terça-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

No gráfico observa-se um pico da temperatura exterior por volta das horas de maior calor, entre as 13:47 e as 15:47, assim como um pico cerca das 09:47, e apresenta valores entre os 15°C e os 21°C, sendo que o valor da temperatura diminui com o decorrer do tempo (à medida que se instala o período noturno).

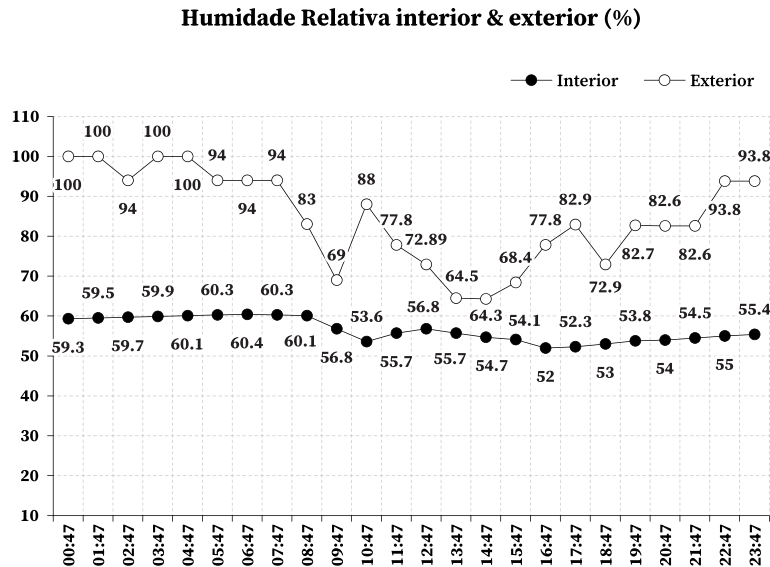


Figura 4.31 – Gráfico da humidade relativa do dia 25/06/19 (Terça-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Tal como referenciado noutras medições, a humidade relativa exterior acompanha a variação da temperatura exterior apresentado para valores de humidade relativa exterior um pico mínimo no intervalo de maior calor (entre as 13:47 e as 15:47). Denote-se também um pico mínimo, cerca das 09:47, correspondente a um aumento da temperatura, no mesmo período, de 22°C. A humidade relativa exterior apresenta valores compreendidos entre 100% e 64.5%. A humidade relativa interior apresenta valores inferiores aos resultados exteriores com valores entre 60.3% e 52%.

Concentração de CO₂ interior (ppm)

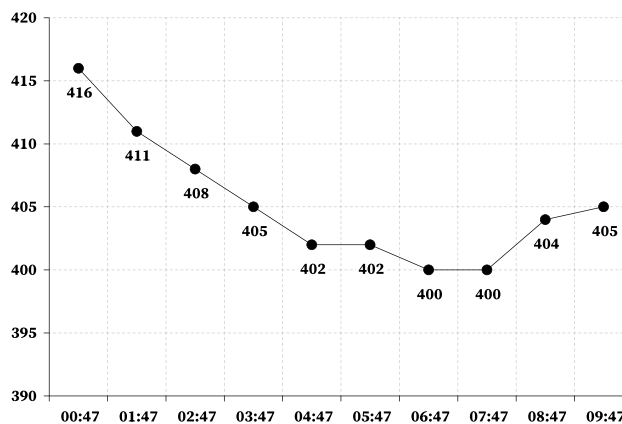


Figura 4.32 – Gráfico da variação de dióxido de carbono do dia 26/06/19 (Quarta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Tal como noutros casos os valores de dióxido de carbono são reduzidos devido à ausência de fatores que influenciem os seus valores (ocupantes) durante um longo período, salvo o aumento aquando o seu levantamento por parte do estagiário e da presença de funcionárias durante a limpeza da sala, que constituem um fator influente das medições.

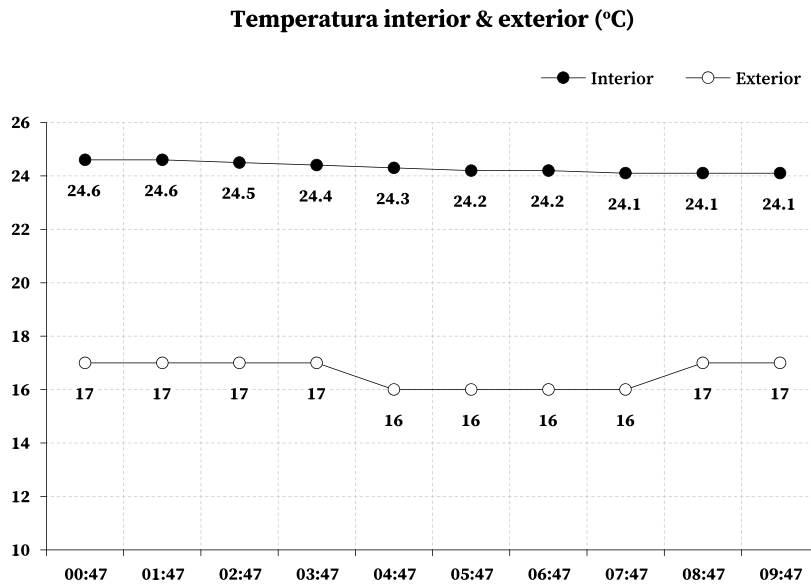


Figura 4.33 – Gráfico da temperatura do dia 26/06/19 (Quarta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Como se observa no gráfico a temperatura exterior é menor do que a temperatura interior, sem a existência de grande amplitude térmica.

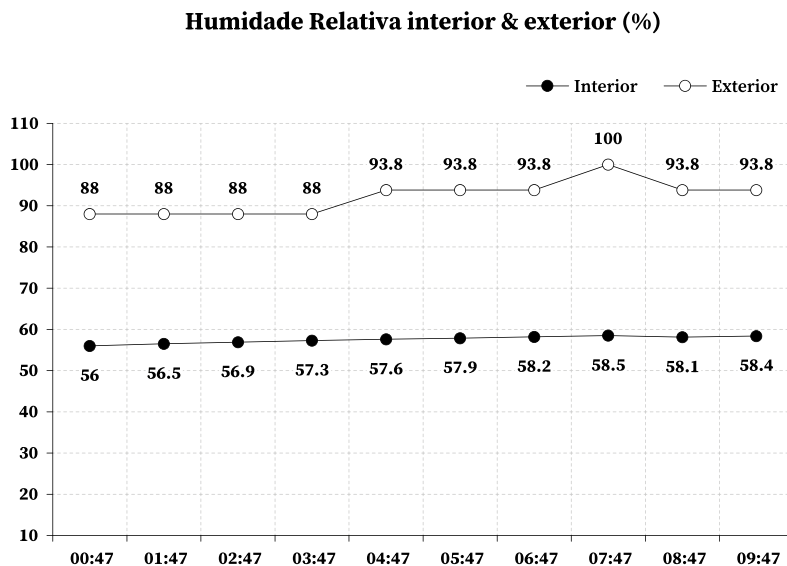


Figura 4.34 – Gráfico da humidade relativa do dia 26/06/19 (Quarta-Feira) dos valores da Tabela 4.8 (sem ocupantes).

Como se observa no gráfico a humidade relativa exterior é maior do que a humidade relativa interior, sem a existência de grande variação dos valores, correspondendo os mesmos a resultados já observados nas outras medições.

Uma vez que esta sala foi considerada crítica pelos ocupantes, foi merecedora de duas medições: com ocupantes e sem ocupantes. Os níveis de dióxido de carbono são exacerbados com a presença de ocupantes, podendo atingir valores muito elevados, com valor médio de 1169 *ppm* (Tabela 4.7), acima do valor recomendado, mas inferior ao limite máximo de 1250 *ppm*. Relativamente à temperatura e humidade relativa da medição com ocupantes (Tabela 4.7), observa-se que os valores médios de 24.6°C e de 47.7%, para a temperatura interior e humidade relativa interior respetivamente, encontram-se dentro do intervalo de valores aceitáveis.

A medição sem ocupantes (Tabela 4.8), apresenta valores de 24.4°C e de 58.6%, para temperatura e humidade relativa respetivamente. A relação temperatura/humidade relativa também se encontra, na sua maioria dentro dos valores normais parametrizados. O nível de dióxido de carbono medido apresenta resultados ótimos com valores abaixo dos 700 *ppm*, demonstrando a influência que os ocupantes exercem no espaço.

4.1.7 Medição da Sala Alegria

Apresenta-se de seguida a localização da sala na escola, a posição do aparelho na sala de aula, bem como, as medições realizadas da Sala Alegria localizada no Piso 1 do edifício, com envidraçados orientados a sudeste e sudoeste e que apresenta uma posição oposta à sala anteriormente estudada.

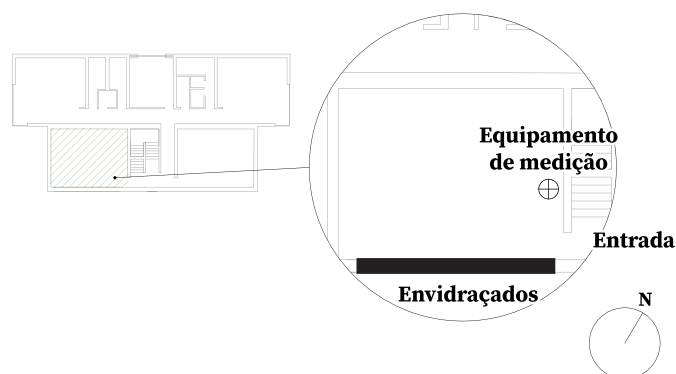


Figura 4.35 – Localização da Sala Alegria (Piso 1) e do aparelho de medição (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).

Saliente-se que a medição foi realizada durante o período letivo, encontrando-se a mesma ocupada aquando as medições.

Tabela 4.9 – Medição do nível de dióxido de carbono, temperatura (Temp.) e Humidade Relativa (HR) da Sala Alegria (dados obtidos do equipamento Wöhler CDL 210).

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
07/06/2019	16:05	1243	Não verifica	25.2	17	48.5	63.4	Verifica
07/06/2019	16:06	1430	Não verifica	25.3	17	47.5	63.4	Verifica
07/06/2019	16:07	1440	Não verifica	25.2	17	47.3	63.4	Verifica
07/06/2019	16:08	1449	Não verifica	25.3	17	46.6	63.4	Verifica
07/06/2019	16:09	1380	Não verifica	25.3	17	46.4	63.4	Verifica
07/06/2019	16:10	1342	Não verifica	25.3	17	46.5	63.4	Verifica

Concentração de CO₂ interior (ppm)

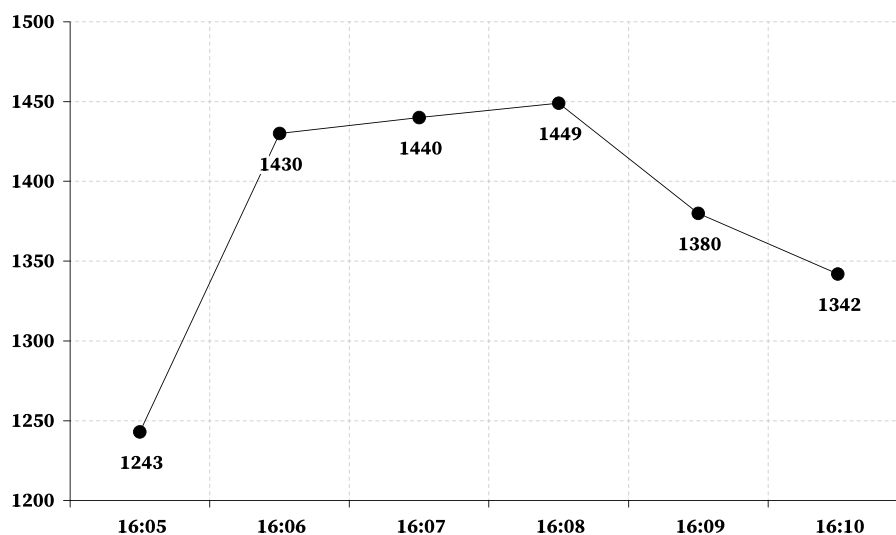


Figura 4.36 – Gráfico do dióxido de carbono dos valores da Tabela 4.9.

Como se observa no gráfico o nível de dióxido de carbono é bastante elevado salientando-se que a sala se encontrava ocupada aquando a medição.

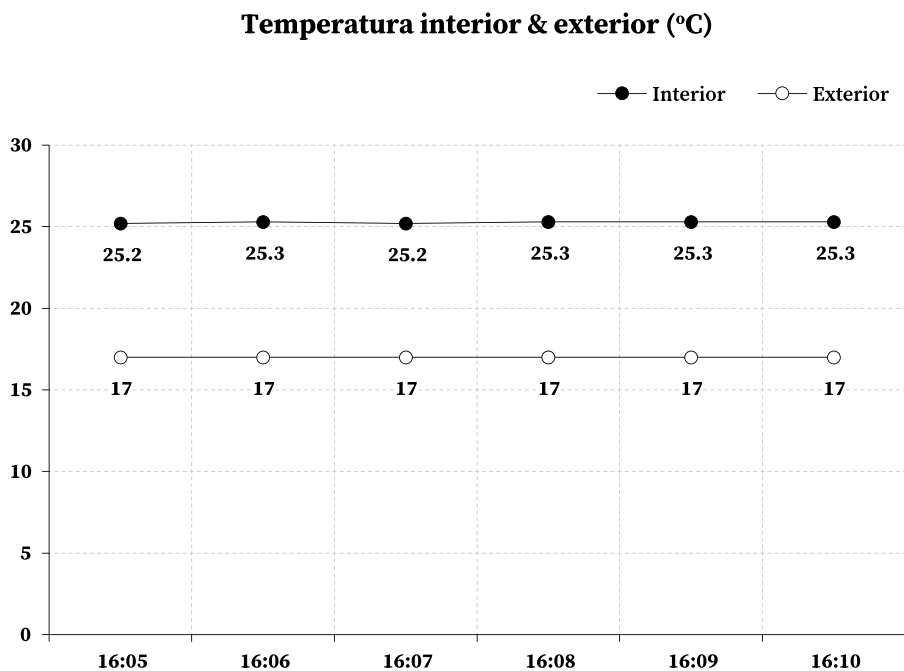


Figura 4.37 – Gráfico da temperatura dos valores da Tabela 4.9.

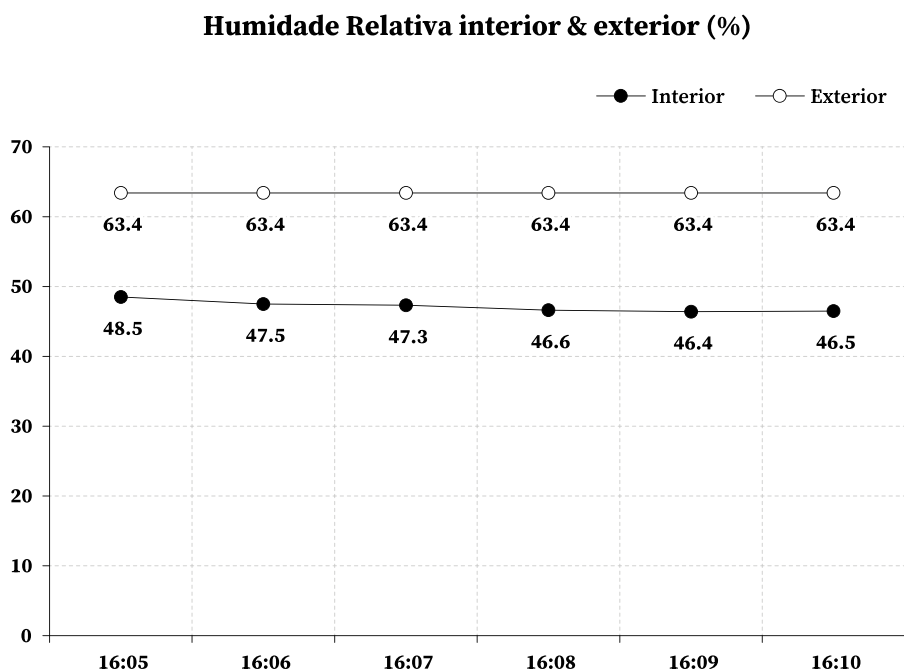


Figura 4.38 – Gráfico da humidade relativa dos valores da Tabela 4.9.

Os valores obtidos para esta medição (Tabela 4.9) do nível de dióxido de carbono apresentam valores elevados, sendo o valor médio de 1381 *ppm*, um valor abaixo de limiar máximo (1250 *ppm*) mas acima do recomendado, sendo este valor médio o mais elevado de todas as salas medidas.

Contudo os valores de temperatura e humidade relativa, são semelhantes aos das outras salas, tendo um valor médio de 25.3°C para a temperatura interior e de 47.13% para a humidade relativa interior, encontrando-se a sua relação dentro do intervalo de valores aceitáveis.

4.1.8 Medição da Sala União

Apresenta-se de seguida a localização da sala na escola, a posição do aparelho na sala de aula, bem como, as medições realizadas da Sala União localizada no Piso 1 do edifício, orientada a sudeste.

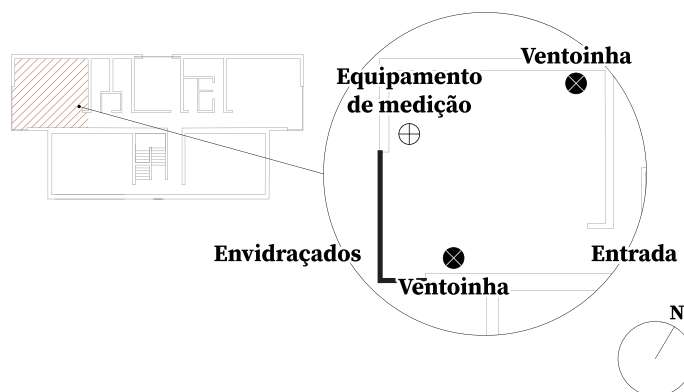


Figura 4.39 – Localização em planta da Sala União (Piso 1) e do aparelho de medição (Adaptado do projeto fornecido pela Câmara Municipal de Matosinhos).

Tabela 4.10 – Medição do nível de dióxido de carbono, temperatura (Temp.) e Humidade Relativa (HR) da Sala União (dados obtidos do equipamento Wöhler CDL 210).

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
07/06/2019	16:15	649	Verifica	26.1	17	36.4	63.4	Verifica
07/06/2019	16:16	620	Verifica	25.9	17	36.6	63.4	Verifica
07/06/2019	16:17	599	Verifica	25.7	17	35.9	63.4	Verifica
07/06/2019	16:18	588	Verifica	25.6	17	36	63.4	Verifica
07/06/2019	16:19	584	Verifica	25.6	17	36.7	63.4	Verifica
07/06/2019	16:20	555	Verifica	25.4	17	36.6	63.4	Verifica
07/06/2019	16:21	520	Verifica	25.3	17	36.5	63.4	Verifica
07/06/2019	16:22	495	Verifica	25.1	17	35.9	63.4	Verifica

Registo		Dióxido de Carbono (ppm)	Verificação do nível de Dióxido de Carbono	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)		Verificação da relação Temp. e HR
				Interior	Exterior	Interior	Exterior	
07/06/2019	16:23	477	Verifica	25.3	17	36.3	63.4	Verifica
07/06/2019	16:24	468	Verifica	25.3	17	36.6	63.4	Verifica
07/06/2019	16:25	465	Verifica	25.4	17	36.8	63.4	Verifica

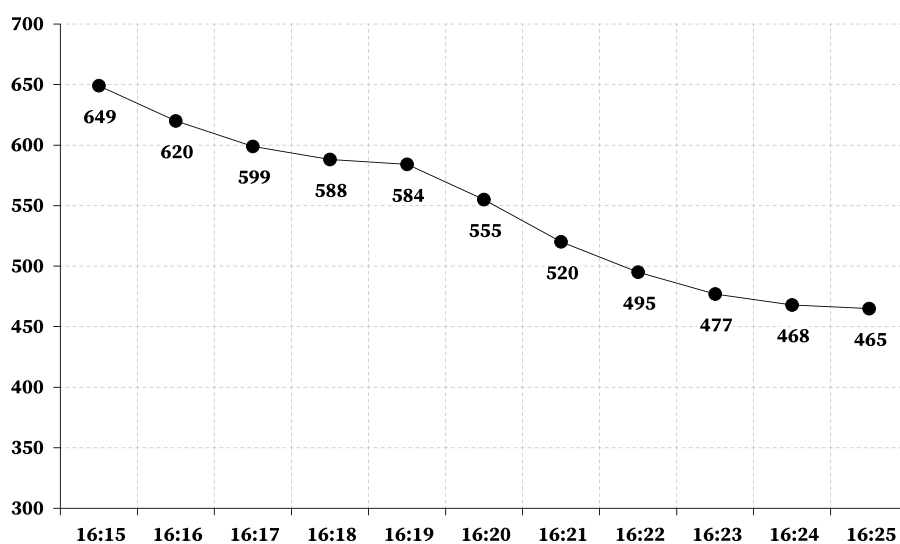
Concentração de CO₂ interior (ppm)

Figura 4.40 – Gráfico do dióxido de carbono dos valores da Tabela 4.10.

Como se observa no gráfico a concentração de dióxido de carbono é bastante reduzida, sendo até valores ótimos. Saliente-se que a medição foi realizada durante o período letivo, encontrando-se a mesma ocupada por alunos aquando as medições. Durante a medição encontravam-se em funcionamento duas ventoinhas de pé, sendo o resultado da medição influenciado por estes equipamentos.

Temperatura interior & exterior (°C)

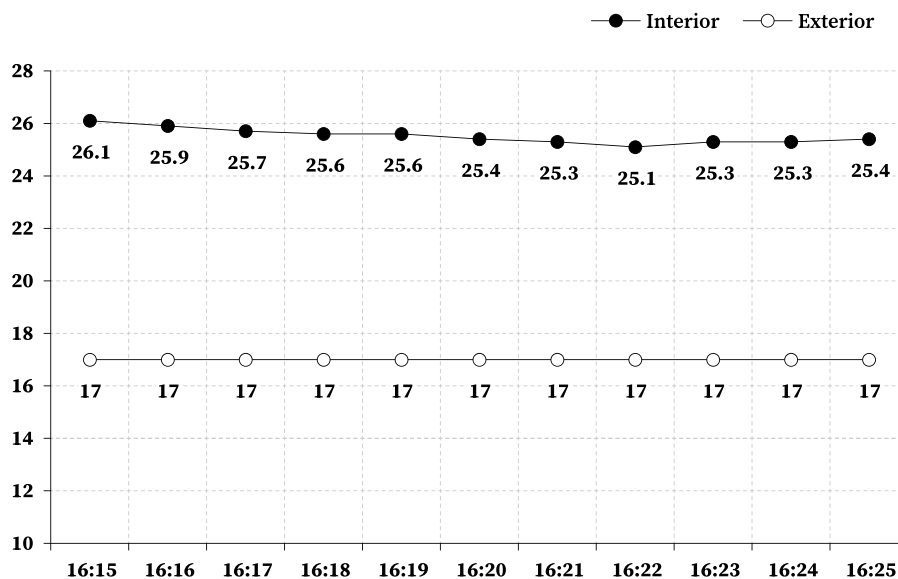


Figura 4.41 – Gráfico da temperatura dos valores da Tabela 4.10.

Humidade Relativa interior & exterior (%)

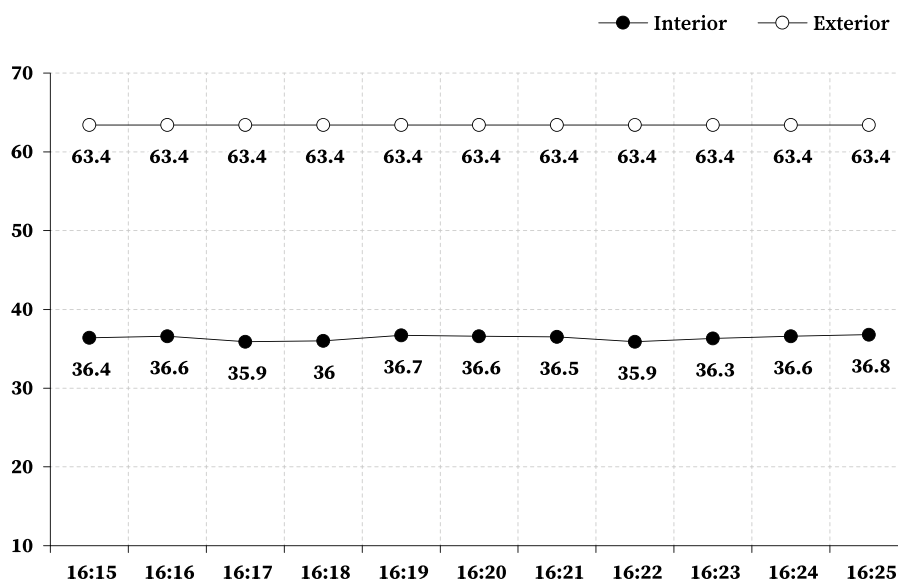


Figura 4.42 – Gráfico da humidade relativa dos valores da Tabela 4.10.

As medições desta sala foram realizadas com o funcionamento de duas ventoinhas colocadas na sala, para conforto dos ocupantes, sendo este um fator que influencia os resultados obtidos.

Com um sistema de ventilação em funcionamento, é expectável que os níveis de dióxido de carbono sejam baixos, e como se observa na Tabela 4.10, os valores medidos de concentração de dióxido de carbono são inferiores a 700 ppm, um valor ótimo, por sua vez os valores de temperatura média interior e humidade relativa média interior são, 25.5°C e de 36.4% respetivamente, valores que se encontram no espectro de resultados normais.

4.1.9 Estimativa do conforto térmico

Para um estudo mais detalhado é pertinente proceder ao cálculo da estimativa do conforto térmico através do método descrito no Capítulo 3 (Método do *PMV* (*predicted mean vote* ou voto médio estimado) e ao *PPD* (*predicted percentage of dissatisfied* ou percentagem previsível de insatisfeitos).

Dado que o estagiário não realizou a medição da temperatura superficial dos envidraçados, o valor da temperatura média radiante será estimado pela seguinte expressão:

$$\bar{\theta}_r = \theta_a - U_w \cdot R_{si} \cdot (\theta_a - \theta_e) \quad (4.1)$$

Em que:

$\bar{\theta}_r$ — Temperatura radiante média (°C);

θ_a — Temperatura do ar ambiente (°C);

U_w — Coeficiente de transmissão térmica do envidraçado [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];

R_{si} — Resistência térmica superficial interior [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$];

θ_e — Temperatura do ar exterior (°C).

Considerando-se os valores obtidos pela medição na Sala Tolerância, com ocupantes, (Tabela 4.7) e adotando-se os seguintes valores:

$\theta_a = 24.6$ °C (temperatura interior média);

$U_w = 3.7$ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ (caixilharia metálica com corte térmico e vidro duplo (ITE50) (46));

$R_{si} = 0.13$ $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$;

$\theta_e = 17$ °C (temperatura exterior média).

Obtendo-se:

$$\bar{\theta}_r = 24.6 - 3.7 \cdot 0.13 \cdot (24.6 - 17) = 20.9^\circ C$$

Com as expressões do cálculo do *PMV* e *PPD* do Capítulo 3 obtém-se a seguinte tabela:

Tabela 4.11 – Dados introduzidos para o cálculo do *PMV* e *PPD*.

v_{ar} (m/s)	θ_a (°C)	$\bar{\theta}_r$ (°C)	HR (%)	I_{cl}		M		W	
				clo	$[(m^2 \cdot °C)/W]$	(met)	(W/m^2)	(met)	(W/m^2)
0	24.6	20.9	47.7	0.5	0.0775	1.2	69.78	0	0

Tabela 4.12 – Cálculos auxiliares para o cálculo do *PMV* e *PPD*.

f_{cl} $[(m^2 \cdot °C)/W]$	θ_{skin} (°C)	θ_{cl} (°C)	h_c $[W/(m^2 \cdot °C)]$	p_w (Pa)	Q_{skin} (W/m^2)	Q_{res} (W/m^2)	S (W/m^2)
1.1	33.7	29.33	3.51	1475.17	73.369	6.128	-9.717

Tabela 4.13 – Resultados do *PMV* e *PPD*.

PMV	PPD (%)
-0.51	10

Pode-se interpretar os valores de acordo com o gráfico que relaciona o *PMV* com o *PPD* (Figura 3.7), observando-se assim um valor de *PMV* compreendido entre 0 (neutro) e -1 (ligeiramente frio) com uma percentagem de insatisfação (*PPD*) de 10%, sendo que estes resultados não traduzem o observado. Este modelo baseia-se nos seguintes critérios: temperatura do ar interior, temperatura média radiante, velocidade do ar interior e humidade relativa do ar. Pode-se descrever estes fatores do seguinte modo:

- A temperatura do ar, refere-se à temperatura do ar envolta do corpo humano. O calor transfere-se entre o corpo humano e o ambiente até que se estabeleça equilíbrio (46);
- A temperatura média radiante, expressa a influência da temperatura no corpo humano, sendo que o pé-direito, a postura e orientação do ocupante são fatores que influenciam o seu valor (47);
- A velocidade do ar, expressa os efeitos de evaporação da pele que por sua vez se traduzem numa redução de calor do corpo (46);

- A humidade relativa afeta a velocidade com que a evaporação da pele ocorre (46);
- As variáveis individuais, expressas através do metabolismo (atividade do ocupante) e do vestuário do ocupante (46).

O método de cálculo para estimar o conforto térmico, que recorre ao *PMV* (*predicted mean vote* ou voto médio estimado) e ao *PPD* (*predicted percentage of dissatisfied* ou percentagem previsível de insatisfeitos sobrestima a sensação de conforto térmico, particularmente para temperaturas altas sentidas por crianças.

Dado que este método foi desenvolvido considerando adultos, existem diferenças entre os valores obtidos para as crianças e os adultos. O metabolismo é um fator determinante que necessita de ser corrigido para crianças, sendo que, este processo pode gerar erros uma vez que não existe correlação linear entre peso/área de superfície do corpo e taxa metabólica (48).

Este modelo de estimativa de conforto térmico não podem ser aplicado a escolas dado que os resultados obtidos por estes métodos não correspondem ao observado *in situ*, sendo assim necessário recorrer a questionários para se obter resultados mais exatos, contudo, este método não foi aplicado durante o estágio, pois, seria necessário que os encarregados de educação dos alunos autorizassem o inquérito, um processo lento, mas que resultaria em resultados mais próximos do desconforto relatado pelos ocupantes.

4.1.10 Análise das medições

Em todas as medições realizadas salienta-se que os envidraçados encontravam-se abertos com dois estores de rolo colocados de forma a mitigar o calor do espaço devido à exposição solar. Também se observou que o sistema de renovação do ar interior nem sempre se encontrava em funcionamento ou que o ar expelido pelo mesmo era quente. Este sistema é composto apenas por ventiladores que impulsionam e extraem o ar através de uma rede aerólica (condutas).



Figura 4.43 – Sistema de renovação do ar interior.

Na medição da Sala União encontravam-se na sala duas ventoinhas de pé para circular o ar, mitigando assim o calor percebido pelos ocupantes. Saliente-se que os envidraçados se sentiam como frescos ao toque, sendo assim possível inferir que a sua temperatura superficial não seria muito elevada, evidenciando o bom comportamento dos envidraçados ao corte térmico.

Não existem dispositivos de sombreamento incorporados na arquitetura do edifício, sendo que as salas se encontram sujeitas a períodos longos de insolação solar, particularmente as salas que se encontram voltadas a sudeste.

Observa-se nas medições os níveis elevados de concentração de dióxido de carbono, quando os alunos se encontram presentes na sala, assim como os valores de temperatura entre 23.3°C e 25.9°C, valores elevados para crianças, sendo possível inferir que existe ventilação insuficiente, sendo necessário melhorar este aspeto do comportamento higrotérmico do compartimento.

Uma possível solução para a correção do conforto térmico, seria a introdução de um sistema AVAC com *chiller* ou ar condicionado. Esta solução, pelo contacto com os representantes da escola, parece ser aquela que suscita maior interesse e pode ser efetivamente uma solução viável, contudo é também uma solução energeticamente “pobre”, com custos energéticos e financeiros significativos, sendo assim mais viável procurar uma solução passiva, sendo primeiramente necessário uma vistoria do sistema inicialmente instalado para assegurar o correto funcionamento do mesmo (39).

Este problema pode também ser mitigado com recurso a boas práticas tais como: em períodos de ausência dos ocupantes, abrir portas e janelas de forma a criar uma ventilação cruzada (varrimento) do espaço (49).

4.2 ESCOLA DA BARRANHA

No âmbito do estágio realizado no Departamento de Conservação – Divisão de Edifícios Municipais da Câmara Municipal de Matosinhos foi realizada uma visita à EBI da Barranha, sito na Av. Vasco da Gama s/n, 4460-432, Sra. Da Hora, na visita realizada a 17 de maio de 2019. O estabelecimento de ensino apresenta algumas anomalias que serão abordadas neste relatório.



Figura 4.44 – Escola da Barranha.

4.2.1 Caracterização do local em estudo

Dos dois pavilhões que constituem o estabelecimento de ensino, a vistoria foi realizada unicamente no Bloco A, sendo que o mesmo é o que alberga instalações sanitárias, salas de aula, biblioteca, pavilhão desportivo, arrumos, administração e apresentava anomalias.

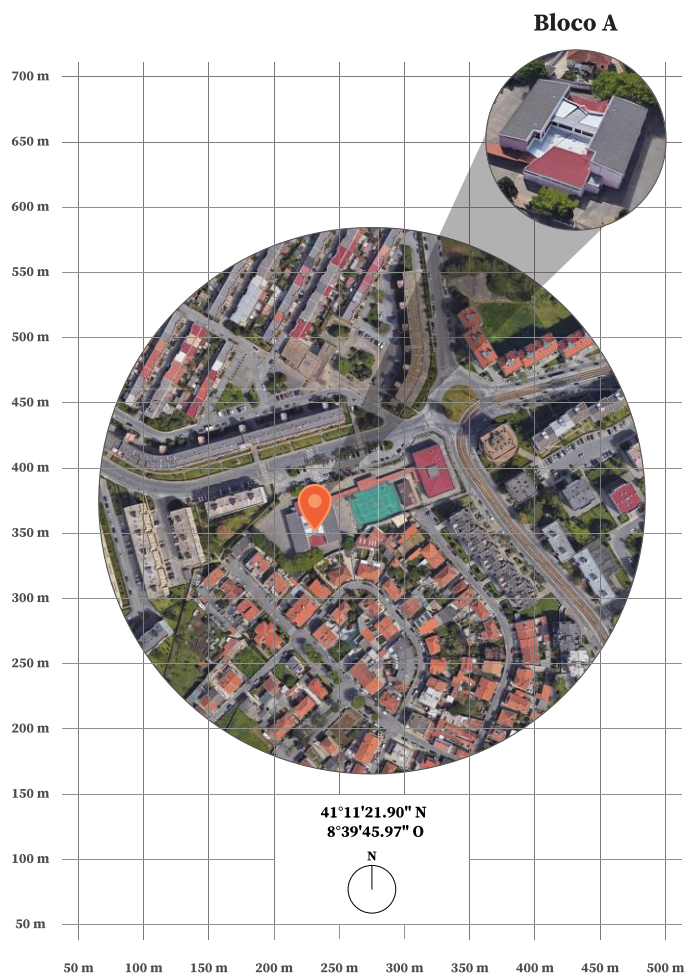
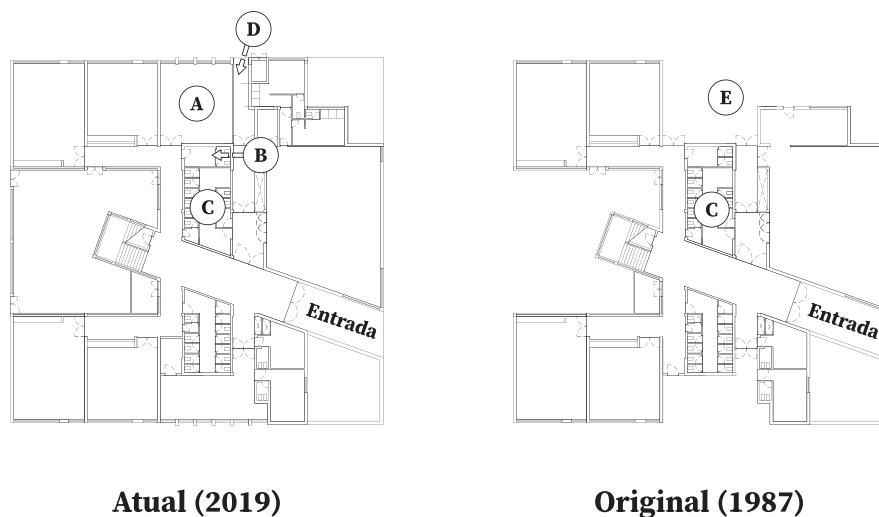


Figura 4.45 – Localização esquemática do bloco A da Escola da Barranha (Fonte (43)).

Como evidenciado na Figura 4.46, existem diferenças entre o edifício atual e o projeto original de 1987, nomeadamente a adição de novas divisões. Para aumentar o número de salas, os recreios cobertos foram fechados, como ilustra a Figura 4.46 onde se pode observar que o recreio coberto designado pela letra E, presente na planta de 1987, é atualmente a sala de aula designada pela letra A, sendo que esta alteração interrompeu o fluxo de ventilação do interior dos sanitários, designado pela letra C, para o exterior.



- | | |
|---|--|
| A Sala de aula/sala de música | D Arrumos de materiais (tintas e ferramentas) |
| B Arrumos de produtos de limpeza | E Espaço exterior |
| C Instalações sanitárias | |

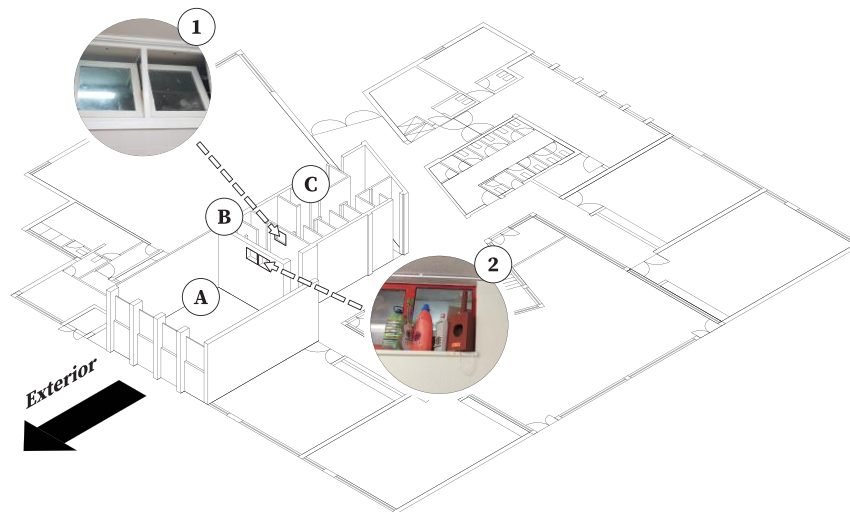
Figura 4.46 – Planta do Bloco A (Adaptado de projetos Fornecidos CMM).

4.2.2 Observação de anomalias nas instalações sanitárias, arrumos e sala de aula

Como se observa na planta do Bloco A (Figura 4.47), não existe forma de ventilação (natural ou mecânica) das instalações sanitárias (Divisão C).

Atualmente estas instalações sanitárias possuem envidraçados interiores que fazem fronteira com os arrumos adjacentes (identificados com a letra B na Figura 4.47). No projeto de arquitetura elaborado em 1987, os envidraçados (Figura 4.49), encontravam-se em contato com o exterior o que permitia a ventilação do espaço, como evidencia a Figura 4.47.

Também na visita realizada não foi possível identificar nenhuns elementos que permitissem a ventilação, tais como grelhas ou condutas.



- 1** Envidraçados entre a divisão divisão C (instalações sanitárias) e a divisão B (arrumos)
- 2** Envidraçados entre a divisão divisão B (arrumos) e a divisão A (sala de aula/sala de música)
- A** Sala de aula/sala de música
- B** Arrumos de produtos de limpeza
- C** Instalações sanitárias

Figura 4.47 – Diagrama das áreas em estudo (Divisão A, B e C) (Adaptado de projetos da CMM).

A Divisão B (arrumos) é utilizada para armazenar produtos de limpeza e devido à ineficácia ou inexistência da ventilação, é possível sentir-se um forte aroma, não desejável, que provém dos produtos de limpeza neste armazenados. Na Divisão C (instalações sanitárias), também se tem sensação de “ar pesado”.

De salientar que a porta da Divisão B (arrumos) também não possui qualquer tipo de ventilação (como uma grelha) como se observa na Figura 4.50.



Figura 4.48 – Envidraçados entre a Divisão A (sala de aula) e Divisão B (arrumos).



Figura 4.49 – Envidraçados entre a Divisão B (arrumos) e Divisão C (instalações sanitárias).



Figura 4.50 – Porta da Divisão B (arrumos).

Denote-se que existe também uma caixa de saneamento dentro da sala de aula, um elemento que no projeto original também se encontrava no exterior.



Figura 4.51 – Caixa de saneamento presente na sala de aula (Divisão A).

4.2.3 Observação de anomalias nos arrumos de materiais (Divisão D)

A Divisão D (arrumos de materiais) também possui ventilação insuficiente, existindo um envidraçado (Figura 4.52) para o interior do edifício encontrando-se este em contato com um balneário adjacente que, de acordo com a informação obtida aquando a visita, raramente é utilizado para banhos. Denota-se que não se observou a presença de anomalias nos balneários.

Esta divisão também não se encontra no projeto de arquitetura original como se observa na planta de 1987 evidenciada na Figura 4.46. Também nestes arrumos se sente um forte odor proveniente dos materiais (tintas e colas) armazenados.

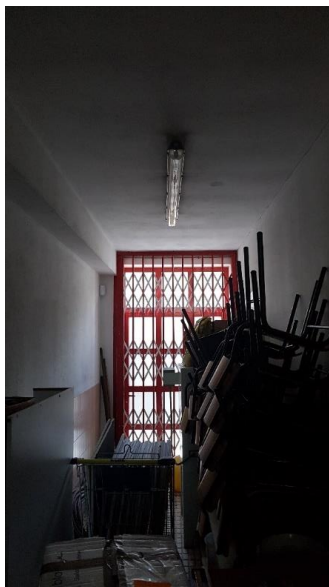


Figura 4.52 – Divisão D (arrumos de materiais) e envidraçados para zona interior (balneário).

4.2.4 Notas sobre as observações

Apesar de não ser uma questão abordada pelo estagiário, foi também possível observar outras anomalias que provavelmente advêm de problemas na cobertura, do edifício (Figura 4.53). Existem também alguns elementos, que devido às intervenções do edifício, se encontram atualmente no interior da escola (Figura 4.54).



Figura 4.53 – Humidade no Piso 1.



Figura 4.54 – Tubo de queda presente no interior do edifício.

Observa-se que as áreas em análise possuem uma ventilação fraca o que se repercute numa sensação de “ar pesado”. De salientar que, aquando a visita, as funcionárias responsáveis pela limpeza dos espaços informaram que os mesmos são limpos frequentemente, o que permite inferir que a má qualidade do ar interior sentida poderia ser melhorada com ventilação mais eficaz.

Nestas circunstâncias propõe-se a abertura das janelas destes espaços (envidraçados e portas), para promover a ventilação dos espaços, contudo dado que o estabelecimento possui jardim escola (alunos com idades compreendidas entre 3 a 8 anos) a abertura deste espaço de armazenamento de produtos de limpeza, potencialmente perigosos, não é aconselhável.

Propõe-se assim a instalação de um sistema de ventilação semelhante ao da Figura 4.55. Este sistema pode ventilar para o exterior através da sala de aula, contudo esta solução é merecedora de algumas considerações, dado que a sala é utilizada para aulas de música e o ruído proveniente da extração pode ser incomodativo.

A tubagem associada à ventilação também pode ser realizada através do Piso 1 do edifício, sendo que esta solução também deve ser analisada em pormenor para que a tubagem emergente no Piso 1 se encontre numa posição apropriada.



Figura 4.55 – Exemplo de sistema de ventilação, instalado noutra compartimento da escola.

Apesar de ser possível melhorar os meios de ventilação, a reabilitação de todo o edificado escolar é a solução a adotar a longo prazo, podendo-se aplicar uma arquitetura e soluções de construção passivas que privilegiem o funcionamento da ventilação transversal por meios naturais.

Teria sido interessante monitorizar alguns parâmetros associados ao desempenho termo-higrométrico dos edifícios, tais como a concentração de dióxido de carbono, a temperatura interior e exterior e a humidade relativa, para validar as sensações subjetivas associadas à definição de “ar pesado” e para aferir as condições de conforto interior. Tal não foi possível porque não se encontrava previsto nesta fase a realização de medições, apenas a vistoria para confirmar a deficiente ventilação, contudo seria de prever que a má ventilação dos compartimentos em estudo influenciaria negativamente os valores medidos.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

A realização deste trabalho inserido em ambiente empresarial conferiu ao estagiário uma visão real do trabalho executado por uma empresa pública cujo objetivo é proporcionar o bem-estar dos ocupantes dos edifícios a seu encargo, conservando e reabilitando os mesmos.

Os principais objetivos do estágio foram alcançados, tendo havido uma grande aquisição de conhecimentos através do contacto com o setor da construção civil, particularmente, no que respeita à manutenção, conservação e reabilitação dos edifícios.

É notório o impacto que um edifício tem no bem-estar dos seus ocupantes, evidenciando o quão importante o comportamento higrométrico do mesmo é, particularmente quando se trata de edifícios escolares, pois os seus ocupantes são crianças.

Admite-se que os casos de estudo são exemplos que possuem soluções tangíveis de serem executadas, dado que as origens de grande parte das anomalias observadas aparentam ser conhecidas, como a colocação de dispositivos de sombreamento e melhoria das condições de ventilação. Nos casos em que o edifício possui um estado de conservação indesejável, a reabilitação integral do mesmo poderá ser a única alternativa possível.

Salienta-se então a importância da boa conservação e da reabilitação, considerando o bem-estar dos ocupantes, bem como os custos e encargos que o edifício pode acarretar. Deverão ser consideradas, por exemplo para as escolas, soluções passivas, mitigando os custos energéticos e assegurando uma harmonia termo-higrométrica holística, ao nível da térmica, higrometria e qualidade do ar interior, sendo evidente o impacto que este comportamento tem nos seus ocupantes, pois muitas vezes em paralelo com o desconforto surge o mau aproveitamento académico, profissional e problemas de saúde.

Edifícios dotados de características passivas providenciarão aos seus ocupantes espaços melhores para o desenvolvimento das suas atividades, e se os seus ocupantes adotarem um comportamento sinérgico aliando práticas de boa utilização com as características passivas dos edifícios, o estado de conservação dos mesmos permanecerá satisfatório durante mais tempo.

Em suma, a conservação não consiste apenas numa operação destinada a restabelecer um nível de serviço satisfatório e a prolongar o período de vida útil de uma estrutura, consiste na sua essência em satisfazer as exigências de conforto e de higiene ambiental dos ocupantes e o uso de recursos energéticos de forma sustentável.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

De futuro, seria interessante que a legislação e normas fossem bastante claras e distintas na definição de valores de conforto e qualidade de ar interior para as escolas, com um estudo das condições climáticas e geometria solar, para que se compreenda como estes valores possam ser melhorados e atingidos em fase de conceção, ou seja deveria ser imposta uma arquitetura bioclimática sustentável com baixo uso de recursos energéticos.



Figura 5.1 – Projeto Casa em Movimento como exemplo de arquitetura bioclimática em Matosinhos (Fonte (50)).

Seria vantajoso definir um guia de boas práticas para cada edifício, conjugando a sua conceção com a sua utilização. A monitorização e a instrumentação também poderiam ser utilizadas na avaliação do conforto termo-higrométrico, com a instalação de sensores de temperatura, humidade relativa e qualidade do ar nos compartimentos, um dispositivo do tipo *hub*, com a informação fornecida pelos sensores poderia sugerir comportamentos que melhorassem as características em análise, como por exemplo abrir uma janela para ventilar o espaço, sendo que o dispositivo *hub* poderia aprender com as decisões de aceitar ou rejeitar as sugestões comportamentais e atuar autonomamente, de acordo com as preferências dos ocupantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Direção Municipal de Ambiente, Equipamentos e Investimentos. [CM Matosinhos]. [Consult. 21 Mai. 2019]. Disponível na WWW:<URL:<http://www.cm-matosinhos.pt/pages/35>>.
- (2) TALAIA, Mário ; SILVA, Marta – **Ambiente térmico de sala de aula pode condicionar o desenvolvimento de competências e avaliação de alunos**. Coimbra : Imprensa da Universidade de Coimbra RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, 2014. ISBN 978-989-96253-3-4.
- (3) Wöhler CDL 210 CO2-Datalogger | Wöhler Messgeräte Kehrgeräte GmbH. [Consult. 29 Set. 2019]. Disponível na WWW:<URL:<https://www.woehler-international.com/shop/cdl-210-co2-datalogger.html>>.
- (4) PEIXOTO DE FREITAS, Vasco ; SOUSA, Marília. 2018, Parecer sobre as infiltrações através das coberturas do edifício da biblioteca e da galeria municipal de Matosinhos. Porto : Professor Engenheiro Vasco Peixoto De Freitas Lda.
- (5) NEVES, Francisca Andrea Da Silva Oliveira – **Estudo do comportamento térmico de edifícios de habitação segundo o RCCTE e o REH**. Porto : Instituto Superior de Engenharia do Politécnico do Porto, 2013. Dissertação de Mestrado.
- (6) MAGALHÃES, Ana Cristina ; VEIGA, M. Rosário – **Patologia de rebocos antigos**. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2002.
- (7) MONTEIRO, Ludmila Moreno – **Levantamento das condições de habitabilidade e caracterização higrométrica de edifícios de pequeno porte em Bragança**. Bragança : Instituto Politécnico de Bragança, 2016. Dissertação de Mestrado.
- (8) NEVES, Fábio André Alves – **Reabilitação Termo Higrométrica de Edifícios de Estabelecimentos de Ensino construídos entre as décadas de 60 e 90**. Porto : Instituto Superior de Engenharia do Politécnico do Porto, 2013. Dissertação de Mestrado.
- (9) PINHO, Fernando – **Paredes de Edifícios Antigos em Portugal**. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2008. ISBN 978-972-49-1864-8.
- (10) CÓIAS, Vítor – **Inspecções e ensaios: na reabilitação de edifícios**. Lisboa : IST - Instituto Superior Técnico, 2008. ISBN 978-972-8469-53-5.
- (11) STRAUBE, John – Moisture in Buildings. *ASHRAE Journal* Vol. 44, (2002), 19.
- (12) TORRES, Rui Jorge De Morais Monteiro – **Humidades Ascensionais Em Paredes de Alvenaria de Edifícios Antigos**. Lisboa : Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2014. Dissertação de Mestrado.
- (13) VIEGAS, João Carlos – **Ventilação Natural de Edifícios de Habitação**. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010. ISBN 978-972-49-1671-2.

- (14) DECRETO-LEI n.º 118/2013. D.R. I Série. 159 (13-08-20) 4988–5005.
- (15) HENRIQUES, Fernando – **Humidade em Paredes**. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil Divisão de Divulgação Científica e Técnica, 2007. ISBN 978-972-49-1592-0.
- (16) LUSO, Eduarda – **Contribuição para intervenções no centro histórico de Bragança**. Braga : Universidade do Minho, 2002. Dissertação de Mestrado.
- (17) PECHINCHA, João Pedro Da Silva – **Avaliação do impacte das pontes térmicas no desempenho térmico dos edifícios do Campus da FCT/UNL – análise experimental**. Lisboa : Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa, 2011. Dissertação de Mestrado.
- (18) ISO 7730. 2015, 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. Geneva, Switzerland : ISO Central Secretariat. pp. 2–25.
- (19) LOPES, Ricardo França – **Condições de Conforto Térmico na Construção de Edifícios**. Porto : Universidade do Porto, 2008. Dissertação de Mestrado.
- (20) RINCÓN, Julio *et al.* – Thermal comfort indoors: A factor that influences the environmental perception of the occupants (Case study: Student community of the Autonomous University of Baja California). Modern Journal of Language Teaching Methods (MJLTM) . ISSN 2251-6204. Vol. 7, nº 8 (2017), 405–412.
- (21) PEREIRA, Fernando Pedro Fernandes – **Avaliação do Comportamento dos Ocupantes no Desempenho Higrotérmico em Edifícios Residenciais**. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2018. Tese de Doutoramento.
- (22) YANNAS, Simos – **Solar Energy and Housing Design: Examples**. [s.l.] : Architectural Association, 1994. ISBN 978-1-870890-37-3.
- (23) KREIDER, Jan F. ; CURTISS, Peter S. ; RABL, Ari – **Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency, Revised Second Edition**. [s.l.] : CRC Press, 2009. ISBN 978-1-4398-8250-4.
- (24) MCCULLOUGH, Elizabeth A. ; JONES, Byron W. – **A Comprehensive Data Base for Estimating Clothing Insulation: Final Project Report Submitted to the American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc**. Kansas, USA : Institute for Environmental Research, Kansas State University, 1984.
- (25) FANGER, Povl Ole – **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. New York : McGraw-Hill Book Company, 1970. ISBN 978-0-07-019915-6.
- (26) SARBU, Ioan ; SEBARCHIEVICI, Calin – Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings. Energy and Buildings Vol. 60, (2013), [Consult. 22 Abr. 2019]. Disponível na WWW:<URL:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881300073X>>. ISSN 0378-7788.
- (27) BERNARDES, Ângela Cristina Da Cruz – **Análise dos métodos de auditoria à qualidade do ar interior: RSECE**. Aveiro : Universidade de Aveiro, 2009. Dissertação de Mestrado.
- (28) PARQUE ESCOLAR – **MANUAL DE PROJECTO: ARQUITECTURA**. [s.l.] : [s.n.], 2009.
- (29) CLÉRIGO, Vítor Hugo De Oliveira – **Ventilação mista em edifícios de habitação**. Lisboa : Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015. Dissertação de Mestrado.

- (30) RUAS, Álvaro César – **Avaliação de conforto térmico: contribuição a aplicação pratica das normas internacionais**. Campinas, Brazil : UNICAMP, 1999. Dissertação de Mestrado.
- (31) NUNES, João Alberto Amorim – **Reabilitação do ponto de vista térmico de fachadas no centro histórico do Porto**. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Dissertação de Mestrado.
- (32) SOARES, Liliana Mafalda Nunes – **Reabilitação térmica de fachadas**. Porto : Instituto Superior de Engenharia do Politécnico do Porto, 2014. Dissertação de Mestrado.
- (33) CAMPOS, Ana Catarina Pires Simões Ferreira De – **Parâmetros de Conforto e Desempenho Térmico em lares de idosos: um estudo na sede da Santa Casa de Misericórdia de Castelo Branco**. Castelo Branco : Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco, 2016. Dissertação de Mestrado.
- (34) Portal Educação - Artigo. [Consult. 7 Abr. 2019]. Disponível na WWW:<URL:https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/nutricao/termorregulacao/39708>.
- (35) Vidros de Isolamento Térmico Reforçado. [Monteiros]. [Consult. 22 Abr. 2019]. Disponível na WWW:<URL:http://www.monteiros.pt/caixilharia/produtos/vidros/>.
- (36) MUNSHI, Sayan – SHADING DEVICES AND ITS UTILIZATION. [curator hall]. [Consult. 23 Mai. 2019]. Disponível na WWW:<URL:https://curatorhall.wordpress.com/2015/10/20/shading-devices-and-its-utilization/>.
- (37) CORREIA, João Tiago De Jesus Martins – **Avaliação da higroscopicidade de materiais correntes**. Lisboa : Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2013. Dissertação de Mestrado.
- (38) ROCHA, Douglas – Análise das potencialidades de utilização da inércia higroscópica em edifícios. (2016), [Consult. 8 Out. 2019]. Disponível na WWW:<URL:https://run.unl.pt/handle/10362/20374>.
- (39) MARQUES, Luís Filipe Batista – **Avaliação Técnico-Económica de Sistemas de AVAC**. Coimbra : Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2011. Trabalho de Projecto.
- (40) CÂNDIDO, Christhina ; BITTENCOURT, Leonardo – **Introdução à ventilação natural**. Alagoas, Brasil : EDUFAL, 2008. ISBN 978-85-7177-233-5.
- (41) CORVACHO, Maria Helena – Condensações em Edifícios 1999.
- (42) DECRETO-LEI n.º Portaria 353-A/2013. D.R. Série. (13-12-04)
- (43) GOOGLE – Google Maps. [Google Maps]. [Consult. 30 Mai. 2019]. Disponível na WWW:<URL:www.google.pt/maps>.
- (44) CEDAR LAKE VENTURES, INC. – Clima característico em São Mamede de Infesta. [Weather Spark]. [Consult. 14 Out. 2019]. Disponível na WWW:<URL:https://pt.weatherspark.com/y/32382/Clima-caracter%C3%ADstico-em-S%C3%A3o-Mamede-de-Infesta-Portugal-durante-o-ano>.
- (45) WÖHLER – **Manual de instruções do aparelho WÖHLER CDL 210**. [s.l.] : [s.n.],

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (46) EKICI, Can – A review of thermal comfort and method of using Fanger's PMV equation. (2013), 61–64.
- (47) Mean Radiant Temperature | Indoor Environmental Quality with Energy Efficiency. [Consult. 3 Out. 2019]. Disponível na WWW:<URL:<http://www.healthyheating.com/Definitions/Mean%20Radiant.htm#.XZU9PEZKjAQ>>.
- (48) HADDAD, Shamila ; OSMOND, Paul ; KING, Steve – Metabolic rate estimation in the calculation of PMV for children. (2013),
- (49) LUCAS, Paula – **Ventilação Natural em Edifícios**. Guarda : Escola Superior de Tecnologia e Gestão – Instituto Politécnico da Guarda, 2011. Relatório de Estágio.
- (50) CÂMARA MUNICIPAL DE MATOSINHOS – Living Lab. [CM Matosinhos]. [Consult. 12 Out. 2019]. Disponível na WWW:<URL:http://www.cm-matosinhos.pt/pages/242?news_id=5080>.

ANEXO – GEOMETRIA SOLAR

Registro			Altitude	Azimute
07/06/2019	Sexta	15:23	50.04°	-104.19°
07/06/2019	Sexta	15:24	49.86°	-103.97°
07/06/2019	Sexta	15:25	49.68°	-103.75°
07/06/2019	Sexta	15:26	49.50°	-103.54°
07/06/2019	Sexta	15:27	49.31°	-103.32°
07/06/2019	Sexta	15:28	49.13°	-103.11°
07/06/2019	Sexta	15:29	48.95°	-102.89°
07/06/2019	Sexta	15:30	48.76°	-102.68°
07/06/2019	Sexta	15:31	48.58°	-102.47°
07/06/2019	Sexta	15:32	48.40°	-102.26°
07/06/2019	Sexta	15:33	48.21°	-102.05°
07/06/2019	Sexta	15:34	48.03°	-101.84°
07/06/2019	Sexta	15:35	47.85°	-101.64°
07/06/2019	Sexta	15:36	47.66°	-101.43°
07/06/2019	Sexta	15:37	47.48°	-101.23°
07/06/2019	Sexta	15:38	47.29°	-101.02°
07/06/2019	Sexta	15:39	47.11°	-100.82°
07/06/2019	Sexta	15:40	46.92°	-100.62°
07/06/2019	Sexta	15:48	45.44°	-99.03°
07/06/2019	Sexta	15:49	45.26°	-98.84°
07/06/2019	Sexta	15:50	45.07°	-98.64°
07/06/2019	Sexta	15:51	44.88°	-98.45°
07/06/2019	Sexta	15:52	44.70°	-98.26°
07/06/2019	Sexta	15:53	44.51°	-98.07°
07/06/2019	Sexta	15:54	44.33°	-97.88°
07/06/2019	Sexta	15:55	44.14°	-97.69°

Registro			Altitude	Azimute
07/06/2019	Sexta	15:56	43.95°	-97.50°
07/06/2019	Sexta	15:57	43.77°	-97.31°
07/06/2019	Sexta	15:58	43.58°	-97.12°
07/06/2019	Sexta	15:59	43.39°	-96.94°
07/06/2019	Sexta	16:00	43.21°	-96.75°
07/06/2019	Sexta	16:01	43.02°	-96.57°
07/06/2019	Sexta	16:05	42.27°	-95.83°
07/06/2019	Sexta	16:06	42.09°	-95.65°
07/06/2019	Sexta	16:07	41.90°	-95.47°
07/06/2019	Sexta	16:08	41.71°	-95.29°
07/06/2019	Sexta	16:09	41.52°	-95.11°
07/06/2019	Sexta	16:10	41.34°	-94.93°
07/06/2019	Sexta	16:15	40.40°	-94.04°
07/06/2019	Sexta	16:16	40.21°	-93.87°
07/06/2019	Sexta	16:17	40.02°	-93.69°
07/06/2019	Sexta	16:18	39.84°	-93.52°
07/06/2019	Sexta	16:19	39.65°	-93.35°
07/06/2019	Sexta	16:20	39.46°	-93.17°
07/06/2019	Sexta	16:21	39.27°	-93.00°
07/06/2019	Sexta	16:22	39.09°	-92.83°
07/06/2019	Sexta	16:23	38.90°	-92.65°
07/06/2019	Sexta	16:24	38.71°	-92.48°
07/06/2019	Sexta	16:25	38.52°	-92.31°
21/06/2019	Sexta	11:47	63.19°	124.05°
21/06/2019	Sexta	12:47	70.70°	154.14°
21/06/2019	Sexta	13:47	71.56°	-162.49°
21/06/2019	Sexta	14:47	65.06°	-128.93°
21/06/2019	Sexta	15:47	55.18°	-109.42°
21/06/2019	Sexta	16:47	44.19°	-96.52°
21/06/2019	Sexta	17:47	32.93°	-86.38°
21/06/2019	Sexta	18:47	21.78°	-77.30°
21/06/2019	Sexta	19:47	11.05°	-68.36°

Registo			Altitude	Azimute
21/06/2019	Sexta	20:47	1.24°	-58.97°
21/06/2019	Sexta	21:47	Noite	Noite
21/06/2019	Sexta	22:47	Noite	Noite
21/06/2019	Sexta	23:47	Noite	Noite
22/06/2019	Sábado	00:47	Noite	Noite
22/06/2019	Sábado	01:47	Noite	Noite
22/06/2019	Sábado	02:47	Noite	Noite
22/06/2019	Sábado	03:47	Noite	Noite
22/06/2019	Sábado	04:47	-0.86°	56.90°
22/06/2019	Sábado	05:47	8.89°	66.45°
22/06/2019	Sábado	06:47	19.49°	75.43°
22/06/2019	Sábado	07:47	30.57°	84.42°
22/06/2019	Sábado	08:47	41.84°	94.24°
22/06/2019	Sábado	09:47	52.92°	106.35°
22/06/2019	Sábado	10:47	63.15°	123.97°
22/06/2019	Sábado	11:47	70.68°	153.99°
22/06/2019	Sábado	12:47	71.57°	-162.65°
22/06/2019	Sábado	13:47	65.09°	-129.03°
22/06/2019	Sábado	14:47	55.22°	-109.48°
22/06/2019	Sábado	15:47	44.23°	-96.56°
22/06/2019	Sábado	16:47	32.97°	-86.41°
22/06/2019	Sábado	17:47	21.83°	-77.33°
22/06/2019	Sábado	18:47	11.09°	-68.40°
22/06/2019	Sábado	19:47	1.27°	-59.01°
22/06/2019	Sábado	20:47	Noite	Noite
22/06/2019	Sábado	21:47	Noite	Noite
22/06/2019	Sábado	22:47	Noite	Noite
22/06/2019	Sábado	23:47	Noite	Noite
23/06/2019	Domingo	00:47	Noite	Noite
23/06/2019	Domingo	01:47	Noite	Noite
23/06/2019	Domingo	02:47	Noite	Noite
23/06/2019	Domingo	03:47	Noite	Noite

Registro			Altitude	Azimute
23/06/2019	Domingo	04:47	-0.91°	56.87°
23/06/2019	Domingo	05:47	8.84°	66.42°
23/06/2019	Domingo	06:47	19.44°	75.41°
23/06/2019	Domingo	07:47	30.53°	84.40°
23/06/2019	Domingo	08:47	41.79°	94.21°
23/06/2019	Domingo	09:47	52.88°	106.30°
23/06/2019	Domingo	10:47	63.11°	123.89°
23/06/2019	Domingo	11:47	70.65°	153.86°
23/06/2019	Domingo	12:47	71.58°	-162.81°
23/06/2019	Domingo	13:47	65.12°	-129.13°
23/06/2019	Domingo	14:47	55.25°	-109.54°
23/06/2019	Domingo	15:47	44.27°	-96.61°
23/06/2019	Domingo	16:47	33.01°	-86.46°
23/06/2019	Domingo	17:47	21.86°	-77.37°
23/06/2019	Domingo	18:47	11.12°	-68.44°
23/06/2019	Domingo	19:47	1.30°	-59.05°
23/06/2019	Domingo	20:47	Noite	Noite
23/06/2019	Domingo	21:47	Noite	Noite
23/06/2019	Domingo	22:47	Noite	Noite
23/06/2019	Domingo	23:47	Noite	Noite
24/06/2019	Segunda	00:47	Noite	Noite
24/06/2019	Segunda	01:47	Noite	Noite
24/06/2019	Segunda	02:47	Noite	Noite
24/06/2019	Segunda	03:47	Noite	Noite
24/06/2019	Segunda	04:47	-0.96°	56.84°
24/06/2019	Segunda	05:47	8.79°	66.40°
24/06/2019	Segunda	06:47	19.39°	75.39°
24/06/2019	Segunda	07:47	30.48°	84.38°
24/06/2019	Segunda	08:47	41.74°	94.18°
24/06/2019	Segunda	09:47	52.83°	106.27°
24/06/2019	Segunda	10:47	63.07°	123.83°
24/06/2019	Segunda	11:47	70.62°	153.73°

Registo			Altitude	Azimute
24/06/2019	Segunda	12:47	71.57°	-162.98°
24/06/2019	Segunda	13:47	65.14°	-129.25°
24/06/2019	Segunda	14:47	55.28°	-109.62°
24/06/2019	Segunda	15:47	44.30°	-96.67°
24/06/2019	Segunda	16:47	33.04°	-86.51°
24/06/2019	Segunda	17:47	21.90°	-77.42°
24/06/2019	Segunda	18:47	11.15°	-68.48°
24/06/2019	Segunda	19:47	1.32°	-59.10°
24/06/2019	Segunda	20:47	Noite	Noite
24/06/2019	Segunda	21:47	Noite	Noite
24/06/2019	Segunda	22:47	Noite	Noite
24/06/2019	Segunda	23:47	Noite	Noite
25/06/2019	Terça	00:47	Noite	Noite
25/06/2019	Terça	01:47	Noite	Noite
25/06/2019	Terça	02:47	Noite	Noite
25/06/2019	Terça	03:47	Noite	Noite
25/06/2019	Terça	04:47	-1.02°	56.82°
25/06/2019	Terça	05:47	8.74°	66.38°
25/06/2019	Terça	06:47	19.34°	75.37°
25/06/2019	Terça	07:47	30.42°	84.36°
25/06/2019	Terça	08:47	41.68°	94.17°
25/06/2019	Terça	09:47	52.78°	106.24°
25/06/2019	Terça	10:47	63.02°	123.78°
25/06/2019	Terça	11:47	70.58°	153.60°
25/06/2019	Terça	12:47	71.57°	-163.16°
25/06/2019	Terça	13:47	65.15°	-129.38°
25/06/2019	Terça	14:47	55.31°	-109.71°
25/06/2019	Terça	15:47	44.33°	-96.73°
25/06/2019	Terça	16:47	33.07°	-86.56°
25/06/2019	Terça	17:47	21.92°	-77.47°
25/06/2019	Terça	18:47	11.18°	-68.53°
25/06/2019	Terça	19:47	1.34°	-59.15°

Registo			Altitude	Azimute
25/06/2019	Terça	20:47	Noite	Noite
25/06/2019	Terça	21:47	Noite	Noite
25/06/2019	Terça	22:47	Noite	Noite
25/06/2019	Terça	23:47	Noite	Noite
26/06/2019	Quarta	00:47	Noite	Noite
26/06/2019	Quarta	01:47	Noite	Noite
26/06/2019	Quarta	02:47	Noite	Noite
26/06/2019	Quarta	03:47	Noite	Noite
26/06/2019	Quarta	04:47	-1.09°	56.80°
26/06/2019	Quarta	05:47	8.69°	66.37°
26/06/2019	Quarta	06:47	19.28°	75.36°
26/06/2019	Quarta	07:47	30.36°	84.35°
26/06/2019	Quarta	08:47	41.63°	94.16°
26/06/2019	Quarta	09:47	52.72°	106.23°

