



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vera Lúcia Rodrigues Pinto

Reabilitação Integrada de um Edifício Visando
a Melhoria da Qualidade do Ambiente Interior



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vera Lúcia Rodrigues Pinto

Reabilitação Integrada de um Edifício Visando
a Melhoria da Qualidade do Ambiente Interior

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Sandra Monteiro da Silva

Julho de 2014

Agradecimentos

Aos meus pais e aos meus irmãos, por todo o apoio, esforço e paciência ao longo de todo este percurso universitário. Sem dúvida, que sem eles nada disto seria possível.

À minha orientadora, Professora Doutora Sandra Silva, pela disponibilidade e acompanhamento demonstrados, ao longo desta jornada.

Aos proprietários das duas habitações estudadas, pela colaboração e disponibilidade.

Ao Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho, pela colaboração e empréstimo dos equipamentos utilizados.

À Cátia Barros, ao Pedro Gonçalves e à Andreia Martins por toda a ajuda, disponibilidade e apoio durante a realização desta dissertação.

Os meus sinceros agradecimentos.

Resumo

No setor habitacional, a qualidade dos edifícios e o grau de conforto dos ocupantes tem aumentado particularmente nos últimos anos. Porém, este nível mais elevado de conforto manifesta-se geralmente num acréscimo de investimento e num maior consumo de energia, que representa uma parcela significativa nas despesas de um lar.

Assim, é urgente integrar princípios de racionalização de energia nos edifícios novos e nos que necessitam de obras de reabilitação, para evitar que os consumos energéticos aumentem drasticamente.

O conforto no interior dos edifícios é ditado pelas soluções selecionadas para a sua construção. Para assegurar uma qualidade do ar interior dos edifícios, um bom comportamento térmico e acústico e suficientes condições de iluminação natural é necessário selecionar sistemas construtivos e materiais de construção que otimizem o conforto dos ocupantes e reduzam os consumos energéticos.

Com este trabalho pretende-se propor soluções de reabilitação para edifícios selecionados, de maneira a otimizar as condições globais de conforto através dos principais parâmetros que afetam a qualidade do ambiente interior.

O estudo foi feito em dois edifícios, um construído antes de 1990 (entrada em vigor do primeiro regulamento térmico português) e outro construído depois de 1990 e antes de 2006 (entrada em vigor do segundo regulamento térmico português).

Assim, realizou-se uma análise multicritério de algumas soluções construtivas para selecionar a que melhor se adequa às exigências definidas, conforto e eficiência energética, complementada com uma análise de custos da sua implementação.

Palavras-chave: Qualidade do ambiente interior; Eficiência energética; Reabilitação; Sustentabilidade

Abstract

In the housing sector, the quality of buildings and the degree of occupant comfort has increased particularly in recent years. However, this higher level of comfort usually manifests itself in increased investment and in a higher energy consumption, which represents a significant portion in the expenses of home.

Thus, it is urgent to integrate the principles of energy conservation in new buildings and in need of rehabilitation works to prevent the increase on the energy consumption increase.

The comfort inside buildings is dictated by the construction solutions. To ensure indoor air quality of buildings, good thermal and acoustic behavior and sufficient natural lighting is necessary to select construction solutions and materials that optimize occupant comfort and reduce energy consumption and systems usage.

With this work was intended to propose rehabilitation solutions for selected buildings, in order to optimize the overall comfort conditions through the main parameters that affect the quality of the indoor environment.

The study was done in two buildings, one built before 1990 (entry into force of the first Portuguese thermal regulation) and another built after 1990 and before 2006 (entry into force of the second Portuguese thermal regulation).

So there was a multiple criteria analysis of some constructive solutions to select the one that best suits set, comfort and energy efficiency, complemented by an analysis of the costs of its implementation requirements.

Keywords: Indoor Environmental Quality; Energy efficiency; Rehabilitation; Sustainability

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Estrutura da dissertação	4
2. ESTADO DE ARTE	5
2.1. Evolução histórica da reabilitação de edifícios.....	5
2.1.1. A reabilitação em Portugal	6
2.1.2. Desempenho energético dos edifícios	9
2.2. Patologias em edifícios	12
2.3. Principais patologias não estruturais em edifícios.....	14
2.4. Qualidade do ambiente interior.....	18
2.5. Qualidade do ar interior (QAI)	18
2.5.1. Ventilação.....	20
2.6. Conforto térmico.....	23
2.7. Conforto visual	27
2.8. Conforto acústico.....	29
3. METODOLOGIA	31
3.1. Descrição dos edifícios analisados	31
3.1.1. Habitação 1	31
3.1.2. Habitação 2.....	33
3.2. Avaliação da qualidade do ar interior.....	36
3.3. Avaliação do conforto térmico	37
3.4. Avaliação das condições de iluminação	38
3.5. Avaliação das condições de conforto acústico	39
3.6. Previsão do desempenho dos edifícios	39

3.6.1.	DesignBuilder	40
3.6.2.	Radiance.....	40
3.6.3.	Acoubat Sound.....	41
3.6.4.	SolTerm.....	42
3.7.	Simulação da qualidade do ar interior.....	43
3.8.	Período de retorno de investimento.....	47
4.	ESTUDO DOS EDIFÍCIOS	49
4.1.	Consumos de energia	49
4.2.	Patologias existentes e princípios de reabilitação	50
5.	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR DE EDIFÍCIOS	55
5.1.	Avaliação da Qualidade do Ar Interior	55
5.1.1.	Habitação 1	55
5.1.2.	Habitação 2	63
5.1.3.	Estratégias de mitigação.....	71
5.2.	Avaliação do Comportamento Higrotérmico	71
5.2.1.	Habitação 1	72
5.2.2.	Habitação 2	77
5.3.	Avaliação do Comportamento Lumínico	81
5.3.1.	Habitação 1	82
5.3.2.	Habitação 2	85
5.4.	Avaliação do Comportamento Acústico	88
5.4.1.	Habitação 1	88
5.4.2.	Habitação 2	89
6.	PREVISÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO, ACÚSTICO, LUMÍNICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR DOS EDIFÍCIOS	91
6.1.	Previsão da qualidade do ar interior para o edifício.....	91
6.1.1.	Habitação 1	91
6.1.2.	Habitação 2	92
6.2.	Simulação do comportamento térmico.....	93
6.2.1.	Soluções estudadas.....	94
6.2.2.	Habitação 1	95

6.2.3. Habitação 2	101
6.3. Simulação do comportamento lumínico	106
6.3.1. Habitação 1	106
6.3.2. Habitação 2	107
6.4. Simulação do comportamento acústico	107
6.4.1. Habitação 1	107
6.4.2. Habitação 2	110
7. CONCLUSÕES	113
7.1. Considerações Finais	113
7.2. Limitações.....	115
7.3. Desenvolvimentos Futuros	116
BIBLIOGRAFIA	117
ANEXOS	121

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 – Índice de produção na construção (2011-2013)	6
Figura 2 – Evolução Alojamentos familiares/Famílias clássicas	7
Figura 3 - Proporção de edifícios clássicos por época de construção e estado de conservação, 2011	8
Figura 4 – Repartição dos consumos de eletricidade pelos diferentes usos finais	9
Figura 5 - Representação esquemática dos valores da radiação nas fachadas de um edifício no Verão e no Inverno	12
Figura 6 – Formas de ventilação: (a) Ventilação unilateral com uma abertura; (b) Ventilação unilateral com duas aberturas; (c) Ventilação Cruzada; (d) Efeito chaminé.....	21
Figura 7 - Balanço Térmico	24
Figura 8 - PPD em função do PMV	26
Figura 9 - Zonas de conforto de inverno e de verão	26
Figura 10 – Representação esquemática da iluminância	28
Figura 11 – Fotografia da habitação 1	32
Figura 12 – Localização da habitação 1	32
Figura 13 - Planta da habitação 1: (a) Planta Rés-Chão; (b) Planta 1º Piso	32
Figura 14 - Fotografia da habitação 2.....	34
Figura 15 – Localização da habitação 2	34
Figura 16 – Planta do R/C da habitação 2	35
Figura 17 - Visualização 3D de um edifício no DesignBuilder	40
Figura 18 – Visualização do programa Radiance	41
Figura 19 – Visualização do programa Acoubat Sound	42
Figura 20 – Visualização do programa SolTerm.....	42
Figura 21 – Percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar em função da taxa de ventilação (em l/s.pessoa padrão e m ³ /h.pessoa padrão)	44
Figura 22 - Concentração de CO ₂ acima do exterior (PPM)	44
Figura 23 - Percentagem de pessoas descontentes em função da perceção da qualidade do ar interior	45
Figura 24 – Vista interior do teto do quarto da habitação 1	51
Figura 25 - Vista interior do teto da sala da habitação 1	51

Figura 26 – Vista interior do rodapé da parede da sala, habitação 1	52
Figura 27 – Parede da sala da habitação 2	52
Figura 28 – Parede da garagem da habitação 2.....	53
Figura 29 – Concentração de dióxido de carbono na cozinha, habitação 1	56
Figura 30 – Concentração de dióxido de carbono no quarto, habitação 1	56
Figura 31 – Concentração de dióxido de carbono na sala, habitação 1	57
Figura 32 - Concentração de monóxido de carbono na cozinha, habitação 1.....	57
Figura 33 - Concentração de monóxido de carbono no quarto, habitação 1.....	58
Figura 34- Concentração de monóxido de carbono na sala, habitação 1	58
Figura 35 – Concentração de formaldeído na cozinha, habitação 1	59
Figura 36 – Concentração de formaldeído no quarto, habitação 1	59
Figura 37 – Concentração de formaldeído na sala, habitação 1.....	60
Figura 38 – Concentração de ozono na cozinha, habitação 1	60
Figura 39 – Concentração de ozono no quarto, habitação 1	61
Figura 40 – Concentração de ozono na sala, habitação 1	61
Figura 41 – Concentração de partículas suspensas no ar na cozinha, habitação 1	62
Figura 42 – Concentração de partículas suspensas no ar no quarto, habitação 1.....	62
Figura 43 – Concentração de partículas suspensas no ar na sala, habitação 1	63
Figura 44 – Concentração de dióxido de carbono na cozinha, habitação 2	63
Figura 45 – Concentração de dióxido de carbono no quarto, habitação 2	64
Figura 46 – Concentração de dióxido de carbono na sala, habitação 2	64
Figura 47 - Concentração de monóxido de carbono na cozinha, habitação 2.....	65
Figura 48- Concentração de monóxido de carbono no quarto, habitação 2.....	65
Figura 49- Concentração de monóxido de carbono na sala, habitação 2	66
Figura 50 - Concentração de formaldeído na cozinha, habitação 2	66
Figura 51 - Concentração de formaldeído no quarto, habitação 2	67
Figura 52 - Concentração de formaldeído na sala, habitação 2	67
Figura 53 - Concentração de ozono na cozinha, habitação 2.....	68
Figura 54 - Concentração de ozono no quarto, habitação.....	68
Figura 55 - Concentração de ozono na sala, habitação 2	69
Figura 56 – Concentração de partículas suspensas no ar na cozinha, habitação 2	69
Figura 57 – Concentração de partículas suspensas no ar no quarto, habitação 2	70
Figura 58 - Concentração de partículas suspensas no ar no quarto, habitação 2	70
Figura 59 - Condições higrométricas na cozinha, habitação 1	73

Figura 60 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) e voto médio previsível (PMV) na cozinha, habitação 1	74
Figura 61 - Condições higrométricas no quarto, habitação 1	74
Figura 62- Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) no quarto, habitação 1	75
Figura 63 - Condições higrométricas na sala, habitação 1	76
Figura 64- Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala, habitação 1.....	77
Figura 65 - Condições higrométricas na cozinha, habitação 2	77
Figura 66 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na cozinha, habitação 2	78
Figura 67 - Condições higrométricas no quarto, habitação 2	79
Figura 68 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) no quarto, habitação 2	80
Figura 69 - Condições higrométricas na sala, habitação 2	80
Figura 70 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala, habitação 2.....	81
Figura 71 - Planta R/C da habitação 1 com representação da malha de medição de iluminância na cozinha.....	82
Figura 72 - Planta R/C da habitação 1 com representação da malha de medição de iluminância no quarto.....	83
Figura 73 – Planta R/C da habitação 1 com representação da malha de medição de iluminância na sala	84
Figura 74 - Planta da cozinha com representação da malha de medição de iluminância, habitação 2.....	85
Figura 75 - Planta do quarto com representação da malha de medição de iluminância, habitação 2.....	86
Figura 76 - Planta da sala com representação da malha de medição de iluminância, habitação 2	87
Figura 77 - Consumo de energia de aquecimento para a solução construtiva base, habitação 1	95
Figura 78 - Consumo de energia na parede exterior com EPS e XPS.....	96
Figura 79 - Consumo energético na cobertura com EPS e XPS.....	98
Figura 80 – Consumos de energia para aquecimento da habitação 1	101

Figura 81 - Consumo de energia de aquecimento para a solução construtiva base, habitação 2	102
Figura 82 - Consumo energético na envolvente exterior com PUR	102
Figura 83 - Consumo energético na cobertura com XPS.....	104
Figura 84 – Consumos de energia para aquecimento da habitação 1	105
Figura 85 - Capacidade da fachada exterior do quarto isolar os sons aéreos, habitação 1	108
Figura 86 - Capacidade da fachada exterior da sala isolar os sons aéreos, habitação 1	108
Figura 87 – Capacidade da fachada exterior do quarto isolar os sons aéreos, habitação 1 com isolamento	109
Figura 88 - Capacidade da fachada exterior da sala isolar os sons aéreos, habitação 1 com isolamento	109
Figura 89 - Capacidade da fachada exterior do quarto isolar os sons aéreos, habitação 2	110
Figura 90 - Capacidade da fachada exterior da sala isolar os sons aéreos, habitação 2	111

ÍNDICE TABELAS

Tabela 1 - Escala de sensações térmicas	25
Tabela 2- Gama de níveis de pressão sonora recomendados pela EN°15251:2007	30
Tabela 3 - Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados por orientação	33
Tabela 4 - Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados por orientação	36
Tabela 5 – Concentrações máximas de referência de poluentes no interior de edifícios	36
Tabela 6 - Fatores de conversão de gases em frações molares	37
Tabela 7 – Valores recomendados para o FLD, em edifícios residenciais	39
Tabela 8 - Níveis de qualidade do ar	43
Tabela 9- Emissão olfativa de objetos/materiais	45
Tabela 10- Carga sensorial de poluentes emitidos pelos ocupantes	46
Tabela 11- Carga sensorial de poluentes emitidos pelos materiais do edifício	46
Tabela 12 – Consumo de energia do fogão a lenha	49
Tabela 13 - Consumo de energia	50
Tabela 14 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha, habitação 1 ...	73
Tabela 15 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto, habitação 1	75
Tabela 16- Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala, habitação 1	76
Tabela 17 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha, habitação 2 ...	78
Tabela 18 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto, habitação 2	79
Tabela 19 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala, habitação 2	81
Tabela 20- Iluminância e FLD na cozinha, habitação 1	82
Tabela 21- Iluminância e FLD no quarto, habitação 1	83
Tabela 22 - Iluminância e FLD na sala, habitação 1	84
Tabela 23 - Iluminância e FLD na cozinha, habitação 2	85
Tabela 24 - Iluminância e FLD no quarto, habitação 2	86
Tabela 25 - Iluminância e FLD na sala, habitação 2	87
Tabela 26 - Valores de LAeq, em dB(A), no período diurno, habitação1	89
Tabela 27 - Valores de LAeq, em dB(A), no período do entardecer, habitação 1	89
Tabela 28 - Valores de LAeq, em dB(A), no período do noturno, habitação 1	89
Tabela 29 - Valores de LAeq, em dB(A), no período diurno, habitação 2	90
Tabela 30 - Valores de LAeq, em dB(A), no período do entardecer, habitação 2	90

Tabela 31 - Valores de LAeq, em dB(A), no período noturno, habitação 2	90
Tabela 32 - Valor da carga sensorial.....	91
Tabela 33 - Valor da carga sensorial.....	93
Tabela 34 – Custo de investimento da aplicação do isolamento térmico parede exterior	97
Tabela 35 - Período de retorno de investimento da fachada com isolamento.....	97
Tabela 36 - Custo de investimento do reforço do isolamento térmico na cobertura	99
Tabela 37 - Período de retorno de investimento da cobertura com isolamento	100
Tabela 38 – Período de retorno de investimento da aplicação de coletores solar, habitação 1	101
Tabela 39 - Custo de investimento do reforço de isolamento térmico na envolvente exterior	103
Tabela 40 - Custo de investimento do reforço do isolamento térmico na cobertura	104
Tabela 41 – Período de retorno de investimento da aplicação de coletores solar, habitação 2	106
Tabela 42 – Principais características do Testo 435	122
Tabela 43 - Especificações dos componentes do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300	123
Tabela 44 - Especificações dos componentes do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL- 1200	124
Tabela 45 - Especificações dos componentes do sensor do sensor de partículas, DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531.....	125
Tabela 46 – Especificações técnicas dos componentes da estação de conforto.....	126

LISTA DE ABREVIATURAS

AQS - Águas Quentes Sanitárias

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CEN - Comité Europeu de Normalização

CIE - Comissão Internacional de Iluminação

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

EPBD - Diretiva relativa ao Desempenho Energético de Edifícios

EPS - Poliestireno expandido

FLD - Fator de Luz do Dia

HCHO - Formaldeído

INE - Instituto Nacional de Estatística

LA_{eq} - Nível contínuo equivalente

O₃ - Ozono

PM₁₀ - Partículas Suspensas no Ar

PMV - Voto Médio Previsto

PPD - Percentagem de Pessoas Descontentes

PUR - Poliuretano

QAI - Qualidade do Ar Interior

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico

REH - Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RGR - Regulamento Geral do Ruído

RPH – Taxa de Renovação Nominal

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

RRAE - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

VOCs – Compostos Orgânicos Voláteis

XPS - Poliestireno extrudido

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O país atravessa atualmente uma acentuada crise financeira, que afeta sobretudo o sector da construção civil, dando origem a uma diminuição da construção de novos edifícios, acabando a reabilitação por ganhar espaço [1].

De acordo com os Censos 2011, há demasiadas habitações relativamente ao número de famílias [1]. Existem muitos edifícios desabitados, o que torna necessária a reabilitação do parque edificado e não a construções de novos edifícios. Uma parte significativa do parque edificado português encontra-se bastante degradado com necessidade de intervenções para otimização das suas características técnico-funcionais, principalmente a nível térmico e energético.

O elevado consumo de recursos energéticos no parque habitacional está relacionado com as necessidades atuais da população, que procura aumentar os níveis de qualidade de vida e conforto no interior das suas habitações. Cerca de 85% da energia usada em casas antigas não reabilitadas, é utilizada para aquecimento do ambiente interior e para produção de água quente [2]. Este facto leva a elevados consumos de energia e consequentemente a elevados custos na fatura energética. Devem então ser tomadas medidas para combater este problema pois de acordo com a ADENE (Agência para a Energia) é possível com algumas pequenas intervenções nos edifícios poupar até cerca de 30 a 35% de energia [3].

A reabilitação é fundamental para atingir as metas da EPBD (Energy Performance of Buildings Directive/Diretiva relativa ao Desempenho Energético de Edifícios) relativas à eficiência energética. A EPBD, publicada em 2002, obriga a que as habitações novas ou sujeitas a grandes remodelações, de todos os países da União Europeia, tenham uma classe mínima de eficiência energética. Com a adoção de EPBD recast em 2010, o Conselho Europeu salientou a necessidade de se reduzir em 20% o consumo de energia até 2020 [4].

A União Europeia instou aos seus Estados-Membros a alcançarem as seguintes metas até 2030: redução de 40% nas emissões de gases com efeito de estufa em relação ao nível de 1990 e aumento de pelo menos 27% do uso de fontes de energias renováveis [5].

Para a recuperação de edifícios antigos é necessário uma análise das condições existentes, sendo essencial verificar a existência de patologias para estas serem analisadas e corrigidas. Com a reabilitação é possível implementar medidas de eficiência energética, assegurar a qualidade do ambiente interior (conforto térmico, conforto acústico, conforto lumínico e a qualidade do ar interior) e sustentabilidade da construção.

A população vem por seu lado exigindo cada vez mais um aumento das condições de conforto, nomeadamente do conforto térmico nas suas habitações e para tal foram instalando sistemas de aquecimento e de arrefecimento de edifícios com elevados consumos energéticos. Mas com o aumento dos preços do petróleo, do qual o País é muito dependente, houve uma necessidade de se criarem medidas de combate ao aumento dos consumos de energia.

Com o objetivo da diminuição das necessidades energéticas e conseqüente redução do consumo de energia, surgiu em Portugal a certificação energética de edifícios, publicado no Diário da República o Decreto-Lei nº 78/2006, que aprovou o Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e o Decreto-Lei nº 79/2006, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Devido ao baixo grau de exigência destes regulamentos para as construções, foi criado um novo decreto de lei denominado o Decreto-Lei nº 80/2006 que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Estes foram recentemente revogados pelo Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto que aprova o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) [6,7,8].

O aumento do nível de isolamento térmico e a estanquidade ao ar da envolvente foram as principais medidas tomadas para reduzir as necessidades energéticas, diminuindo as trocas de calor com o exterior para que deste modo se reduzissem as perdas energéticas dos edifícios.

Mas, com estas medidas surgiram algumas conseqüências negativas para o conforto térmico e para a qualidade do ar interior, como o incumprimento de ventilação mínima, elevadas concentrações de poluentes no interior dos edifícios, resultantes dos materiais de construção e das próprias atividades humanas, originando mau estar, desconforto e até problemas de saúde para os ocupantes [9].

Torna-se assim importante avaliar a qualidade do ar interior mas não só, pois existem vários parâmetros que podem contribuir para a qualidade do ambiente interior dos edifícios, tais como o conforto acústico, o conforto térmico e o conforto lumínico [10].

O conforto acústico é essencial para a qualidade de vida dos habitantes, o bem-estar e saúde, a concentração, a produtividade. Para isso devem ser criadas condições para que o ruído produzido no exterior ou no interior do edifício se faça sentir com menor intensidade. Assim, devem ser escolhidos materiais e elementos construtivos que contribuam para um bom isolamento sonoro [11].

A iluminação deve proporcionar um ambiente luminoso interior confortável e adequado à realização de diferentes tarefas visuais que tenham lugar no interior dos edifícios. A área e as características dos envidraçados têm especial importância pois é através deles que a iluminação natural atinge o interior do edifício [3].

É, então, essencial garantir as condições de conforto dos ocupantes, tendo em conta a qualidade do ambiente interior e a sustentabilidade do parque edificado, incorporando a preservação de valores culturais, a proteção ambiental, a eficiência energética e a redução de custos.

1.2. Objetivos

Esta dissertação teve como principal objetivo o estudo de soluções de reabilitação de edifícios de habitação para assegurar a qualidade do ambiente interior e a eficiência energética.

Selecionaram-se para estudo, dois edifícios de habitação no concelho de Viana do Castelo, nos quais se realizaram ensaios *in situ*, para avaliar diferentes parâmetros que afetam a qualidade do ambiente interior (dióxido de carbono; monóxido de carbono; ozono; formaldeídos; partículas suspensas no ar; comportamento térmico, lumínico e acústico).

Este estudo permitiu propor soluções de reabilitação não estruturais que melhor se adequem aos edifícios, de forma a reduzir energia, materiais e recursos. Para isso será necessário um estudo aprofundado das patologias, as respetivas causas e as diferentes formas de como atuar perante os possíveis problemas.

Através de programas de simulação foi possível avaliar os consumos energéticos das soluções construtivas existentes nas duas habitações como nas soluções propostas para estudar. Assim, foi possível escolher a solução que melhor se adequa à habitação e avaliar de que forma os parâmetros estudados são influenciados.

Para finalizar, a proposta de reabilitação foi complementada com uma análise de custos da sua implementação, avaliando o investimento inicial e o período de retorno de investimento, permitindo assim comparar diferentes soluções em termos económicos.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em 7 capítulos.

No Capítulo 1 é apresentado o enquadramento do trabalho, analisando a atual situação do País relativamente à eficiência energética e à qualidade do ambiente interior. São também apresentados os objetivos deste estudo e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 apresenta-se o estado de arte, no qual é feito um estudo da situação energética a nível dos edifícios, com análise da qualidade do ambiente interior, mais concretamente, da qualidade do ar interior, do conforto térmico, visual e acústico.

No Capítulo 3 são descritos os edifícios selecionados para estudado neste trabalho assim como os programas utilizados para prever o desempenho desses mesmos edifícios, visando caracterizar as condições de qualidade do ambiente interior.

No Capítulo 4 é apresentado o estudo dos edifícios, apresentando os consumos energéticos e as patologias não estruturais analisadas com possíveis soluções de reabilitação.

O Capítulo 5 contém os resultados e as análises dos ensaios realizados nas habitações em estudo para a avaliação da qualidade do ambiente interior.

No Capítulo 6 apresentam-se os resultados das simulações realizadas para a solução construtiva inicial dos edifícios e para as soluções de reabilitação. Com estes resultados foi possível escolher a solução ideal a nível enérgico e económico.

No Capítulo 7, o último, são apresentadas as conclusões obtidas após a realização do trabalho e as perspetivas futuras que se possam desenvolver de modo a poder complementar esta dissertação.

2. ESTADO DE ARTE

2.1. Evolução histórica da reabilitação de edifícios

A reabilitação de edifícios é uma preocupação para o homem que surgiu à vários séculos e que tem vindo a ganhar casa vez maior importância.

Alberti (1404-1472) foi o primeiro impulsionador deste conceito, que com o fim de preservar os achados clássicos, criou as primeiras ideias de intervenção em edifícios existentes (Pimentel & Martins, 2005). Posteriormente surgiram muitos outros impulsionadores para o desenvolvimento da reabilitação de edifícios, tais como, Viollet-Le-Duc (1814-1879) que incentivou a restauração arquitetónica aos edifícios e Camilo Broito (1835-1914) que foi pioneiro do restauro científico, recorrendo a técnicas construtivas modernas para a conservação do património [12].

Já no século XX, Gustavo Giovannoni (1873-1947) diferencia o restauro de edifícios em quatro tipos: consolidação, recomposição, libertação e renovação. Foi também nesse mesmo século, com as “Cartas de Património”, derivadas da publicação da Ata da Conferência promovida pelo Conselho Internacional de Museus, em Atenas, de 21 a 30 de Outubro de 1931, onde surgiu o conceito de conservação e restauro do património que valoriza a envolvente e a fisionomia das cidades [12].

Com o surgir da Carta de Veneza, a 31 de Maio de 1964, no II Congresso dos Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos, é dada relevância à defesa do património, ou seja, à garantia de conservação de edificações mais extensas, particularmente em sítios urbanos e/ou rurais [12].

A “Recomendação de Nairobi”, de 30 de Novembro de 1976, realça que o conjunto edificado deve ser considerado num enquadramento com a envolvente [12].

Em 2000, na Carta de Cracóvia, é referido que a conservação deve ser feita tendo em conta o controlo ambiental, a manutenção, a reparação, a renovação e a reabilitação [12].

2.1.1. A reabilitação em Portugal

O sector da construção civil atravessa atualmente grandes dificuldades, com um número elevado de empresas a encerrar e com uma taxa de desemprego acentuada [1].

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), o índice de produção na construção apresentou uma variação homóloga de -15,9% em outubro de 2013. O segmento de construção de edifícios registou uma variação homóloga idêntica à de setembro do mesmo ano (-15,5%) e o segmento da engenharia civil apresentou, em outubro, uma variação de -16,5%, tal como se pode verificar no gráfico da Figura 1 [13].

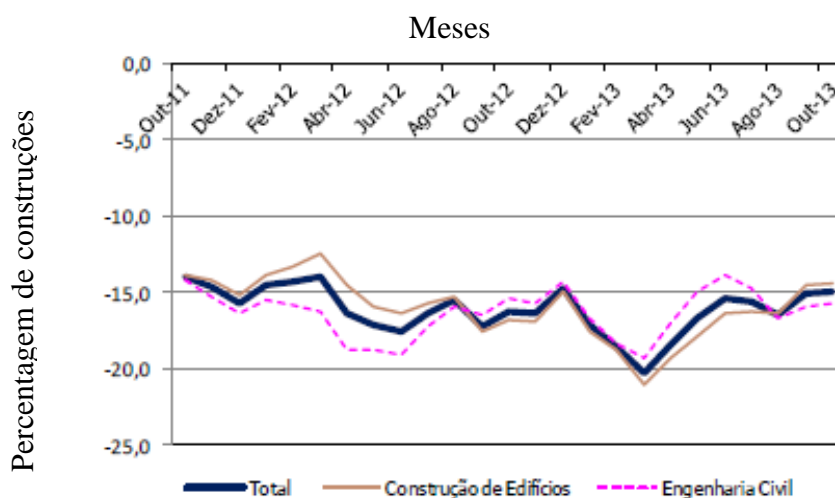


Figura 1 – Índice de produção na construção (2011-2013) [13]

Em Portugal, o número de alojamentos familiares praticamente duplicou nas três últimas décadas, registando-se um ritmo de crescimento sempre superior ao número das famílias clássicas. Nas décadas de 1980 e 1990, registou-se um aumento das residências secundárias e alguns sinais de saturação no mercado imobiliário [1]. Esta tendência manteve-se no início do século XXI, como se pode verificar na Figura 2.

A família clássica é o conjunto de pessoas que residem no mesmo alojamento e que têm relações de parentesco (de direito ou de facto) entre si, podendo ocupar a totalidade ou parte do alojamento. Considera-se também como família clássica qualquer pessoa independente que ocupe uma parte ou a totalidade de uma unidade de alojamento [1].

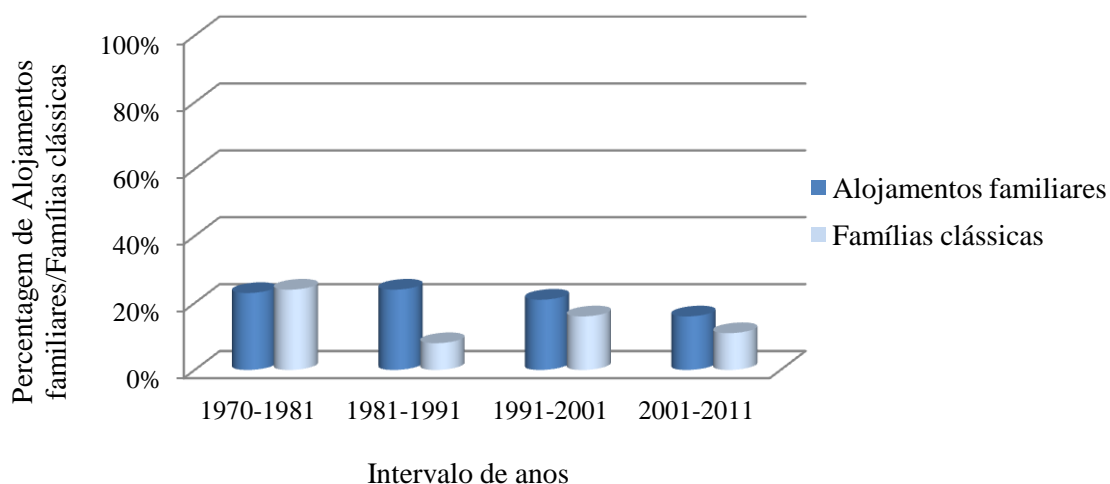


Figura 2 – Evolução Alojamentos familiares/Famílias clássicas (adaptado [1])

Analisando os dados apresentados na Figura 2, verifica-se que o número de alojamentos é excessivo face ao número de famílias, isto significa que existem habitações desabitadas. Deste modo, a construção de novos edifícios é desnecessária. Perante esta análise, pode-se constatar que a reabilitação dos edifícios existentes é essencial, não só para a valorização do património edificado, como para atingir as metas definidas na EPBD recast.

Como se pode verificar na Figura 3, dos 3 544 mil edifícios clássicos existentes, cerca de 71% não necessitavam de reparações (mais 12 pontos percentuais que em 2001), 24% precisavam de pequenas ou médias reparações (menos 8 pontos percentuais face a 2001) e aproximadamente 5% careciam de grandes reparações ou encontravam-se muito degradados (menos 3 pontos percentuais face a 2001) [1]. Isto deve-se ao facto de existirem bastantes edifícios novos, que naturalmente, não necessitam de reparações.

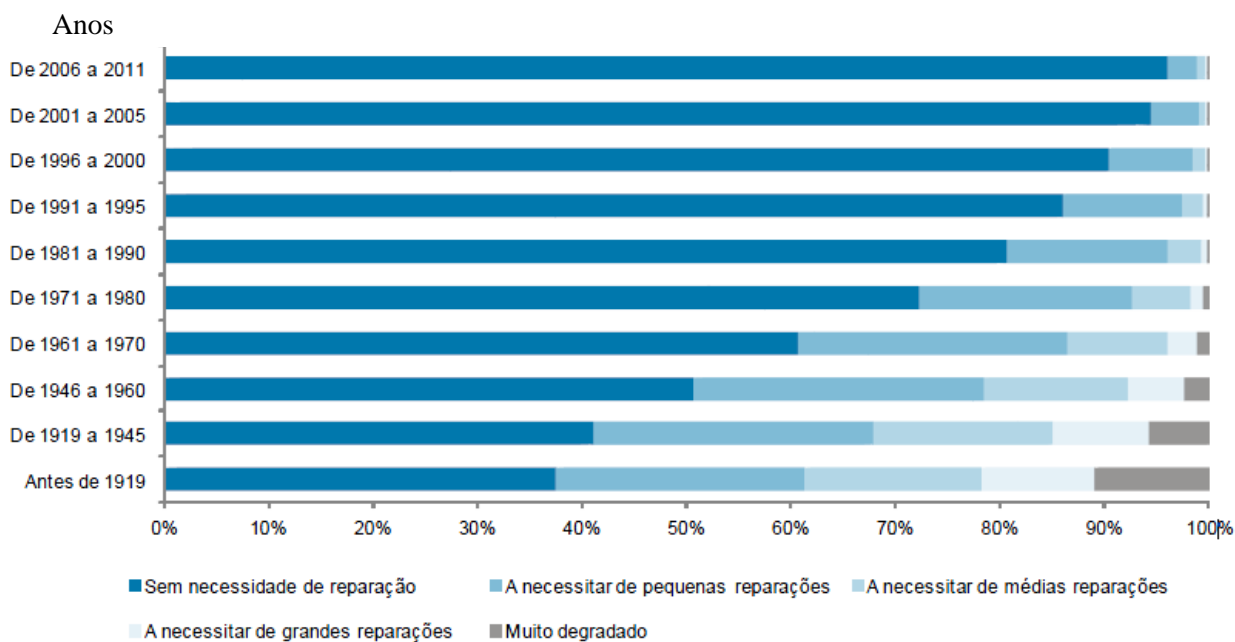


Figura 3 - Proporção de edifícios clássicos por época de construção e estado de conservação, 2011 [1]

O sector da construção é um dos que apresenta maior impacto ambiental, devido, sobretudo às novas construções, por consumir grandes quantidades de energia e de materiais (principalmente as matérias-primas) e ao facto de gerarem grandes quantidades de resíduos [14].

Deve assim, ser feita uma escolha seletiva dos materiais de construção pois os materiais sustentáveis têm como objetivo oferecer o melhor para as pessoas e para o ambiente tanto agora como para o futuro. Mas os impactos não terminam com a inclusão dos materiais no edifício. Ao longo da vida útil dos edifícios, os seus consumos energéticos, que estão associados à qualidade dos materiais selecionados, consomem também recursos naturais, como por exemplo os produtos petrolíferos que libertam dióxido de carbono para a atmosfera, contribuindo para o efeito de estufa. Assim os impactos ambientais dos edifícios fazem-se também sentir durante a sua exploração ou utilização [10].

Existem também impactos associados às exigências de manutenção e reabilitação de edifícios mas com pouca relevância comparativamente à construção de novos edifícios, visto que, geralmente são utilizadas menores quantidades de materiais, baixo consumo de recursos naturais, baixos consumos de energia e conseqüentemente reduzidas emissões de poluentes para a atmosfera.

2.1.2. Desempenho energético dos edifícios

Com o uso de energia é possível ter uma qualidade de vida que seria impossível usufruir caso não se dispusesse de recursos energéticos. O aumento da eficiência energética de edifícios tem sido incentivado pela ADENE (Agência para a Energia) por diversas razões, entre as quais evitar a extinção de fontes de energia não renováveis, reduzir os impactos negativos sobre o meio-ambiente e os elevados custos da energia [15].

Em 2012 cerca de 30% do consumo total de energia primária em Portugal ocorreu no sector residencial [16]. Este consumo excessivo de energia deve-se a diversos fatores, como a localização da habitação, a qualidade da própria construção, o nível de isolamento térmico e a eficiência dos equipamentos utilizados [15]. Relativamente aos equipamentos, como se pode verificar na Figura 4, 15% da energia consumida numa habitação é para aquecimento ambiente.

O consumo elevado de recursos energéticos está relacionado com as necessidades atuais da população, que procura aumentar os níveis de qualidade de vida e conforto no interior das suas habitações.

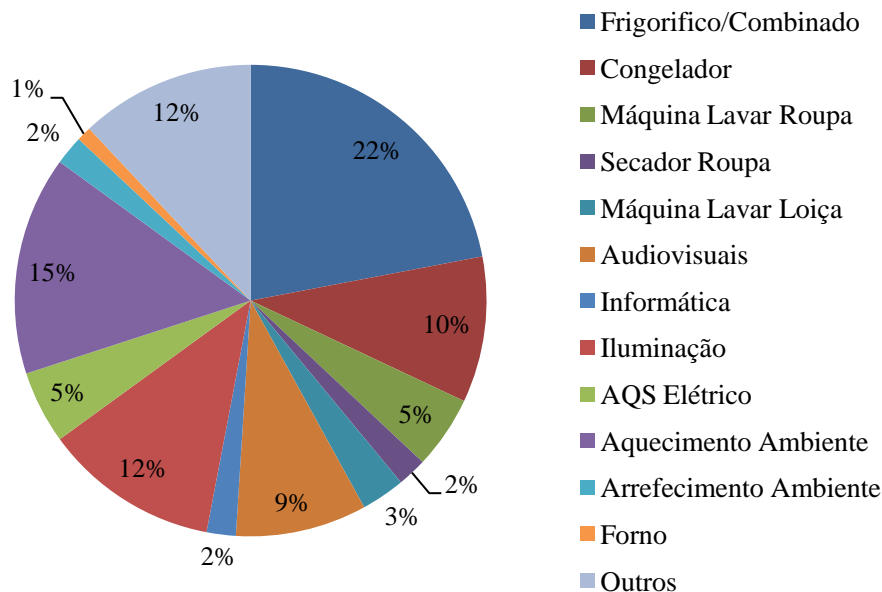


Figura 4 – Repartição dos consumos de eletricidade pelos diferentes usos finais

(Adaptado [15])

Devido à forte utilização de energia neste sector, a Comissão Europeia desenvolveu um conjunto de diretivas com o objetivo de se estabelecerem até ao horizonte de 2030, condições que levarão à melhoria da eficiência energética, ao aumento da utilização de energia

proveniente de fontes renováveis e à redução da emissão de gases com efeito de estufa. Destas diretivas, destaca-se a relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD) que promoveu entre outras medidas, a criação de sistemas de certificação energética de edifícios. Esta diretiva foi transferida para a legislação Portuguesa que publicou em Agosto de 2013 o REH – Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação [8].

A certificação energética existente em Portugal dispõe-se a informar os consumidores sobre a qualidade térmica do edifício ou fração e deste modo recomendar um conjunto de medidas de melhoria do desempenho energético e da qualidade do ar interior.

Cerca de 85% da energia utilizada em casas antigas não reabilitadas, é utilizada para aquecimento do ambiente interior e na produção de água quente sanitária [2]. Este facto conduz a elevados consumos de energia e consequentemente de custos. Desta forma devem ser tomadas medidas para combater este problema. Segundo a ADENE é possível com algumas pequenas intervenções nos edifícios, poupar até cerca de 30 a 35% de energia [15]. Algumas dessas intervenções passam por:

- **Isolamento térmico**

É importante ter uma habitação bem isolada para diminuir as trocas de energia com o exterior e assim melhorar as condições de conforto térmico e consumir menos energia. Uma casa mal isolada, no inverno, arrefece mais rapidamente, conduzindo ao aparecimento de algumas patologias (por exemplo as associadas à ocorrência de condensações) e no verão aquece mais e em menos tempo.

Numa casa não isolada, aproximadamente 35 a 45% do calor é desperdiçado através das janelas e paredes exteriores [2]. A cobertura deve ser alvo de um cuidado especial pois é através dela que existem mais perdas de calor na estação de aquecimento e ganhos na estação de arrefecimento.

Relativamente aos envidraçados, o vidro duplo tem maior capacidade de isolamento térmico do que o vidro simples, já que o espaço de ar entre os dois vidros serve para reduzir as perdas de calor. A caixilharia das janelas desempenha também um papel importante na dissipação de calor por isso deve ser de um material com boas propriedades térmicas, ou seja, como baixa condutibilidade térmica [3].

- **Sistemas de Aquecimento e Arrefecimento**

Como a temperatura varia ao longo do dia e do ano é importante dispor de um sistema de regulação de climatização que adapte as temperaturas da habitação às necessidades dos ocupantes. Os sistemas de aquecimento e arrefecimento que têm o objetivo de proporcionar um nível de conforto aos seus ocupantes, devem ser eficientes energeticamente e quanto possível alimentados por fontes renováveis, deixando assim de parte a eletricidade [15].

- **Sistema de Produção de Água Quente Sanitária (AQS)**

O aquecimento de águas sanitárias é um sistema consumidor de grande quantidade de energia nos edifícios pelo que a escolha e utilização dos equipamentos para esse fim tem um grande impacto na fatura energética da habitação [15]. Algumas das medidas de poupança energética associadas a estes sistemas passam pela minimização do consumo de água quente e para tal é importante a redução dos consumos, instalando sistemas redutores de caudal, melhorando a eficiência dos sistemas, utilizando acumuladores de água quente, e utilizando fontes de energia renovável para produção de AQS [15].

A eficiência energética nos edifícios é atualmente um desafio que não pode ser ignorado na realização de projetos, incluindo os projetos de reabilitação. Existem várias regras a ter em conta na realização dos mesmos visando a otimização térmica e o aproveitamento racional de energia nos edifícios. Dessas regras há duas que se destacam, e são elas a orientação solar e a forma do edifício.

Relativamente à orientação solar, no hemisfério norte os edifícios devem ser orientados o mais possível a sul, que por sua vez deve conter os maiores vãos envidraçados, de modo a não só otimizar a captação da radiação solar no inverno, como evitar a sua entrada quando ela é mais indesejada. Na Figura 5 é apresentado um esquema da orientação dos edifícios tendo em conta a radiação solar. Assim, verifica-se que um edifício mal orientado não só é mais frio no inverno como é mais quente no verão. Um edifício bem orientado consegue, com um sombreador, no verão, anular a radiação na fachada a sul, contribuindo assim para o conforto dos ocupantes no interior dos edifícios [17].

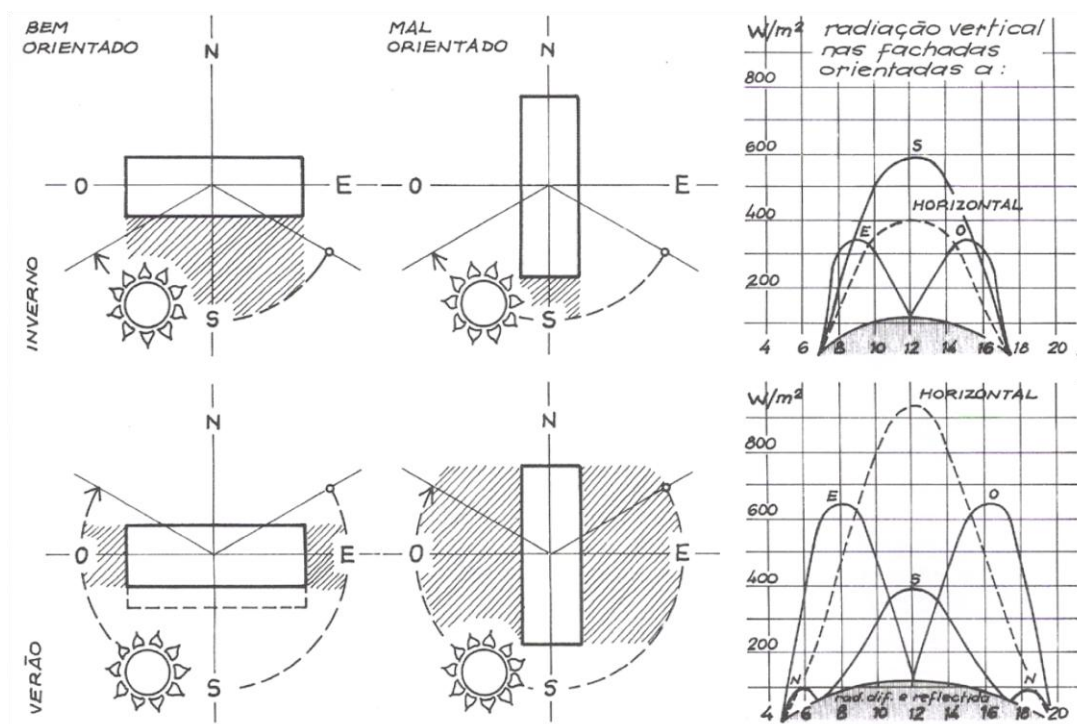


Figura 5 - Representação esquemática dos valores da radiação nas fachadas de um edifício no Verão e no Inverno [17]

Já em relação à forma, a retangular é a melhor para a captação da radiação solar no inverno. Quanto mais compacta for a forma de um edifício, com poucas saliências e reentrâncias, e uma reduzida superfície exterior, serão mais reduzidas as perdas térmicas e melhor será o seu balanço térmico global [17].

Uma correta aplicação destes e outros princípios na concepção dos projetos leva à poupança de recursos financeiros e materiais significativos, tanto a nível do custo de construção como de exploração e manutenção dos edifícios, que ao longo da vida útil atingem elevados valores, para além, evidentemente, do melhor conforto que proporciona aos seus ocupantes.

2.2. Patologias em edifícios

No decorrer da vida de um edifício são, frequentemente, detetadas insuficiências do seu desempenho que se traduzem em patologias. Essas insuficiências podem ser derivadas do próprio edifício, de erros de projeto ou de execução, conseqüentes da ação do tempo ou provocadas pela alteração de circunstâncias externas que causam um aumento do grau de exigência ou expectativa.

Segundo Luis Cabredo, o estudo das patologias deve ser dividido em três partes essenciais: existência de um problema, investigação do mesmo e, se viável, proposta de uma solução de reabilitação. Numa primeira fase o técnico observa em obra as anomalias que indicam a existência de patologias na construção. Numa segunda fase, há um estudo de reconhecimento, pré-diagnóstico, investigação e diagnóstico. É importante que o técnico tenha vários conhecimentos, desde as causas que poderão estar na origem das patologias até à forma como lidar com as mesmas. Finalmente, na terceira fase, é feita a reparação ou reforço, adequado ao problema analisado [18].

As anomalias presentes nos edifícios têm diversas causas, dependendo de caso para caso. Desta forma, os erros de projeto, erros de execução, ações ambientais, ações acidentais de origem humana, falhas na manutenção e alterações das condições inicialmente previstas são consideradas algumas das origens de diversas anomalias [19].

Como erros de projeto apresentam-se de seguida alguns dos aspetos possíveis de ocorrer mediante situações diversas [19]:

- Mau desempenho da parede e da cobertura no que respeita à penetração da água, durabilidade e comportamento estrutural;
- Especificações de materiais, testes e técnicas de execução omissas ou vagas, remetendo para “procedimentos habituais de qualidade reconhecida” e para a “experiência da mão-de-obra”;
- Negligência na determinação dos movimentos previsíveis, na definição das exigências do suporte (em particular em paredes de fachada) e na definição das juntas de expansão-contração necessárias, quer verticais, quer horizontais;
- Negligência na determinação das exigências estruturais das paredes exteriores face à ação do vento e na adoção das soluções construtivas delas decorrentes;
- Negligência na previsão das deformações estruturais e da sua influência sobre as alvenarias, em particular nos fenómenos de fissuração;
- Desconhecimento ou má interpretação e aplicação dos códigos, regulamentos e bibliografia técnica e científica da especialidade em relação aos erros de execução.

Como erros de execução, apresentam-se de seguida possíveis casos que dão origem a diversas patologias [19]:

- Dificuldade na compreensão do projeto, no que respeita aos pormenores construtivos e às características a exigir aos materiais;

- Desconhecimento do funcionamento de impermeabilizações, rufos e barreiras pára- vapor e insuficiente compreensão técnica das respetivas exigências em termos de execução;
- Falta de instalação de furos de ventilação e drenagem nas paredes;
- Utilização de argamassas com composição química inadequada;
- Negligência na avaliação das condições atmosféricas durante a execução da obra (temperatura e humidade);
- Negligência na comunicação ao projetista de pormenores não executáveis ou de alterações adotadas em obra.

Relativamente às ações ambientais, podem-se salientar as variações térmicas, a chuva, as variações de humidade, o vento, a exposição solar, a poluição atmosférica, a ação biológica e os ciclos de gelo/degelo. Todos estes fatores, individuais ou em grupo, podem originar ou agravar fenómenos que provoquem anomalias em estruturas que originalmente estariam ilesas [19].

No que concerne às falhas na manutenção, os acontecimentos que podem provocar fenómenos patológicos são: corrosão dos elementos metálicos, anomalias em canalizações, juntas de dilatação com funcionamento deficiente, ventilação insuficiente em interiores, temperatura interior baixa, inexistência de limpeza ou manutenção de revestimentos, envelhecimento natural e presença de vegetação, entre outros [19].

Como alterações das condições inicialmente previstas, pode-se referir as escavações na vizinhança do edifício, concentração de cargas de esforços, aumento do nível do solo adjacente à parede, alteração das condições de utilização, alteração dos parâmetros de conforto e economia de energia [19].

2.3. Principais patologias não estruturais em edifícios

A evolução dos sistemas construtivos e a constante evolução dos materiais de construção, associados a reduzidos prazos de execução de obras e ao uso de mão-de-obra não especializada, têm levado ao aparecimento de anomalias construtivas em edifícios. Esta situação obriga à realização de intervenções, mais ou menos profundas, com vista à resolução dos problemas.

De seguida serão apresentados alguns dos casos patológicos e as suas proveniências, nomeadamente os mais usuais em Portugal.

- **Humidade**

As patologias mais comuns nos edifícios são devidas à penetração de água e/ou devido à formação de manchas associadas à presença de humidade. Esses defeitos geram graves problemas, por vezes, de difícil solução, pois podem causar prejuízos a nível funcional do edificado, desconforto dos habitantes e em casos extremos podem mesmo afetar a saúde dos mesmos. Além disso, pode danificar equipamentos e bens presentes no interior dos edifícios, o que pode originar diversos prejuízos financeiros [20].

A humidade não é apenas uma patologia mas também uma causa para a existência de diversas patologias, tais como, o aparecimento de eflorações, bolores, mofo, ferrugens, deterioração de revestimentos, perda de pinturas e pode até mesmo afetar os componentes estruturais da construção [20].

Existem diversas origens da humidade, podendo estas estar associada à humidade de construção, humidade do terreno e devido a fenómenos de higroscopicidade, humidade de precipitação, humidade de condensação e devido a causas fortuitas [14].

A humidade de construção, decorrente da execução dos edifícios, proveniente dos poros dos materiais ou do uso de argamassas ou pinturas, que acabam por diminuir gradualmente até desaparecer [14].

Relativamente à humidade do terreno, esta apenas prejudica a envolvente em contacto com o solo húmido, principalmente se não existirem obstáculos que impeçam a sua progressão, tais como, impermeabilizantes. A humidade infiltra-se por ascensão capilar, através de canais capilares, nas fundações e nas paredes [14].

Já na humidade de precipitação, a chuva é a causa mais frequente para o aparecimento desta patologia, sendo relevante a velocidade do vento, a intensidade da precipitação, a humidade relativa do ar e fatores da própria construção (sistema de abastecimento e drenagem de águas, impermeabilização, entre outros) [14].

A humidade de condensação é proveniente do vapor de água que se condensa nos paramentos expostos ou no interior dos elementos de construção. Ocorrem essencialmente devido à

existência de pontes térmicas, de mau isolamento térmico e à falta de ventilação do espaço [14].

- **Condensações Superficiais**

A condensação de vapor de água é um problema bastante frequente nos edifícios. O surgimento de condensações em elementos construtivos dá-se quando em determinadas condições, o ar contacta com superfícies mais frias e a sua humidade absoluta atinge o limite de saturação para a temperatura em causa [21].

Esta patologia origina o aparecimento de água nos elementos construtivos, que pode causar o desenvolvimento de diversas formas de degradação e pode também desenvolver outras patologias, tais como, bolores e degradação de pinturas. Este problema afeta principalmente zonas húmidas (casas de banho e cozinhas) e junto às janelas [21].

Existem várias formas de combater condensações superficiais, tais como ventilar bem os compartimentos, não só através de ventilação natural como com o uso de ventilação mecânica (por exemplo: extractores) e com o aquecimento da habitação.

- **Eflorescências**

Eflorescências são depósitos salinos na superfície do revestimento, que podem ocorrer em qualquer elemento do edifício, tal como, pavimentos, paredes e tetos, resultantes da migração e posterior evaporação das soluções aquosas salinização. Este fenómeno pode originar apenas danos estéticos, mas pode também ser bastante agressivo. No primeiro comportamento, a aparência do elemento altera-se com aparecimento de depósitos salinos de cor branca e, no segundo, devido aos sais constituintes, pode causar uma profunda degradação, ao depositar-se abaixo da superfície [20].

Segundo Uemoto, as eflorescências são constituídas por sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-terrosos (cálcio e magnésio), solúveis ou parcialmente solúveis em água. Os sais serão dissolvidos por o elemento estar saturado pela água da chuva ou do solo. Depois a solução migra para a superfície e, por evaporação, a água sai, deixando, na superfície do elemento, um depósito salino [20].

Esta patologia é originada por três fatores internos: o teor de sais solúveis presentes nos materiais, a presença de água e a pressão hidrostática, que apenas originam a eflorescências se atuarem simultaneamente. Também existem fatores externos que colaboram: quantidade de

água existente, tempo de contato, aumento da temperatura e a porosidade dos componentes [20].

- **Manchas, bolores e fungos**

O aparecimento de manchas, bolores e fungo não é apenas considerado um problema a nível estético do edifício mas também a nível económico e de saúde dos ocupantes.

Este problema deve-se à existência de humidade (alto teor no elemento afetado ou no ar) e é nestas circunstâncias que os fungos se desenvolvem. Em muitos casos, este problema provoca alterações na superfície, sendo necessário uma intervenção ou recuperação do revestimento, que pode provocar custos elevados. Para prevenir que tal não aconteça é necessário garantir certas medidas na fase de projeto, tal como, garantir ventilação, iluminação e insolação apropriada ao ambiente. Também é importante evitar riscos de infiltração de água na envolvente do edifício assim como garantir uma diminuição do risco de ocorrência de condensações [20].

Caso a deteção desta patologia seja num estado avançado, poder-se-ão tomar medidas, como a limpeza da superfície com soluções fungicidas ou até mesmo a alteração de matérias contaminados por outros mais resistentes [20].

- **Deterioração do revestimento exterior**

Os revestimentos exteriores desempenham funções importantes na garantia do conforto, da habitabilidade e da salubridade dos edifícios, protegendo o tosco da parede da ação da chuva, de choques, de agentes químicos e poeiras. Têm também uma função estética pelo que é necessário mante-los em boas condições. Mas nem sempre se comportam da melhor maneira ou como o esperado. Em muitos casos, e com o passar do tempo, são facilmente detetados problemas, tais como, descolagem/destacamento dos revestimentos cerâmicos, fissuração, erosão/desgaste, deterioração das juntas, manchas de eflorescências, que provocam a deterioração do revestimento exterior. Perante este facto, é necessário fazer manutenções periódicas, tais como limpeza e tratamento, correção das zonas que provocam a deterioração d revestimento, restauração e escolha de materiais de alta durabilidade [22].

2.4. Qualidade do ambiente interior

Garantir o conforto dos ocupantes é o principal requisito para o ambiente interior de um edifício. O conforto é um conceito difícil de avaliar, pois varia de pessoa para pessoa devido à sensibilidade de cada um e ao tipo de reações que produzem [23].

O desconforto das pessoas no interior de um edifício pode ser provocado por diversos fatores, como a má qualidade do ar interior, valores inadequados de temperatura e humidade relativa, más condições de iluminação e níveis de ruído intoleráveis.

O conforto térmico, o conforto lumínico, o conforto acústico e a qualidade do ar interior são parâmetros de avaliação da qualidade do ambiente interior que podem ser afetados por diversos fatores, entre os quais, o local de implantação e geometria do edifício, os materiais utilizados, a conceção da envolvente, a iluminação existente, os sistemas de climatização, a ventilação do edifício, os produtos de limpeza usados, o tipo de ocupação e as atividades realizadas pelos utilizadores dos espaços [10].

É, portanto, necessário fazer uma análise cuidadosa na fase inicial de projeto (anteprojeto e avaliação preliminar) de todos os aspetos relacionados com a qualidade do ambiente interior e da redução dos consumos energéticos dos edifícios, para não serem necessárias alterações no projeto.

Foram por isso implementadas a nível nacional e internacional um conjunto de regulamentos e de normas de modo a certificar as condições de conforto e a qualidade do ambiente interior dos edifícios.

2.5. Qualidade do ar interior (QAI)

A qualidade do ar interior é um direito básico para todos os cidadãos pois é um factor determinante para a saúde e bem-estar dos seus ocupantes ou utilizadores [10].

A partir da década de 70, como consequência da crise energética, procurou-se economizar energia e, para tal foi necessário melhorar o isolamento térmico da envolvente e reduzir a ventilação nos edifícios, de forma a diminuir as perdas de energia para o exterior. Com os edifícios a tornarem-se cada vez mais estanques e com reduzida infiltração de ar, a concentração média dos vários poluentes no ar interior aumentou significativamente [24].

Poluentes, tais como, monóxido de carbono, dióxido de carbono, amónio, óxido de enxofre e azoto são emitidos por materiais de construção baseados em solventes orgânicos, por materiais de limpeza, óxido de enxofre, uso de tabaco e também pelas próprias atividades do homem, como cozinhar ou lavar e secar roupas que acabam também por gerar humidade no interior dos edifícios [25].

Todos estes poluentes podem provocar problemas de desconforto e de saúde nos seus ocupantes. Para que estes problemas sejam evitados é necessário avaliar as fontes de poluição para que a evacuação das substâncias poluentes seja feita junto à fonte, evitando desta forma a contaminação do ar interior [25].

O dióxido de carbono (CO_2) é um gás incolor e inodoro. No exterior este gás é sobretudo produzido por processos de combustão completa de combustíveis fósseis, podendo as concentrações variar entre 350 a 450 ppm. No interior dos edifícios, o CO_2 tem como fontes, fogões a gás, aquecedores com processos de combustão e a ocupação humana ou de animais de estimação. A concentração depende do caudal de ventilação e das fontes de produção no interior dos edifícios, como por exemplo, o número de ocupantes. Quando a ventilação não é correta, a concentração de dióxido de carbono aumenta continuamente podendo exceder o valor máximo de 1800 mg/m^3 , gerando assim problemas de saúde, tais como, dores de cabeça, fadiga, náuseas, dificuldades de concentração e distúrbios no sistema nervoso central [10].

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro, bastante letal, produzido durante a combustão incompleta dos compostos de carbono. Verifica-se a sua presença no interior de edifícios devido a determinadas fontes como a proximidade a estacionamento automóvel, a existência de aquecedores a gás não ventilados e o fumo de tabaco. A inalação deste poluente poderá num caso extremo levar à morte por asfixia porque depois do sangue afetado, reduz a capacidade de transporte de oxigénio, afetando a sangue e o coração. Os efeitos mais habituais nos ocupantes, devido à existência deste poluente são: dores de cabeça, cansaço, problemas de concentração, mal-estar, tonturas, vómitos e sonolência [10].

O ozono (O_3) é um gás à temperatura ambiente, altamente reativo que pode reagir com poluentes presentes no interior dos edifícios, originando outros ainda mais nocivos. O ozono é geralmente inserido no edifício na fase de construção, logo tende a diminuir com o tempo, porém a sua emissão aumenta em condições de elevadas temperaturas e humidade. A concentração excessiva deste poluente pode causar problemas como irritação das vias respiratórias, dores de cabeça, problemas no coração e fibrose pulmonar [10].

O formaldeído (HCHO) é o aldeído mais abundante no ambiente, que faz parte da família dos compostos orgânicos voláteis (COV). A concentração deste poluente no exterior é normalmente baixa e inferior a 0,1 ppm (0,12 mg/m³), ao contrário do interior dos edifícios que contêm concentrações mais altas em função das fontes de contaminação, da humidade e da temperatura. As principais fontes de contaminação são os aglomerados de madeira, as resinas, colas, tintas, espumas de isolamento, revestimentos de pavimentos, fumo de tabaco e cosméticos. A exposição a elevadas concentrações deste poluente podem gerar dores de cabeça, fadiga, enjoos e irritação de olhos, pele e vias respiratórias [10].

As partículas (PM₁₀) têm como fonte no interior das habitações o fumo do tabaco, o cozinhar, o uso de velas e a reduzida limpeza das instalações e dos sistemas de ventilação (condutas e filtros). A exposição a elevadas concentrações de partículas respiráveis em suspensão no ar no interior das habitações pode provocar alergias respiratórias, asma e bronquites [10].

2.5.1. Ventilação

A ventilação é essencial para garantir a qualidade do ar interior das habitações. A renovação do ar interior terá de ser garantida por processos e métodos, que concedam aos espaços características de ventilação adequadas, num ajuste entre o aumento da qualidade do ambiente interior e a diminuição das perdas energéticas.

A ventilação, que tem por finalidade evacuar o ar interior viciado e substituí-lo por ar exterior novo, pode ser de três tipos: ventilação natural, ventilação mecânica e ventilação híbrida.

2.5.1.1. Ventilação natural

A ventilação natural é um método antigo e económico de proporcionar ar novo e remover odores e poluentes produzidos no interior dos edifícios. Este processo ocorre devido a diferenças de pressões de ar, entre os ambientes exterior e interior, provocadas pela ação do vento, do gradiente de temperatura ou da ação de ambas [26].

Contudo a ventilação natural também pode provocar desconforto aos ocupantes devido a fluxos de ar excessivos, pois os caudais de ar trocados com o exterior geram elevadas perdas térmicas no inverno e velocidades excessivas de escoamento no interior (correntes de ar). Por outro lado a renovação de ar por portas e janelas levam à entrada de pó e chuva, ruído além de poderem apresentar problemas de segurança [10].

A ventilação dos edifícios varia conforme a orientação e a exposição aos agentes atmosféricos (vento, pressão e temperatura), o local de implantação, aberturas para o exterior, características dos edifícios, existência de obstáculos na vizinhança do edifício, a sua ocupação e sistemas de ventilação [26].

i) Ventilação unilateral

A ventilação unilateral consiste na existência de uma abertura numa única fachada, provocando um fluxo bi-direcional, em que o ar mais fresco entra pela parte inferior da abertura e o ar mais quente sai pela parte superior (Figura 6). Como este é um processo difícil, mesmo quando o vento incide diretamente na fachada, é recomendável que esta tenha mais do que uma abertura distanciadas umas das outras de modo a causar um escoamento longo no interior do edifício (Figura 6) [27].

ii) Ventilação cruzada

A ventilação cruzada verifica-se quando o ar entra num espaço, numa fachada, por uma ou mais aberturas e sai por uma ou mais aberturas da fachada oposta, como está representado na Figura 6. Este tipo de ventilação é aconselhável para espaços grandes porque o fluxo de ar percorre o espaço todo desde a abertura de entrada até à de saída [27].

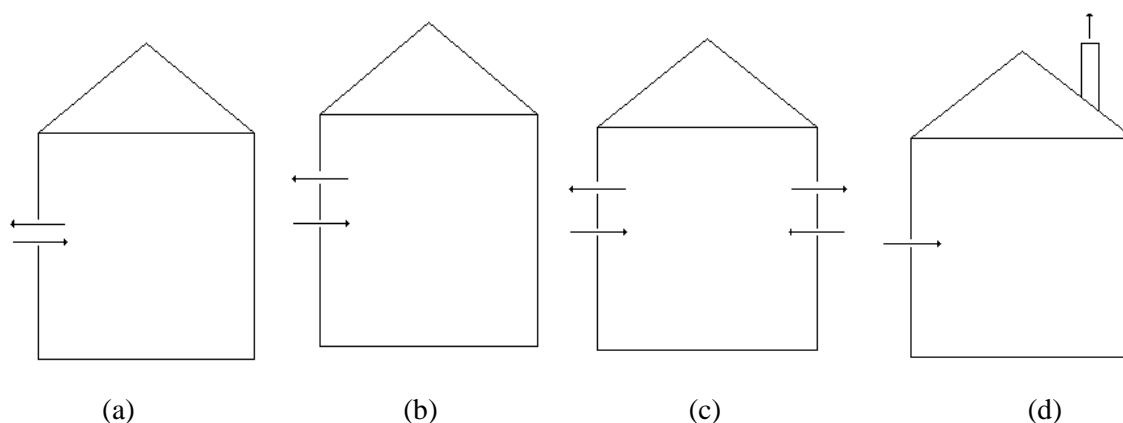


Figura 6 – Formas de ventilação: (a) Ventilação unilateral com uma abertura; (b) Ventilação unilateral com duas aberturas; (c) Ventilação Cruzada; (d) Efeito chaminé

iii) Efeito chaminé

O efeito de chaminé tem origem na diferença de temperatura entre o ar interior e exterior do edifício. Quando a temperatura interna é superior à externa, o ar externo, mais frio, entra no

edifício através das aberturas mais baixas e o ar interior, mais quente, sai pela abertura mais elevada [27].

2.5.1.2. Ventilação mecânica

Na ventilação mecânica as variações de pressão que provocam a circulação do ar, são originadas por aparelhos mecânicos. Este tipo de ventilação é usado quando a ventilação natural é insuficiente e é dimensionada conforme as necessidades da habitação [28].

Existem patologias que podem normalmente ser controlados através da substituição do ar interior renovado pelo ar exterior. Particularmente, as cozinhas e as instalações sanitárias dispõem de exaustores mecânicos para controlar os odores e a humidade. O dimensionamento e seleção destes sistemas deve ter em conta fatores tais como o caudal e o nível de ruído que produzem.

2.5.1.3. Ventilação híbrida

A ventilação híbrida é a combinação de ventilação natural e mecânica.

Concluindo, existem várias formas de melhorar a qualidade do ar interior, entre elas:

- A ventilação deve ser geral e constante, ou seja, deve envolver todos os compartimentos de forma contínua;
- Garantir um número mínimo de $0,4 \text{ h}^{-1}$ renovações de ar por hora (RPH);
- Adequada localização das entradas de ar nos edifícios, afastadas de focos de poluição exterior;
- Garantir uma correta manutenção dos sistemas de ventilação (ex. não deixar acumular pó);
- Abrir as janelas para ventilar, sempre que possível;
- Utilização de extractores em instalações sanitárias e despensas, por serem zonas propícias ao aparecimento de condensações e humidade;
- Utilização de exaustor na cozinha sempre que se cozinhe;
- Utilização de dispositivos de admissão de ar auto-reguláveis (grelhas), que garantam os caudais nominais especificados nos compartimentos;
- Colocação de produtos de limpeza num local isolado e bem ventilado;
- Utilizar materiais, produtos e equipamentos pouco poluentes;

- Colocar os aparelhos de combustão para produção de água quente sanitária e aquecimento central em locais auto-ventilados (ex. lavandaria auto-ventilada);
- Não instalar lareiras de fogo aberto;
- Não fumar no interior dos edifícios.

2.6. Conforto térmico

Conforto térmico é definido pela norma EN ISO 7730:2005 como: “ O estado de espírito que expressa satisfação com ambiente térmico que envolve uma pessoa” [29].

A norma ASHRAE Standard 55:2003 tem uma definição muito idêntica à EN ISO 7730:2005, ou seja, pode-se concluir de forma simples que um individuo está em conforto térmico quando não tem a sensação nem de calor nem de frio [30].

Na construção existem alguns aspetos que influenciam o conforto térmico como a inércia térmica, a resistência térmica, o factor solar e a proteção solar. Por exemplo, em locais com climas frios, a envolvente dos edifícios deve ser bem isoladas para reduzir as perdas de calor para o exterior. Os envidraçados devem ser orientados a sul de modo a que no inverno seja aproveitado o máximo de radiação solar possível para aquecer o interior dos compartimentos [17].

O conforto térmico é uma sensação subjetiva pois depende de vários fatores individuais, como, sexo, idade, saúde, atividade, metabolismo, vestuário e também dos fatores ambientais já referidos anteriormente [27].

A atividade metabólica é o calor libertado pelo corpo humano por unidade de área de pele e depende da atividade muscular, ambiente, dimensões do corpo, etc [27].

O vestuário está diretamente relacionada com a resistência térmica da roupa, que é dada pelo somatório dos valores das resistências térmicas de cada peça de vestuário que o individuo usa, afetada pelo coeficiente de sobreposição [27].

Os fatores ambientais são:

- Temperatura do ar interior: os valores limites de temperatura deverão estar compreendidos, entre 18°C e 26°C podendo ser excedidos em 2°C em períodos curtos. Segundo o REH as temperaturas de referência são de 18°C para o inverno e 25°C para o verão;

- Temperatura média de radiação das superfícies: está ligada a todas as trocas de calor por radiação e deve ter valores próximos da temperatura do ar;
- Humidade relativa do ar: é a quantidade de vapor de água contido no ar. Deve ter valores num intervalo de 35% a 85%. No verão este parâmetro não deve exceder os 60% ;
- Velocidade do ar: está ligada à grandeza dos coeficientes de transferência de calor e massa por convecção. Deve apresentar valores inferiores a 0,2m/s no inverno, podendo no verão abranger um máximo de 0,5 m/s.

O ser humano possui um mecanismo termorregulador que permite que o corpo permaneça a uma temperatura, praticamente constante, aproximada de 36,5 a 37°C, originando um equilíbrio térmico entre o homem e o meio envolvente [10].

O balanço térmico depende da energia produzida no interior do corpo humano (atividade metabólica) e da dissipação de calor para o exterior. Esta perda de calor efetua-se pela pele e por respiração através de mecanismos de trocas térmicas, ou seja, por condução, convecção, evaporação e radiação (Figura 7) [10].



Figura 7 - Balanço Térmico [10]

Quando o ambiente é frio, o corpo humano ativa os mecanismos termo-reguladores com a finalidade de evitar as perdas térmicas do corpo. Dessa forma, os vasos sanguíneos mais próximos da superfície da pele contraem-se, contraindo também a massa muscular, enquanto os vasos sanguíneos mais internos dilatam. Assim, a temperatura da pele aproxima-se à temperatura do meio, evitando perdas de calor. Caso este comportamento não for suficiente, são gerados arrepios e tremores que aumentam a produção de calor [27].

Em ambientes mais quentes, a situação inverte-se, os vasos sanguíneos periféricos dilatam. Na maioria dos casos, este procedimento não é suficiente e o corpo começa a transpirar, aumentando as perdas de calor com o ambiente por evaporação [27].

A neutralidade térmica é a condição na qual um indivíduo não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente envolvente [27].

Para a determinação do conforto térmico global, é fundamental definir os valores de isolamento térmico das roupas e de metabolismo. Segundo a norma EN^o15251:2007, o valor do metabolismo para edifícios residenciais, em espaços de estar é de 1,2 met e o isolamento térmico das roupas para condições de inverno é de 1,0 clo, para condições de verão é de 0,5 clo [31].

Na norma EN ISO^o 7730:2005, define o Voto Médio Previsto (PMV) para a caracterização do conforto térmico global. Este índice estabelece se um determinado espaço respeita os critérios para um bom conforto térmico e é quantificado por uma escala de sensações térmicas com 7 pontos diferentes (Tabela 1) [29].

Tabela 1 - Escala de sensações térmicas

PMV	Sensação térmica
+ 3	Muito quente
+ 2	Quente
+ 1	Ligeiramente quente
0	Neutro
- 1	Ligeiramente frio
- 2	Frio
- 3	Muito frio

A determinação do PMV pode efetuar-se três forma distintas [10]:

- Utilizando um programa de cálculo, com a introdução das seguintes variáveis: temperatura do ar, humidade relativa do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar, pressão parcial de vapor de água, atividade metabólica e trabalho externo;
- Utilizando tabelas com valores de várias combinações dos fatores que determinam o índice PMV (roupa, atividade, velocidade do ar, temperatura);
- Medindo diretamente com um sensor.

O índice Percentagem de Pessoas Descontentes (PPD), prevê a percentagem de pessoas insatisfeitas termicamente. Este índice baseia-se na percentagem de um grande número de pessoas, que sentem que o ambiente está quente, frio, muito quente ou muito frio segundo a escala de sensações térmicas [27].

O PPD pode ser obtido através da Equação 1 ou extraído da Figura 8 [29].

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-0.03353 \times PMV^4 - 0.2179 \times PMV^2} \quad (1)$$

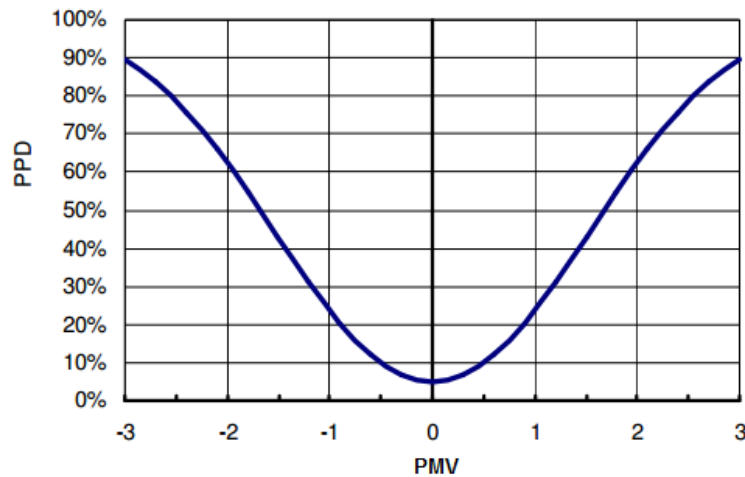


Figura 8 - PPD em função do PMV [27]

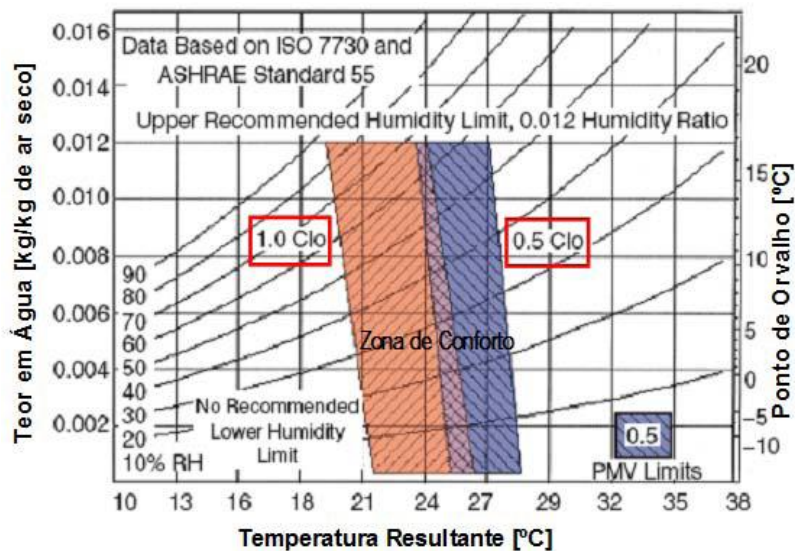


Figura 9 - Zonas de conforto de inverno e de verão [10]

A norma ASHRAE 55:2003 define duas zonas de conforto, uma para o inverno e outra para o verão em função de quatro variáveis, a temperatura resultante, a humidade relativa, a resistência térmica da roupa e a atividade metabólica (Figura 9).

2.7. Conforto visual

A iluminação natural, complementada pela iluminação artificial deve proporcionar um ambiente luminoso interior confortável e adequado à realização de diferentes tarefas visuais que tenham lugar no interior dos compartimentos [32].

O conforto visual é uma condição nas necessidades de iluminação no interior dos edifícios e para que seja garantido, é necessário analisar vários aspetos, tais como: evitar diferenças excessivas de luz e de sombra pois podem perturbar o desempenho visual dos ocupantes; localizar corretamente os envidraçados e as fontes de luz artificial de modo a não provocarem encandeamento, e a quantidade de luz fornecida deve ser adequada às tarefas visuais [32].

A iluminação natural é essencial nos edifícios pois acarreta inúmeras vantagens: ser proveniente de uma fonte de energia renovável e gratuita; ter quantidade de luz solar dinâmica, variando ao longo do dia e do ano; a quantidade de luz disponível alcançar altos níveis de iluminância; proporciona uma ligação dos ocupantes com o ambiente exterior e durante o dia praticamente não existir necessidade do uso de energia elétrica auxiliar, reduzindo deste modo os custos de energia [10].

Porém, devem-se tomar alguns cuidados referentes à iluminação natural para que esta não cause desconforto nos que vão usufruir da mesma. Para tal é necessário evitar o encandeamento e o sobreaquecimento dos compartimentos. Uma solução para estes inconvenientes passa pela utilização de sistemas de sombreamento móveis, para proteger os habitantes da radiação solar indesejada [10].

A norma EN^o12464-1:2002 disponibiliza um conjunto de recomendações de forma a serem obtidas boas condições de iluminação no interior dos edifícios. Além disso aconselha níveis mínimos de iluminâncias para espaços interiores de edifícios, de maneira a que as tarefas sejam realizadas com boa visibilidade [33].

Uma iluminação adequada deve ser corretamente direcionada e com intensidade suficiente sobre o local de trabalho, bem como garantir boa definição de cores e inexistência de encandeamento.

Iluminância é o quociente do fluxo luminoso que incide na direção perpendicular a uma superfície, pela área dessa superfície. É a grandeza mais importante a nível quantitativo da iluminação de edifícios (em lm/m^2 ou lux (lx)) (Figura 10) [10].

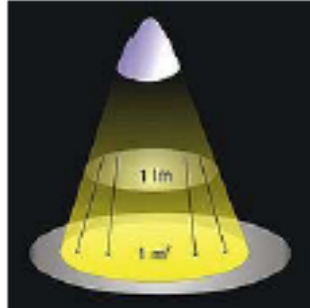


Figura 10 – Representação esquemática da iluminância (adaptado [10])

A quantidade, a distribuição da luz e a quantidade do contraste num compartimento dependem das propriedades refletoras das paredes e de outras superfícies, embora a influência das propriedades refletoras das superfícies interiores sejam mais importantes.

Em espaços providos de iluminação natural, os requisitos em relação a iluminâncias podem ser traduzidos em termos de valores mínimos de Fator de Luz Dia (FLD) no plano de trabalho, devido à grande variabilidade de iluminação ao longo do dia e do ano.

O Fator de Luz do Dia é o quociente (expresso em percentagem) entre a iluminância, num ponto de um plano no interior de um compartimento, à altura do plano de trabalho, devida a um céu de distribuição de luminâncias conhecida, e a iluminância exterior simultânea num plano horizontal proveniente de um hemisfério desobstruído desse céu. Este fator é o parâmetro mais utilizado para a quantificação da iluminação natural no interior dos edifícios [32].

O Fator de Luz de Dia deve variar entre 2% e 5%. Valores inferiores a 2% são interpretados como um espaço escuro enquanto valores superiores a 5% levam a ganhos solares desnecessários [10].

O encadeamento acontece quando uma fonte luminosa intensa se encontra no campo de visão dos ocupantes, podendo conduzir a situações de desconforto ou perturbação. Por isso é importante controlar o encadeamento para evitar a fadiga e acidentes. Uma forma de evitar o encadeamento é evitar grandes envidraçados orientados a este e a oeste.

Os envidraçados devem possuir sistemas de sombreamento, exteriores e interiores, como por exemplo cortinas, estores venezianos, persianas, de modo a controlar a penetração da radiação mais baixa durante o inverno. Já os envidraçados orientados a norte, não causam problemas relativamente ao encadeamento, pois não são muito expostos à radiação solar e quando são, o ângulo de incidência é oblíquo.

2.8. Conforto acústico

O conforto acústico nos edifícios é uma condição importante a alcançar para o bem-estar, saúde e conseqüentemente, para a qualidade de vida dos ocupantes. Para o estudo da acústica de edifícios, é necessário uma análise das fontes de ruído, o condicionamento acústico dos recintos e o dimensionamento da envolvente com vista ao isolamento sonoro [34].

A distinção entre sons aéreos e de percussão é importante, pois o isolamento sonoro dos elementos de construção e a forma de os descrever dependem da natureza do processo de transmissão que estejam em causa. Os sons aéreos derivam da excitação direta do ar, como por exemplo a música, os ruídos de tráfego, conversação entre pessoas. Os sons de percussão derivam de uma ação de impacto, ou seja, de uma ação direta sobre elementos de construção, são exemplos arrastar móveis, bater os pés no pavimento [35].

O ruído define-se como um estímulo sonoro em que o conteúdo informativo não apresenta interesse para o auditor ou como um estímulo sonoro indesejável para o auditor [35].

O conhecimento das características das fontes de ruído é essencial para a elaboração de um programa com vista à definição dos trabalhos a efetuar para dotar o edifício de características adequadas à utilização prevista. As fontes de ruído existentes são: fontes exteriores (ex: ruído do tráfego); fontes interiores (provocadas por atividades no interior do edifício, ex: televisão); estrutura, instalações e acabamentos (ex: redes de águas e esgotos) e instalações especiais (ex: extrator de ar, elevadores, portas de garagem) [10].

Existem vários fatores que devem ser analisados de forma a contribuir para a redução do ruído sentido no interior de edifícios, como a localização e orientação da habitação; a existência de texturas na envolvente, por exemplo a vegetação; utilização de paredes de elevada massa; a utilização de vidros duplos com diferente espessura e elevado índice de redução de ruído; a utilização de materiais absorventes acústicos e utilização de equipamentos com reduzida emissão de ruído [10].

A norma EN^o15251:2007 apresenta intervalos de níveis de pressão sonora para diferentes tipos de edifícios, em função do tipo de ocupação para que existam condições de conforto acústico (Tabela 2). Esta norma visa a avaliação de uma forma simplificada, da qualidade do ambiente acústico, no interior dos edifícios existentes [31].

Tabela 2- Gama de níveis de pressão sonora recomendados pela EN^o15251:2007

Edifício	Tipo de espaço	Nível de pressão sonora (dB(A))
Residencial	Zona de estar	25 a 40
	Quarto	20 a 35

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição dos edifícios analisados

Para a realização do estudo foram selecionados dois edifícios de habitação unifamiliares localizados no norte do país, ambos na mesma freguesia para que estejam expostos às mesmas condições exteriores, como por exemplo, a temperatura exterior, a concentração de poluentes e o ruído.

Um dos edifícios foi construído antes da entrada em vigor do primeiro Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 1990) e outro construído antes da entrada em vigor do RCCTE de 2006, ou seja, abrangido pelo RCCTE de 1990.

Com a análise de edifícios construídos nestes períodos será possível obter um retrato do que o regulamento trouxe de novo à construção do país e verificar as mais valias que a sua implementação trouxe para a eficiência energética e na qualidade do ambiente interior.

3.1.1. Habitação 1

A habitação 1 (Figura 11), é uma moradia unifamiliar, de dois andares, localizada na freguesia de Chafé, Viana do Castelo, construída em 1970 e ampliada em 1988 (Figura 12).

Esta habitação está localizada na proximidade de uma estrada nacional (N13), distanciada a 4 quilómetros da praia e a 760 metros de um aterro sanitário. É ocupada por duas pessoas não fumadoras.

Contém extractores nas instalações sanitárias que são acionados quando a luz do compartimento é ligada e um exaustor na cozinha que funciona de forma pontual, aquando da confeção de alimentos.

Para climatização da habitação e aquecimento de águas sanitárias, é utilizado um fogão a lenha que tem como unidades terminais radiadores para aquecimento, e um esquentador a gás para apoio no aquecimento de águas sanitárias, quando o fogão não está em funcionamento.

Os compartimentos em análise, no rés-do-chão, foram: a sala comum com 31,86 m², a cozinha com 18,40 m² e o quarto com 14,04 m² (Figura 13).



Figura 11 – Fotografia da habitação 1



Figura 12 – Localização da habitação 1 [36]

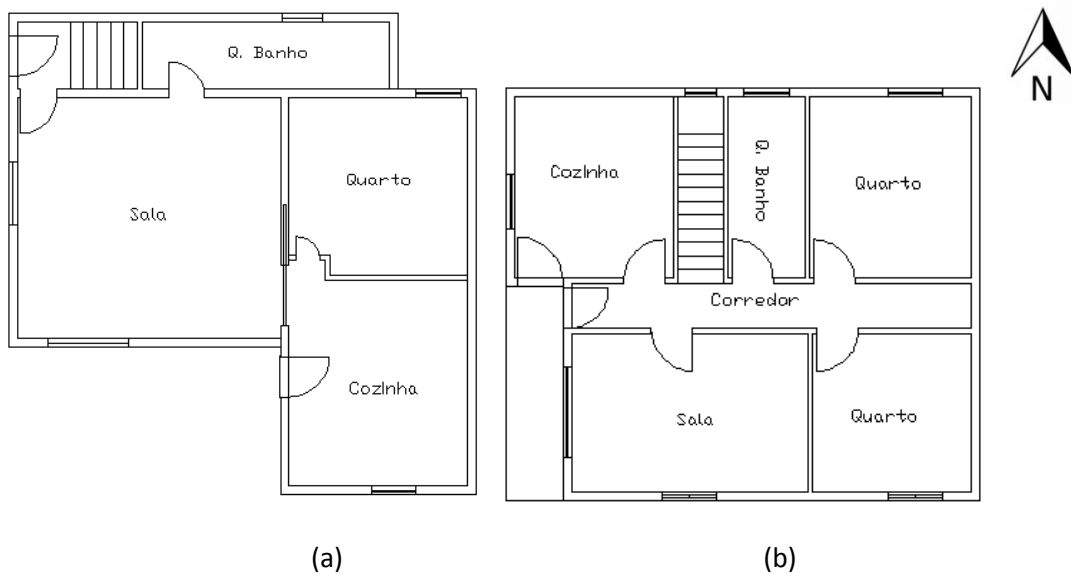


Figura 13 - Planta da habitação 1: (a) Planta Rés-Chão; (b) Planta 1º Piso

A envolvente da habitação 1 apresenta as seguintes soluções construtivas:

- Paredes exteriores simples de tijolo cerâmico furado de 15 cm. As paredes são rebocadas em ambas as faces e pintadas de cor branca pelo interior e cor salmão pelo exterior, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias que têm revestimento cerâmico pelo interior;
- Paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 7 cm, rebocadas em ambas as faces. Nas instalações sanitárias e na cozinha o revestimento é em material cerâmico;
- Cobertura inclinada com desvão não habitável. A cobertura é constituída por laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha de material cerâmico de 15 cm de altura, com telha cerâmica e reboco no interior;
- Pavimento em laje aligeirada com vigotas pré-esforçadas e abobadilha cerâmica com 25 cm, camada de regularização com 5 cm, e revestimento cerâmico;
- Os envidraçados possuem vidro duplo incolor, (4 + 6+ 6 mm) e persianas exteriores de cor cinzenta como sistema de sombreamento. A caixilharia é de alumínio, com corte térmico, de cor cinzenta.

Na Tabela 3 são apresentadas as dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados.

Tabela 3 - Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados por orientação

Compartimento	Largura (m)	Altura (m)	Área (m²)
Cozinha (Sudeste)	1.00	1.10	1.10
Sala (Sudeste)	1.55	2.10	3.26
Sala (Sudoeste)	1.40	1.10	1.54
Quarto (Norte)	1.00	1.10	1.10

3.1.2. Habitação 2

A habitação 2 (Figura 14) é uma moradia unifamiliar, localizada na freguesia de Chafé, Viana do Castelo (Figura 15). Foi construída em 2006 e reabilitada em 2012. É ocupada por três pessoas não fumadoras.

Contém extractores nas instalações sanitárias e um exaustor na cozinha, funcionando de forma pontual.

Para climatização da habitação e aquecimento de águas sanitárias, possui uma caldeira a lenha e um esquentador a gás.

Os compartimentos em análise foram: a sala comum com 50m², a cozinha com 13,25m² e um quarto (suite) com 20m² (Figura 16).



Figura 14 - Fotografia da habitação 2



Figura 15 – Localização da habitação 2 [36]

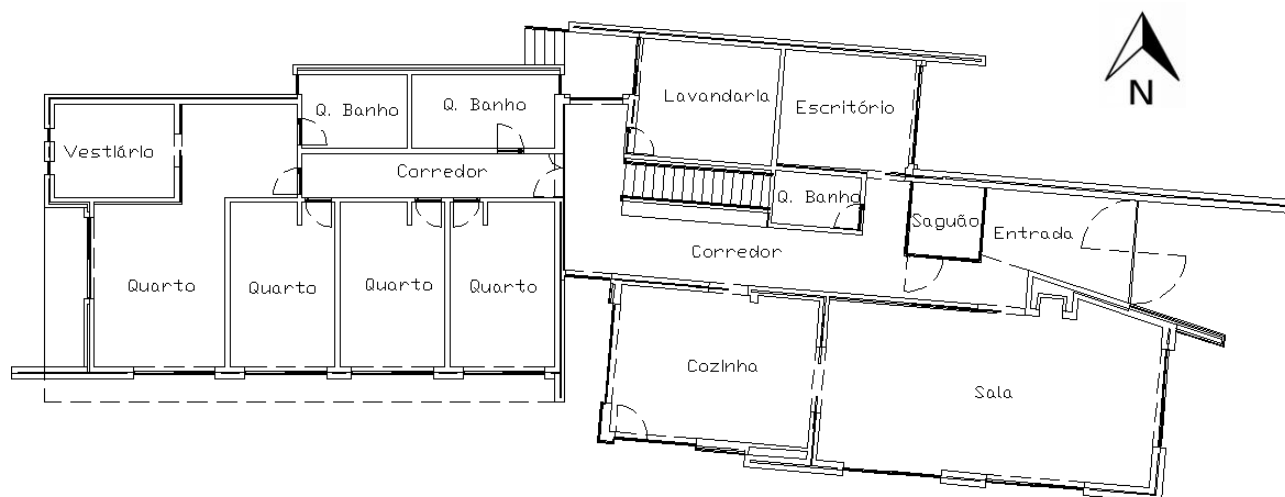


Figura 16 – Planta do R/C da habitação 2

A envolvente da habitação 2 apresenta as seguintes características:

- Paredes exteriores dupla de tijolo cerâmico furado, com 11 cm + 15 cm, com a caixa-de-ar de 4 cm, com 3 cm de isolamento em poliuretano projetado (PUR). As paredes pelo exterior são revestidas a pedra e a fachada orientada a norte é rebocada e pintada de branco. Pelo interior, as paredes são rebocadas e pintadas a cor branca, excepto as instalações sanitária e a cozinha que são revestidas com material cerâmico;
- Paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 7 cm, rebocadas e pintadas a cor branca em ambas as faces, excepto as instalações sanitária que são revestidas com material cerâmico,
- Cobertura plana, com 2 cm de revestimento interior, laje maciça com 25 cm, impermeabilização, 5 cm de isolamento térmico poliestireno extrudido (XPS) e 5cm de camada de godo lavado;
- Pavimento em laje maciça com 25 cm, 5cm de camada de enchimento e camada de regularização com 5 cm, com revestimento cerâmico na cozinha, sala e instalações sanitárias. Nos quartos o revestimento é em madeira;
- Os envidraçados possuem vidro duplo incolor, com (4 + 6+ 6 mm) e persianas exteriores de cor cinzenta como sistema de sombreamento. A caixilharia é de alumínio, com corte térmico, de cor cinzenta.

Na Tabela 4 são apresentadas as dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados

Tabela 4 - Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados por orientação

Compartimento	Largura (m)	Altura (m)	Área (m²)
Cozinha (Sul)	2.10	1.75	3.68
Cozinha (Oeste)	2.80	1.75	4.90
Sala (Sudeste)	2.70	1.75	4.73
Sala (Sul)	2.70 + 2.70	1.75 + 1.75	9.45
Quarto (Oeste)	2.20	1.75	3.85
Quarto (Sul)	2.20	1.75	3.85

3.2. Avaliação da qualidade do ar interior

Os equipamentos utilizados para avaliação da qualidade do ar interior foram: sensor de monóxido de carbono e dióxido de carbono (Testo 435), sensor de ozono (Data Logger Model ZDL-1200), sensor de formaldeído (Data Logger Model ZDL-300) e sensor de partículas respiráveis (PM₁₀) (DUSTTRAK II).

As características de cada um dos equipamentos referidos no parágrafo anterior são apresentadas no ANEXO A.

Em cada ensaio foram realizadas medições de 5 minutos em três pontos distintos de cada compartimento, com todas as portas e janelas fechadas, de acordo com a NT-SCE-02 [37].

A concentração máxima de referência de poluentes no interior de edifícios é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Concentrações máximas de referência de poluentes no interior de edifícios [37]

Parâmetros	Concentração máxima de referência	
	mg/m³	ppm
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1800	984
Monóxido de Carbono (CO)	12,5	10,7
Ozono (O ₃)	0,2	0,10
Formaldeído (HCHO)	0,1	0,08
Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	0,15	-

As concentrações medidas apresentam-se em ppm, mas devem ser convertidas em mg/m³. Os fatores de conversão de gases em partes por milhão para concentrações normalizadas estão a uma temperatura de 293K e à pressão de 101,3kPa (Tabela 6).

Tabela 6 - Fatores de conversão de gases em frações molares [37]

Parâmetro	Fatores de conversão
Dióxido de carbono (CO ₂)	1ppm=1,83 mg/m ³
Monóxido de carbono (CO)	1ppm=1,164 mg/m ³
Ozono (O ₃)	1ppm=2 mg/m ³
Formaldeído (HCHO)	1ppm=1,25 mg/m ³

Assim, a conversão será feita através da Equação 2 [37]:

$$C_{\text{normalizada}} = C_{\text{medida}} \times \frac{P_{\text{medida}}}{101.3} \times \frac{293}{T_{\text{medida}}} \quad (2)$$

Em que,

$C_{\text{normalizada}}$ - Concentração normalizada do poluente (mg/m³);

$C_{\text{média}}$ - Concentração normalizada do poluente medido (mg/m³);

T_{medida} - Temperatura medida (k);

P_{medida} - Pressão atmosférica medida (kPa).

3.3. Avaliação do conforto térmico

Para a avaliação das condições de conforto térmico nos edifícios, utilizou-se o equipamento HD 32.1 Thermal Microclimate, Delta Ohm. A medição do conforto térmico efetuou-se com base nos princípios definidos na norma EN ISO 7726:2001 [38].

As características da estação de conforto HD 32.1 apresentam-se no ANEXO B.

O período de medição foi de meia hora em cada compartimento, no centro dos compartimentos, a uma altura de cerca de 1,10 metros, utilizando o programa operativo A: análise microclimática, sendo este para medição da temperatura de bolbo húmido de ventilação natural, temperatura de bolbo negro, temperatura ambiente, pressão atmosférica, humidade relativa e velocidade do ar.

De forma a verificar as condições hidrotérmicas, averiguar-se-ou se a temperatura se encontrava compreendida entre os valores recomendados pelo REH (20-25) °C e a humidade relativa entre os 30 e os 70% [8].

Dos resultados dos ensaios efetuados obtiveram-se os valores médios de temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do ar e temperatura média radiante. Com estes dados, e admitindo as condições de metabolismo e vestuário recomendados pela EN ISO 15251:2007, calculam-se os índices PMV e PPD que possibilitam avaliar as condições de conforto térmico.

3.4. Avaliação das condições de iluminação

O conforto lumínico foi avaliado através da medição da iluminância e do cálculo do Fator de Luz do Dia, utilizando luxímetros colocados no interior e exterior do edifício.

As medições das iluminâncias efetuaram-se sob condição de luz natural, a uma altura entre os 0,75 e os 0,85m. Para a realização das medições no interior foi definida uma malha retangular, de forma a representar o melhor possível o comportamento lumínico do espaço. Está definido que o luxímetro exterior deve ser colocado na cobertura, mas como a cobertura é de difícil acesso, a medição foi efetuada num plano vertical próximo do envidraçado desobstruído, com um ecrã de cor negra mate para evitar reflexão da luz [10].

O cálculo do Fator de Luz do Dia (FLD) foi obtido através da Equação 3.

$$\text{FLD}(\%) = \left(\frac{E_{\text{int}}}{E_{\text{ext}}} \times 0,396 \right) \times 100 \quad (3)$$

Em que,

E_{int} – Iluminância interior num ponto do plano horizontal de um compartimento (lux);

E_{Vext} – Iluminância exterior simultânea (lux).

Os valores de FLD e a verificação dos requisitos recomendados, de acordo com as recomendações da CIE são apresentados na Tabela 7 [39].

Tabela 7 – Valores recomendados para o FLD, em edifícios residenciais [39]

Compartimento	FLD (%)
Quarto	$\geq 0.5 \%$ a $3/4$ da profundidade do compartimento
Cozinha	$\geq 2 \%$ a $1/2$ da profundidade do compartimento
Sala	$\geq 0,5 \%$ a $1/2$ da profundidade do compartimento

3.5. Avaliação das condições de conforto acústico

Para a avaliação das condições de conforto acústico foi utilizado o sonómetro da CEL Instruments, que permite a medição do nível sonoro contínuo equivalente ponderado A.

Os compartimentos analisados foram o quarto e a sala por serem compartimentos que requerem mais silêncio para a realização de diversas tarefas (ler, descansar, dormir, etc.).

Foram efetuadas três medições em cada compartimento, em pontos distintos. Todas as distâncias mínimas a cumprir em relação à envolvente e o afastamento dos pontos de medição foram cumpridos de acordo com o definido na norma NP 1730-1:2006 [40]. Com os valores obtidos nas três medições, calculou-se a média logarítmica, obtendo-se, assim, um valor médio do nível sonoro em cada compartimento [40].

Para avaliar a situação de conforto acústico é necessário comparar os valores de nível sonoro obtidos, com as gamas recomendadas pela norma EN 15251:2007 [31]. Segundo esta norma é recomendável no quarto um nível sonoro de 20dB a 35dB e na sala um nível sonoro de 25dB a 40dB [31].

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei nº96/2008 de 9 de Julho) apresenta requisitos acústicos de edifícios para melhorar a qualidade acústica [41].

3.6. Previsão do desempenho dos edifícios

Para a análise da qualidade do ambiente interior dos edifícios em estudo recorreu-se a programas de simulação adequados para as diferentes vertentes. Para a simulação do comportamento térmico utilizou-se o programa DesignBuider, para o comportamento lumínico o programa Radiance, para o comportamento acústico o programa AcoubatSound e para o desempenho dos coletores solares o programa SolTerm.

3.6.1. DesignBuilder

O DesignBuilder é um programa que permite construir o modelo em 3D do edifício, caracteriza-lo, bem como os seus sistemas energéticos, e produzir simulações para determinação de consumos energéticos e de potências de climatização, testando também estratégias de otimização energética [42].

O uso desta ferramenta é cada vez mais comum para análise do desempenho energético dos edifícios, avaliação das fachadas em termos visuais, avaliação da ventilação natural, modelos de iluminação natural, dimensionamento dos equipamentos AVAC.

As principais características do DesignBuilder são:

- Possibilita atribuir características aos elementos de construção;
- Construção de pré-definições, consoante as necessidades de cada projeto;
- Alteração de forma rápida e fácil das características do edifício;
- Os dados das simulações podem ser exportados, caso o utilizador tenha uma necessidade específica.

Com o DesignBuilder, é possível simular o comportamento do edifício para o dia de projeto ou anualmente, permitindo também fazer a verificação regulamentar com base no REH [8].

Na Figura 17 apresenta-se a visualização em 3D de um edifício no DesignBuilder.

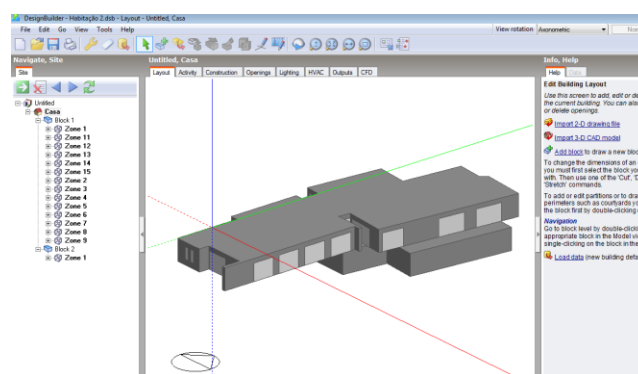


Figura 17 - Visualização 3D de um edifício no DesignBuilder

3.6.2. Radiance

O Radiance é um programa de simulação com uma estrutura modular com flexibilidade para responder a várias situações, originando um conjunto diverso de resultados e, com a ligação ao AutoCAD, que auxilia a introdução de dados e a visualização das condições de iluminação [43].

O Radiance possibilita a simulação de sistemas de iluminação, determina valores de radiação espectral (iluminância e cor) e irradiância espectral de espaços interiores e exteriores, considerando iluminação natural e artificial. É utilizado para prever a iluminação, qualidade visual e aspeto de espaços, para avaliar sistemas de iluminação natural e artificial e analisar o conforto visual e ambiente visual (Figura 18).

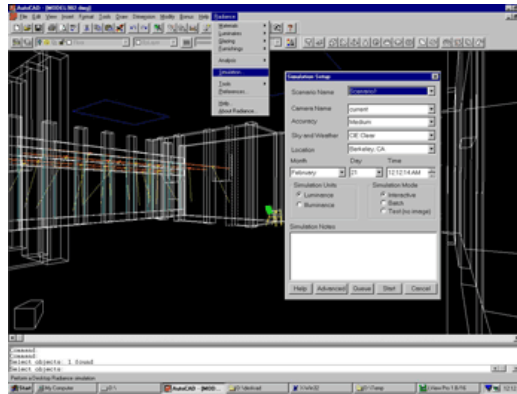


Figura 18 – Visualização do programa Radiance

As principais vantagens do programa Radiance são: a fiabilidade, o rigor e a possibilidade de analisar geometrias complexas e diversas refletâncias [10].

A avaliação lumínica, com o uso desta ferramenta, ocorre da seguinte forma:

- Produção de um modelo 3D em AutoCAD;
- Uso da base de dados disponível para definir os materiais, envidraçados, mobiliário do caso de estudo;
- Descrição dos parâmetros de análise, como por exemplo o posicionamento da câmara, pontos de referência e orientação;
- Exportação da geometria e dos parâmetros de análise e execução da simulação.

3.6.3. Acoubat Sound

O Acoubat Sound V2.0 é um programa de simulação acústica que possibilita avaliar a capacidade de isolamento de edifícios. Para a execução do cálculo de estimativa do comportamento acústico (sons aéreos e de percussão), o modelo recorre a uma base de dados, que permite definir as características de comportamento acústico de várias soluções de compartimentação [44].

Com este programa só é possível criar geometrias retangulares, o que impossibilita ter compartimentos com alturas e larguras diferentes. Na Figura 19 é apresentado um modelo ilustrativo do programa.

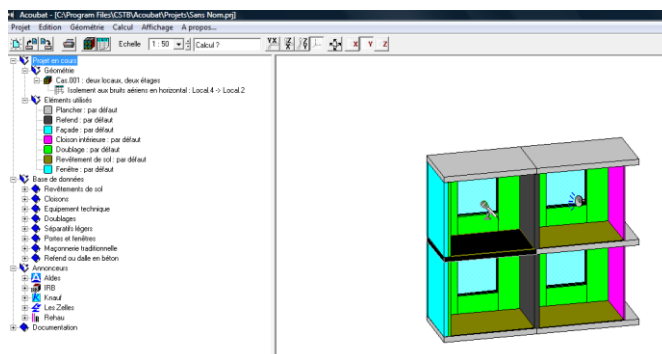


Figura 19 – Visualização do programa Acoubat Sound

3.6.4. SolTerm

O SolTerm é um programa de análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, através de simulação numérica de balanços energéticos ao longo de um ano de referência, e particularmente ajustado às condições climáticas de Portugal (Figura 20).

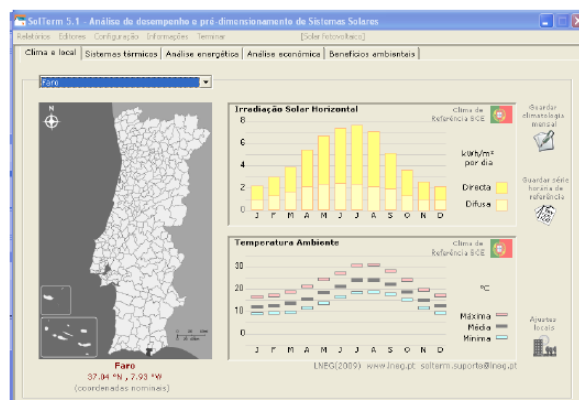


Figura 20 – Visualização do programa SolTerm

A análise de desempenho de um sistema solar é feita no SolTerm por simulação energética, em que são simulados os balanços energéticos no sistema, tipicamente 10 minutos, durante os quais se considera constante o estado do ambiente e o do sistema [45].

Nestas simulações são usadas informações sobre:

- Configuração/dimensionamento do sistema;
- Radiação solar horizontal e temperatura ambiente em base horária;
- Obstruções e sombreamentos;

- Características técnicas dos componentes (coletores, armazenamento, etc.);
- Consumo do sistema em base horária média mensal.

3.7. Simulação da qualidade do ar interior

A simulação da qualidade do ar interior pode seguir a metodologia de Fanger.

Segundo Fanger, a percepção da qualidade do ar é determinada através da percentagem de pessoas descontentes (PPD) e da percepção que os habitantes têm da qualidade do ar interior ao entrarem no compartimento, pois os poluentes podem ter dimensões inferiores aos limites do aparelho de medição, não sendo detetados por este (Equação 4 e Equação 5) [27].

$$PPD = 395 \times e^{-1,83 \cdot q^{0,25}} \quad \text{Para } q \geq 0,32 \text{ l/s/olf} \quad (4)$$

$$PPD = 100\% \quad \text{Para } q \leq 0,32 \text{ l/s/olf} \quad (5)$$

Em que,

PPD - percentagem de pessoas descontentes;

q - caudal de ventilação por unidade de carga de poluente;

olf - poluição gerada por uma pessoa padrão.

Na Tabela 8, são apresentados os níveis de qualidade do ar tendo em conta três categorias (A,B e C) [27].

Tabela 8 - Níveis de qualidade do ar [27]

Categoria	Percepção da qualidade do ar (insatisfação)	Caudal de ventilação (m³/h por pessoa padrão)	Caudal de ventilação (l/s por pessoa padrão)
A	15%	36	10
B	20%	25,2	7
C	30%	14,4	4

A Figura 21 representa os gráficos que o Comité Europeu de Normalização (CEN) estabelece para os três níveis de insatisfação dos ocupantes.

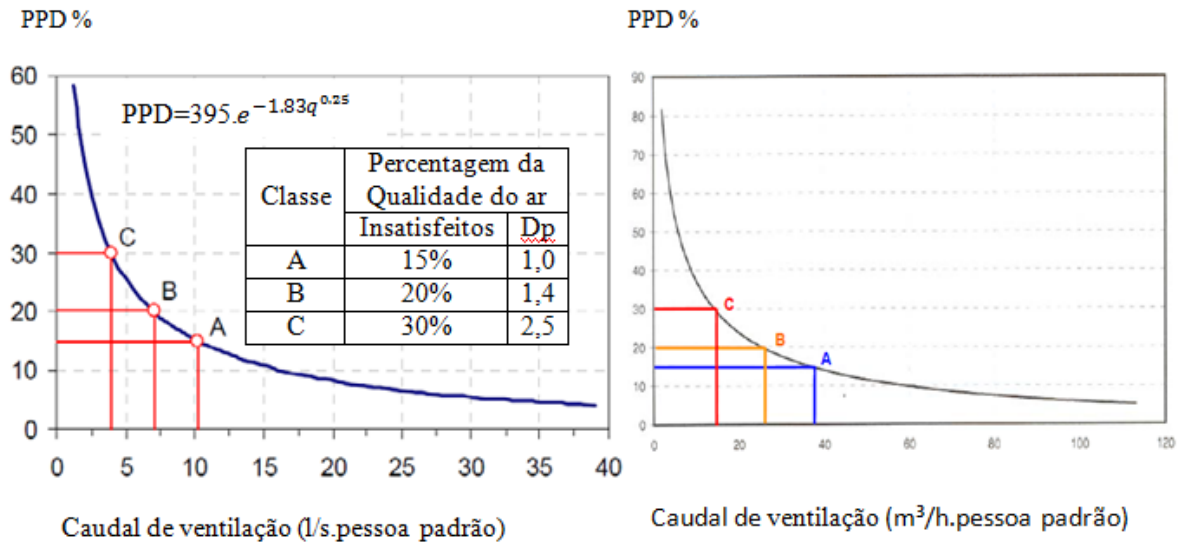


Figura 21 – Percentagem de pessoas descontentes com a qualidade do ar em função da taxa de ventilação (em l/s.pessoa padrão e m³/h.pessoa padrão) [27].

Na Figura 22, apresenta-se um gráfico com a variação da percentagem de pessoas descontentes em função da concentração de CO₂ acima da exterior [27].

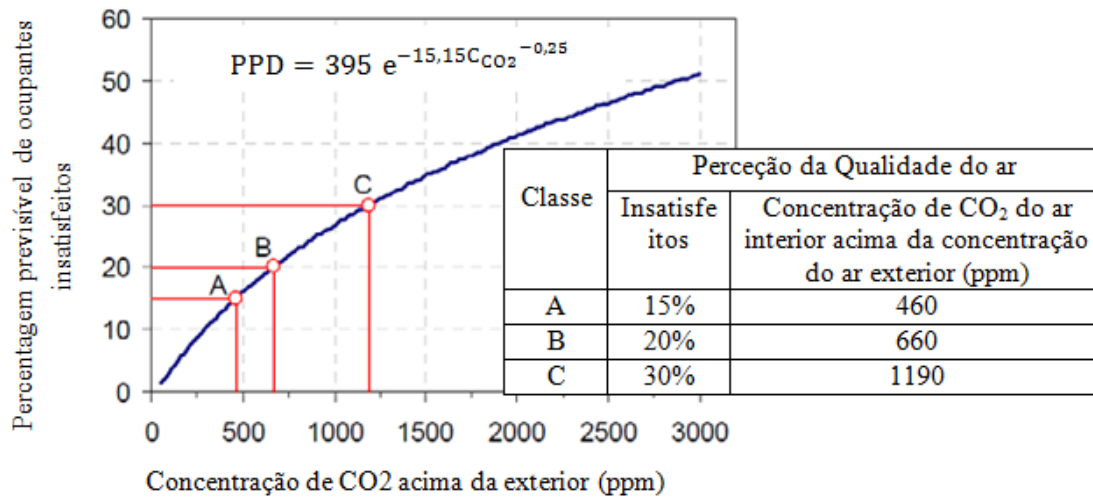


Figura 22 - Concentração de CO₂ acima do exterior (PPM) [27]

A percentagem de pessoas descontentes é obtida pela Equação 6 [27].

$$PPD = 395 \cdot e^{-15.15C_{CO_2}^{-0.25}} \tag{6}$$

Na Figura 23 é apresentada a relação entre a percentagem de pessoas descontentes (PPD) e a percepção da qualidade do ar interior (Ci).

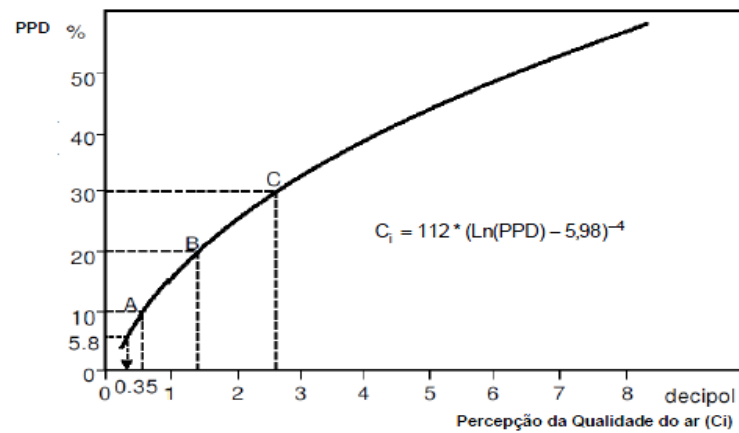


Figura 23 - Percentagem de pessoas descontentes em função da percepção da qualidade do ar interior [27]

A percepção da qualidade do ar interior pode ser obtida pela Equação 7.

$$C_i = 112 \times (\ln(PPD) - 5,98)^{-4} \quad (7)$$

Na Tabela 9, apresenta-se a emissividade olfativa de pessoas/objetos.

Tabela 9- Emissão olfativa de objetos/materiais [27]

Pessoa/objeto	Emissão olfativa (olf)
Pessoa sentada (1 met)	1 olf
Pessoa ativa (4 met)	5 olf
Pessoa ativa (6 met)	11 olf
Fumador (sem estar a fumar)	6 olf
Fumador	25 olf
Atleta	30 olf
Mármore	0,01 olf/m ²
Linóleo	0,2 olf/m ²
Fibra sintética	0,4 olf/m ²
Borracha	0,6 olf/m ²

A carga de poluição sensorial num espaço é determinada com a adição das cargas sensoriais das fontes existentes (ocupantes e materiais do edifício) e cargas de poluentes negativos, que é o caso dos sistemas de ventilação.

Nas Tabelas 10 e 11 apresenta-se a carga poluente sensorial emitida pelos ocupantes e pelos materiais de um edifício, respetivamente.

Tabela 10- Carga sensorial de poluentes emitidos pelos ocupantes [27]

Atividade	Carga de poluição sensorial (olf/ocupante)	CO ₂ (l/h.ocupante)	CO (l/h.ocupante)
Sedentária (1 a 1,2 met)			
0% Fumadores	1	19	
20% Fumadores	2	19	0,011
40% Fumadores	3	19	0,021
Exercício físico			
Fraco (3 met)	4	50	
Médio (6 met)	10	100	
Alto (10 met)	20	170	
Crianças (infantário e escola)			
3 a 6 anos (2,7 met)	1,2	18	
14 a 16 anos (1 a 1,2 met)	1,3	19	

Tabela 11- Carga sensorial de poluentes emitidos pelos materiais do edifício [27]

	Carga sensorial de poluição (olf/m ² pavimento)	
	Valor médio	Gama de valores
Edifício existentes		
Escritório	0,6	0 a 3
Escolas (sala de aula)	0,3	0,12 a 0,54
Infantários	0,4	0,20 a 0,74
Auditório	0,3	0,13 a 1,32
Edifícios novos (sem fumadores)		
Edifício com materiais pouco poluentes (low-polluting)	0,1	
Edifícios não low-polluting	0,2	

Para avaliar o conforto em locais com ocupação frequente, é necessário determinar a taxa de ventilação, que é obtida pela Equação 8.

$$Q_c = 10 \times \frac{G_c}{C_{c,i} - C_{c,o}} \times \frac{1}{\varepsilon_v} \quad (8)$$

Em que,

Q_c – Taxa de ventilação (l/s);

G_c – Carga sensorial dos poluentes (olf);

$C_{c,i}$ – Percentagem da qualidade do ar interior pretendida (dp);

$C_{c,o}$ – Percepção da qualidade do ar exterior nas aberturas de admissão de ar do sistema de ventilação (dp);

ϵ_v – Eficácia da ventilação.

3.8. Período de retorno de investimento

Para determinar o período de retorno de investimento, é necessário calcular em primeiro o custo de exploração através da Equação 10.

$$\text{Custo de exploração} = \frac{N_{aq}}{\eta_i} \cdot A_p \cdot \text{Custo } i \quad (10)$$

Em que,

N_{aq} – Consumo de energia;

η_i – Eficiência nominal do equipamento de climatização;

A_p – Área útil;

Custo i – Custo da energia utilizada pelo equipamento de climatização.

O custo de investimento é calculado tendo em conta os materiais utilizados e a mão-de-obra do técnico.

Por fim, o período de retorno de investimento é dado pela Equação 11.

$$\text{Periodo de retorno de investimento} = \frac{\Delta \text{Custo de investimento}}{\Delta \text{Custo de exploração}} \quad (11)$$

4. ESTUDO DOS EDIFÍCIOS

4.1. Consumos de energia

Os edifícios analisados são climatizados, sendo a fonte de energia, a lenha.

Com o número de cargas de lenha anuais, o número de horas de consumo, ou seja, o número de horas de aquecimento das habitações por ano, e com a potência nominal dos equipamentos de climatização foram estimados os consumos energéticos dos edifícios.

- **Habituação 1**

A habitação 1 é climatizada através de um fogão a lenha.

Durante o ano de 2013 foram utilizadas 3 cargas de lenha com 3,00 m³ cada.

A lenha de eucalipto, tem uma densidade de 750kg/m³ em secagem natural, visto ser uma madeira densa [46]. Na Equação 9 é apresentada fórmula da densidade em que ρ é a densidade, m é a massa e V o volume.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (9)$$

Na Tabela 12 apresentam-se os valores dos diversos parâmetros para o cálculo do consumo de energia do fogão a lenha.

Tabela 12 – Consumo de energia do fogão a lenha

Densidade (kg/ m ³)	750
Volume (m ³)	9
Massa (kg)	6750
Potência nominal (kW)	11
Consumo de lenha (kg/h)	6,25
Horas de consumo (h)	1080
Consumo de energia (kW.h)	11880

Durante o ano foram consumidos 87,98 kW.h/m² pelo fogão a lenha.

- **Habitação 2**

A habitação 2 é climatizada através de uma caldeira de lenha e de um recuperador de calor a lenha localizado na sala.

Durante o ano de 2013 foram utilizadas 8 cargas de lenha com 3,00 m³ cada.

Os valores dos diversos parâmetros para o cálculo do consumo de energia da caldeira a lenha e do recuperador a lenha, são apresentados nas Tabela 13.

Tabela 13 - Consumo de energia

	Consumo de energia da caldeira a lenha	Consumo de energia do recuperador a lenha
Densidade (kg/ m ³)	750	750
Volume (m ³)	18	6
Massa (kg)	13500	4500
Potência nominal (kW)	56,2	9
Consumo de lenha (kg/h)	12,5	16,7
Horas de consumo (h)	1080	270
Consumo de energia (kW.h)	60696	2430

Durante o ano, foram consumidos 280,62 kW.h/m² pela caldeira a lenha e pelo recuperador a lenha.

4.2. Patologias existentes e princípios de reabilitação

Após uma análise visual às duas habitações estudadas foram analisadas patologias não estruturais, maioritariamente associadas a humidade e infiltrações.

Na Figura 24 é apresentada uma fotografia do teto do quarto da habitação 1 onde se podem observar problemas de condensações superficiais, que levaram posteriormente ao aparecimento de bolor e destacamento da pintura.

Esta patologia agrava-se principalmente no inverno, quando a superfície interior da envolvente do espaço tem temperaturas inferiores à temperatura do ponto de orvalho.



Figura 24 – Vista interior do teto do quarto da habitação 1

Possíveis princípios de soluções para resolver este problema passam por:

- Ventilação do compartimento;
- Colocação de isolamento térmico, pois quanto melhor for o isolamento térmico da envolvente exterior, maior será a temperatura superficial interior e menor será a probabilidade de ocorrência de condensação.

A Figura 25 mostra o teto da sala da habitação 1 que apresenta manchas de humidade e destacamento de tinta. Este problema ocorreu devido à infiltração de água proveniente de um problema na rede de abastecimento de água à banheira da casa de banho do piso superior.



Figura 25 - Vista interior do teto da sala da habitação 1

Para reabilitar esta patologia, a solução começa por tratar o problema pela raiz, ou seja, verificar o estado das canalizações e substituí-las.

Na Figura 26 pode-se observar o rodapé da parede exterior da sala da habitação 1 orientada a sul, com problemas de humidade. Essa humidade pode ser proveniente do solo, pelo fenómeno de capilaridade.



Figura 26 – Vista interior do rodapé da parede da sala, habitação 1

A Figura 27, contém duas fotografias a uma parede da sala da habitação 2 orientada a sul, com problemas de humidade. Esta humidade é possivelmente proveniente do terreno, ascendendo por processos de capilaridade.



Figura 27 – Parede da sala da habitação 2

A Figura 28 apresenta uma fotografia de uma parede interior da garagem subterrânea totalmente enterrada da habitação 2, onde se verificam problemas de humidade, provavelmente proveniente do terreno por capilaridade. Esta patologia surgiu pouco tempo após a construção da habitação. Foi colocado recentemente azulejo a uma altura de cerca de 1 metro para encobrir as manchas de humidade e o destacamento da pintura. Contudo, esta não foi uma solução para eliminar o problema, pois como se pode verificar na imagem, a humidade continuou a surgir. Devem então ser tomadas medidas que anulem este problema pela raiz.



Figura 28 – Parede da garagem da habitação 2

Nas patologias devidas à humidade proveniente do terreno, é necessária uma intervenção de modo a impedir ou minimizar o contacto da água do terreno com as paredes afetadas. Contudo, são processos complicados de resolver e que nem sempre são possíveis.

Seguidamente são apresentadas possíveis soluções para esta patologia [22]:

- Introdução de produtos impermeabilizantes – o objetivo é criar uma camada horizontal contínua impermeável ao longo da parede afetada. Com efeito, deve ser executado um conjunto de furos na parede, onde serão introduzidos produtos impermeabilizantes, por gravidade ou por injeção sobre pressão.
- Execução de valas periféricas – esta solução consiste na realização de uma vala periférica às paredes para a drenagem da água existente no terreno.

Antes de serem tomadas medidas para combater problemas de humidade provenientes do terreno, deve ser feita uma análise do mesmo por um especialista para verificar se a causa do aparecimento de água é de origem freática ou superficial, para assim, tomar as medidas adequadas.

5. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR DE EDIFÍCIOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios in situ dos dois edifícios de habitação estudados.

Os parâmetros avaliados foram: a qualidade do ar interior, o conforto térmico, o conforto lumínico e o conforto acústico.

5.1. Avaliação da Qualidade do Ar Interior

Os poluentes químicos analisados foram o Dióxido de Carbono (CO_2), o Monóxido de Carbono (CO), o Ozono (O_3), o Formaldeído (HCHO) e as Partículas Suspensas no Ar com diâmetro interior a $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}).

As medições realizaram-se na cozinha, no quarto e na sala, no dia 06 de Maio 2013.

Para a execução da avaliação de QAI foram utilizadas as recomendações da Nota Técnica NT-SCE-02, que define os poluentes a medir, as suas concentrações de referência e as metodologias de ensaios.

5.1.1. Habitação 1

5.1.1.1. Dióxido de Carbono (CO_2)

- **Cozinha**

Tal como se pode verificar na Figura 29 a concentração de dióxido de carbono na cozinha é superior à concentração de referência. A elevada concentração deste poluente pode estar relacionada com o funcionamento do fogão a gás e do esquentador, que se encontram na cozinha. A ocupação humana (duas pessoas) também pode influenciar estes valores.

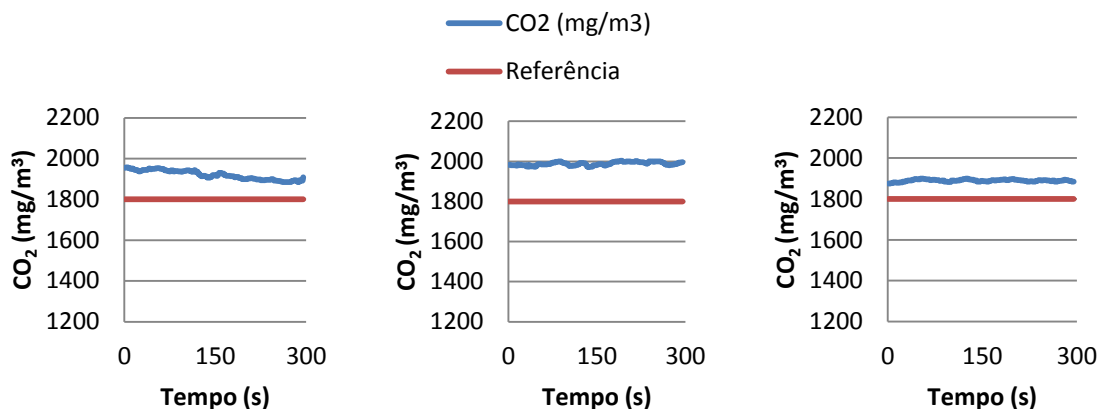


Figura 29 – Concentração de dióxido de carbono na cozinha, habitação 1

- **Quarto**

A Figura 30 contém os gráficos com as concentrações de dióxido de carbono no quarto. A elevada quantidade de CO₂ presente deve-se sobretudo à ocupação humana (duas pessoas) pois o ensaio foi realizado meia hora após os ocupantes abandonarem o quarto. Também pode ter origem nos processos de combustão que ocorrem na cozinha, que tem ligação ao quarto.

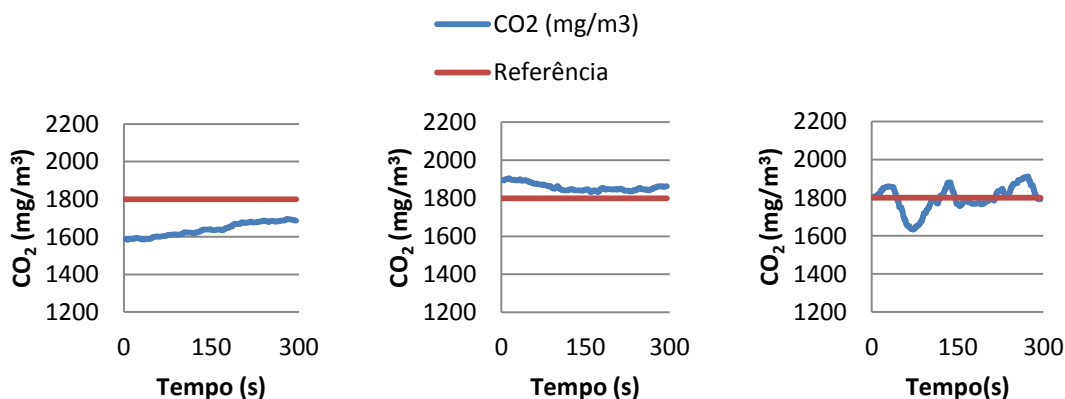


Figura 30 – Concentração de dióxido de carbono no quarto, habitação 1

- **Sala**

Na Figura 31 são apresentados os gráficos das concentrações de dióxido de carbono na sala. O facto de a cozinha e a sala serem ligadas justifica a elevada concentração deste poluente que pode ser proveniente de processos de combustão existentes na cozinha. A ocupação humana (duas pessoas) também pode interferir nos resultados.

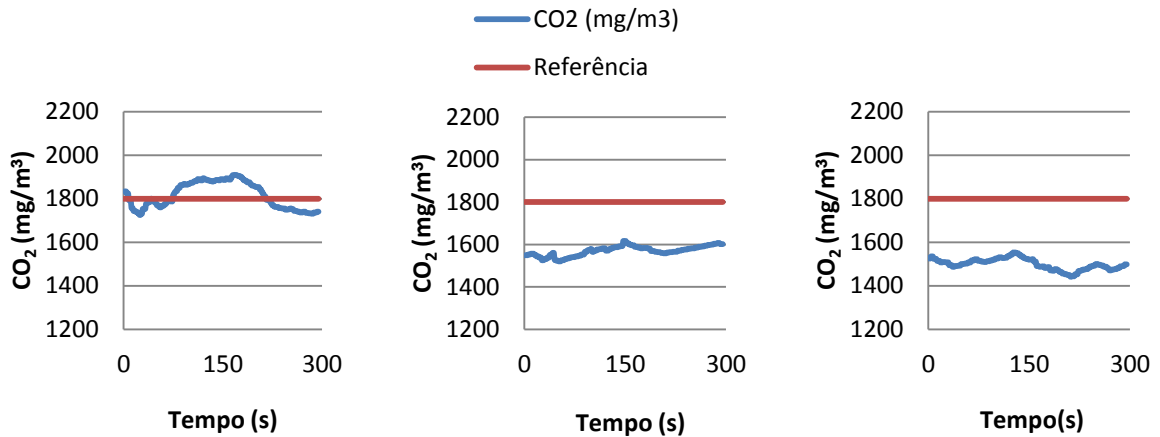


Figura 31 – Concentração de dióxido de carbono na sala, habitação 1

5.1.1.2. Monóxido de carbono (CO)

• Cozinha

As concentrações de monóxido de carbono medidas na cozinha são inferiores ao valor máximo recomendado, tal como se pode verificar na Figura 32. No entanto foi detetada a presença deste poluente em pequenas concentrações devido aos processos de combustão do fogão e do esquentador a gás que se encontram na cozinha.

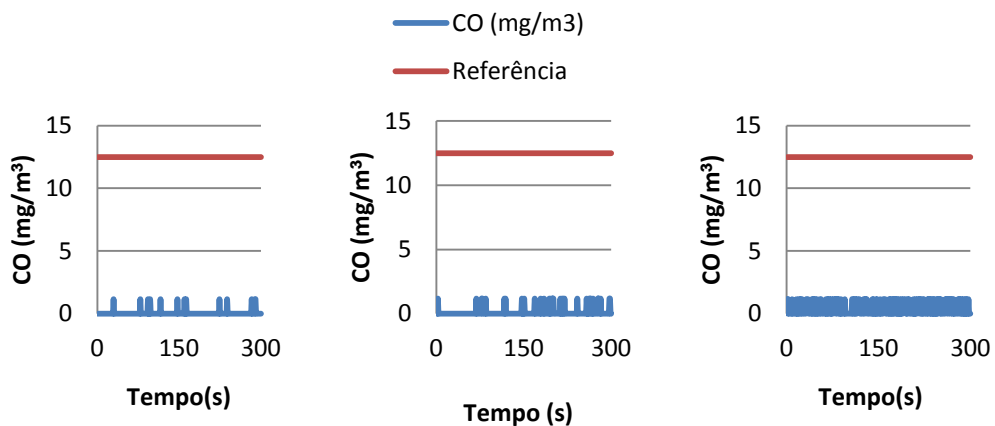


Figura 32 - Concentração de monóxido de carbono na cozinha, habitação 1

• Quarto

Na Figura 33 apresentam-se as concentrações de monóxido de carbono medidas no quarto, este poluente regista valores inferiores ao valor limite recomendado. Contudo existe uma pequena concentração pois o quarto tem ligação direta à cozinha onde existem processos de combustão.

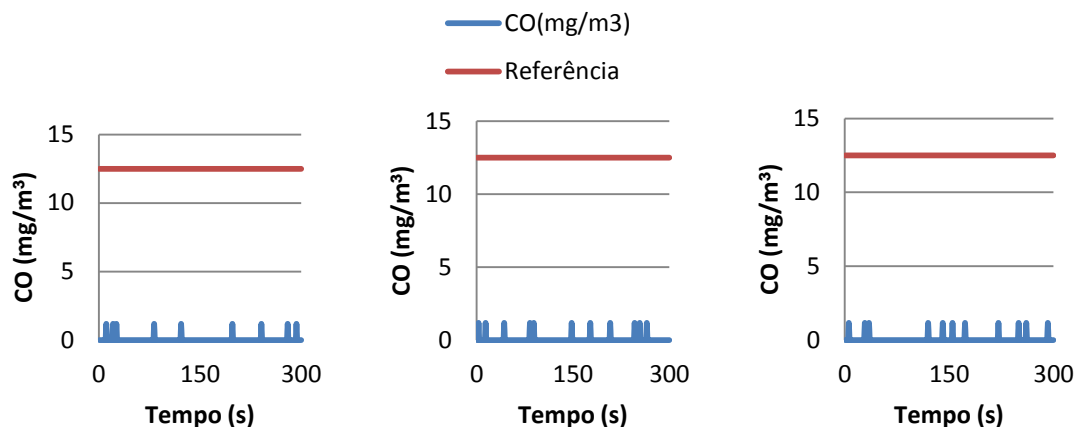


Figura 33 - Concentração de monóxido de carbono no quarto, habitação 1

• **Sala**

Na sala, as concentrações de monóxido de carbono encontram-se dentro do limite de referência, tal como se pode verificar na Figura 34. Porém, verifica-se uma pequena quantidade deste poluente pelas mesmas razões descritas para o quarto.

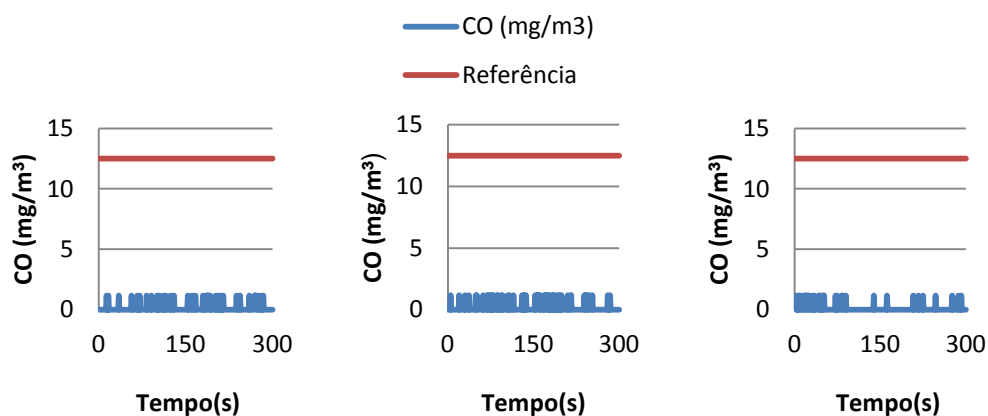


Figura 34- Concentração de monóxido de carbono na sala, habitação 1

5.1.1.3. Formaldeído (HCHO)

• **Cozinha**

Na Figura 35 apresenta-se os resultados das medições de formaldeído efetuadas na cozinha. A concentração num dos pontos de medição foi inferior ao valor limite máximo recomendado e nos dois outros pontos foi nula. A pequena quantidade presente deve-se eventualmente aos produtos de limpeza pois o ponto de medição onde se detetou a presença de HCHO é junto ao armário de armazenamento de produtos de limpeza.

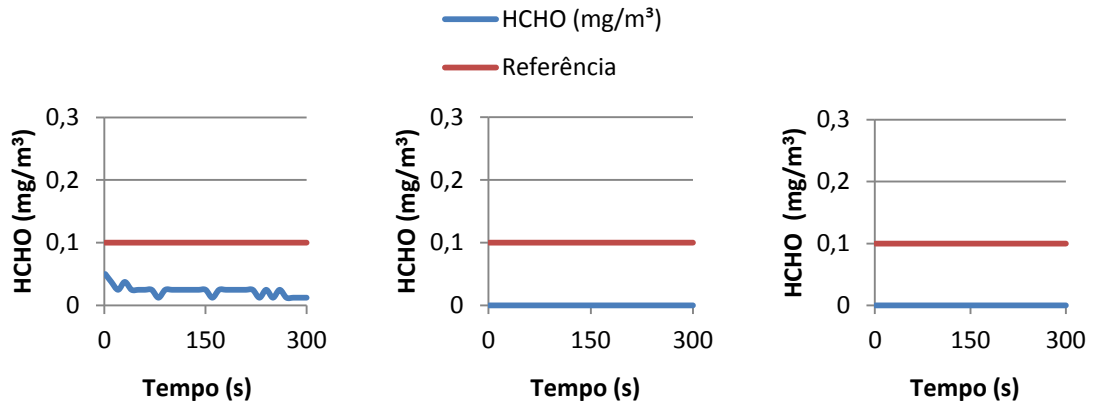


Figura 35 – Concentração de formaldeído na cozinha, habitação 1

- **Quarto**

Não foi detetada a presença de formaldeído no quarto, tal como se pode verificar na Figura 36.

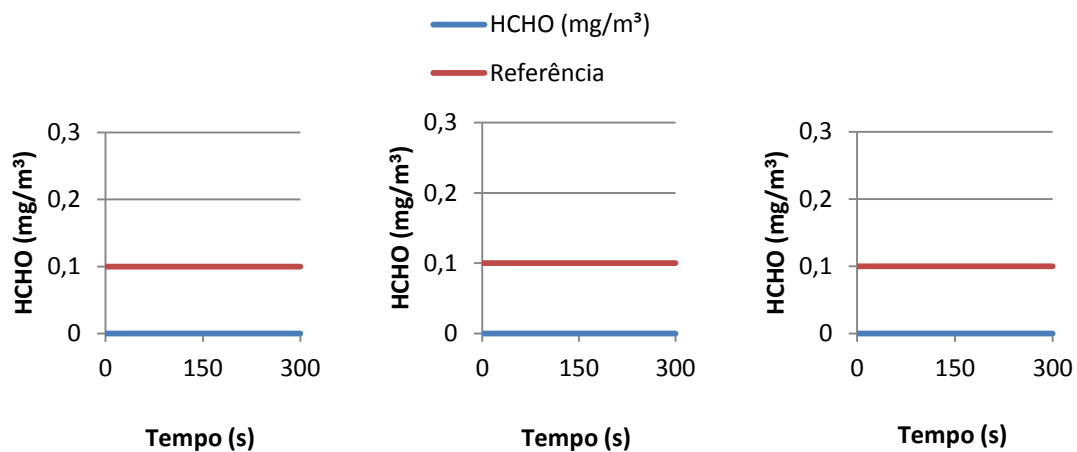


Figura 36 – Concentração de formaldeído no quarto, habitação 1

- **Sala**

Na sala foi detetada a presença de formaldeído em concentrações acima do valor máximo recomendável, tal como mostram os gráficos da Figura 37. Este poluente é possivelmente proveniente de materiais de construção, produtos de limpeza, velas ou ambientadores. Perante estes resultados, podemos constatar que esta habitação não é muito ventilada pois existe no interior deste compartimento uma elevada concentração de HCHO.

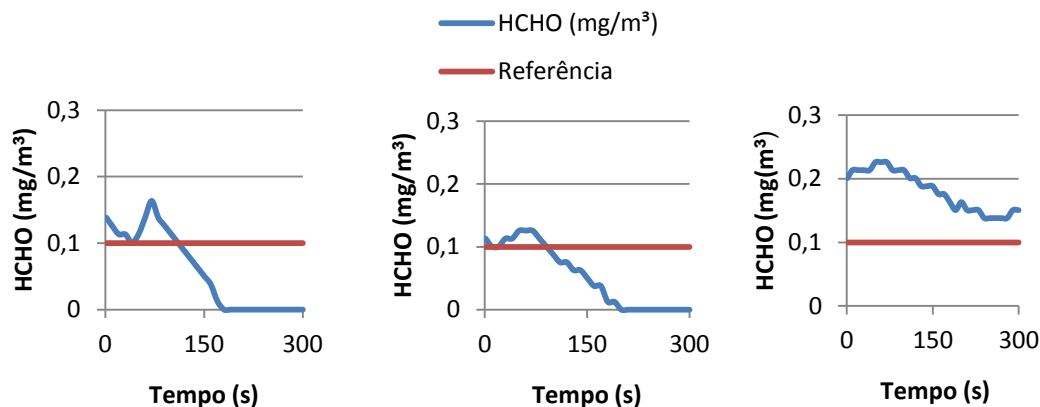


Figura 37 – Concentração de formaldeído na sala, habitação 1

5.1.1.4. Ozono (O₃)

- **Cozinha**

As concentrações de ozono na cozinha são apresentadas na Figura 38. Em todos os pontos de medição os valores excederam o limite de referência, possivelmente devido a reações ionizantes decorrentes dos vários eletrodomésticos existentes no compartimento (fogão, esquentador, frigorífico, microondas, máquina d café, lâmpadas, etc), pode também provir do exterior.

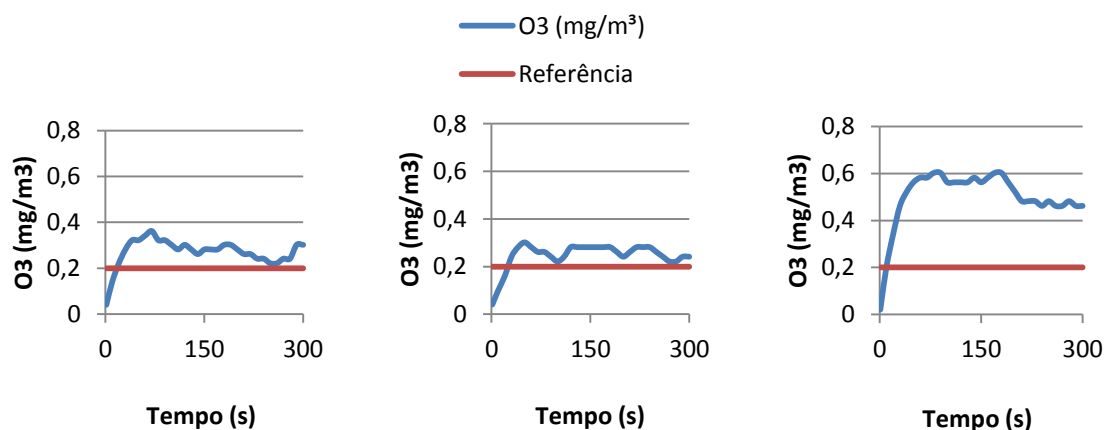


Figura 38 – Concentração de ozono na cozinha, habitação 1

- **Quarto**

A Figura 39 apresenta os gráficos com a representação das concentrações de ozono no quarto. Esta quantidade de poluente é possivelmente proveniente do exterior, visto que no interior do compartimento não existe nenhuma fonte de ozono.

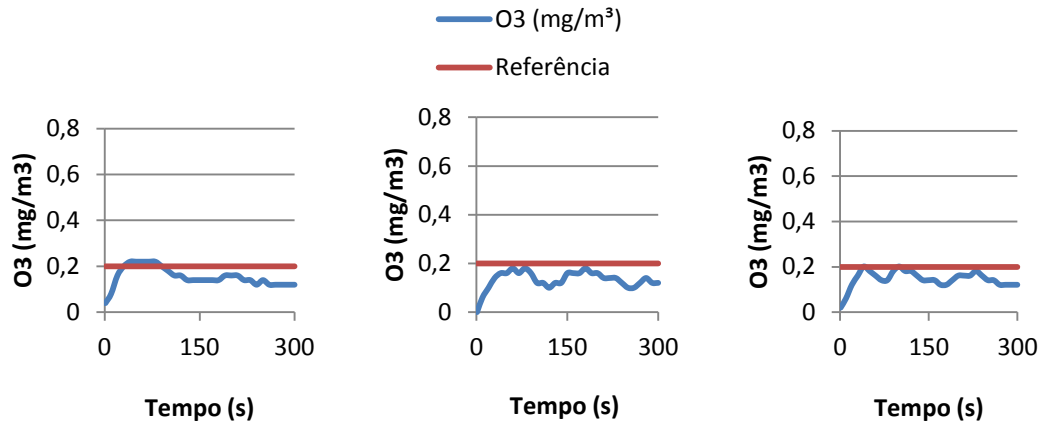


Figura 39 – Concentração de ozono no quarto, habitação 1

- **Sala**

Na sala as concentrações de ozono encontram-se abaixo do valor máximo de referência, tal como se pode ver na Figura 40. A pequena quantidade do poluente presente tem, muito provavelmente, origem no exterior.

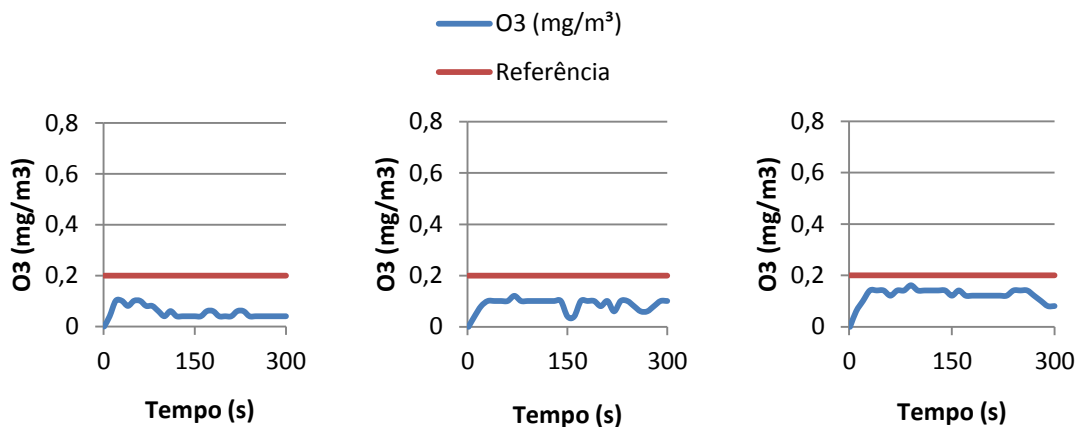


Figura 40 – Concentração de ozono na sala, habitação 1

5.1.1.5. Partículas suspensas no ar (PM₁₀)

- **Cozinha**

Na Figura 41 apresentam-se as concentrações de partículas suspensas no ar, na cozinha. Os valores medidos encontram-se dentro do limite de referência. As concentrações presentes têm, possivelmente, origem nos processos de combustão devidos ao fogão e esquentador existentes.

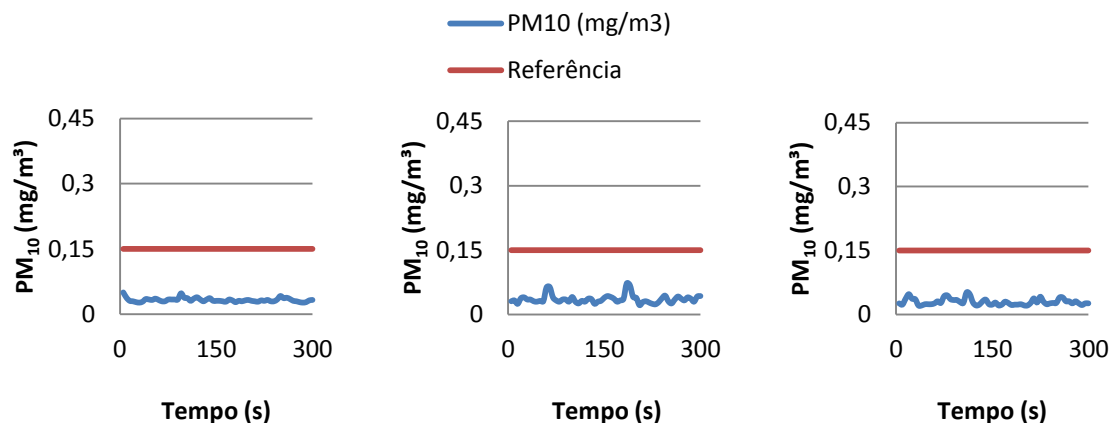


Figura 41 – Concentração de partículas suspensas no ar na cozinha, habitação 1

• **Quarto**

Na Figura 42 apresentam-se as concentrações de partículas suspensas no ar, no quarto. Os valores medidos encontram-se dentro dos valores de referência. Contudo as pequenas concentrações existentes devem-se possivelmente a materiais têxteis (cobertores, carpetes, sofás, tapetes, roupa).

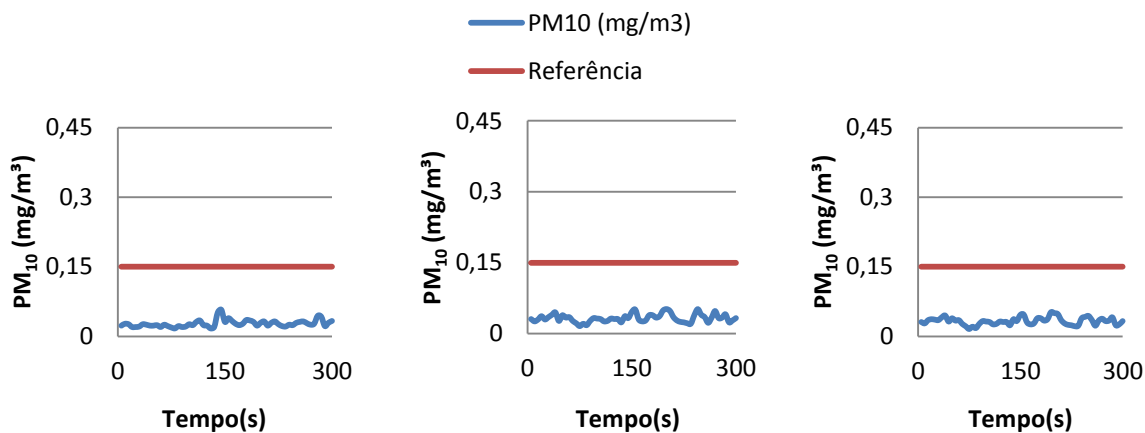


Figura 42 – Concentração de partículas suspensas no ar no quarto, habitação 1

• **Sala**

A Figura 43 apresenta as concentrações de partículas suspensas no ar, na sala. Os valores medidos encontram-se acima do valor limite de referência. A existência de têxteis como cortinas, carpetes e sofás é uma possível fonte para os níveis de partículas acima do desejado. Também pode ser proveniente do exterior pois a habitação encontra-se próxima de uma estrada com elevada circulação automóvel.

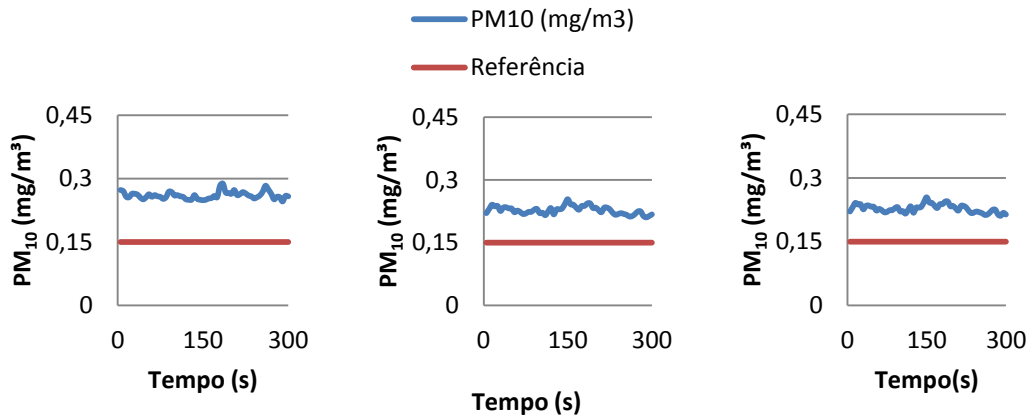


Figura 43 – Concentração de partículas suspensas no ar na sala, habitação 1

5.1.2. Habitação 2

5.1.2.1. Dióxido de Carbono (CO₂)

• Cozinha

Na Figura 44 são apresentados os gráficos das concentrações de dióxido de carbono na cozinha. Como se pode verificar, as concentrações excedem o valor máximo de referência, possivelmente proveniente de processos de combustão do fogão a gás.

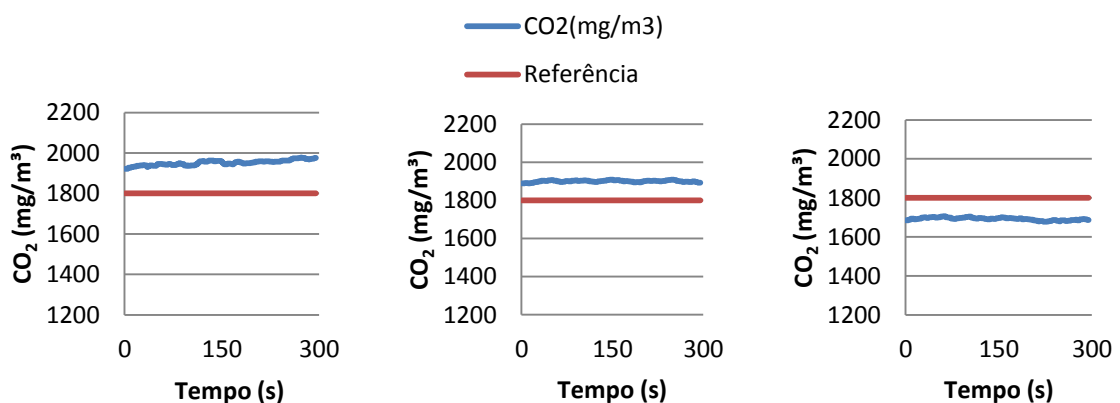


Figura 44 – Concentração de dióxido de carbono na cozinha, habitação 2

• Quarto

Na Figura 45 apresentam-se os resultados da quantidade de dióxido de carbono no quarto. Esta elevada concentração deve-se sobretudo à ocupação humana visto as medições serem feitas pouco tempo após os ocupantes saírem do quarto. Possivelmente os automóveis

estacionados na garagem subterrânea com ligação direta à habitação, também influenciam os resultados. Pode-se presumir, através destes resultados, que este compartimento deve ser ventilado com pouca frequência.

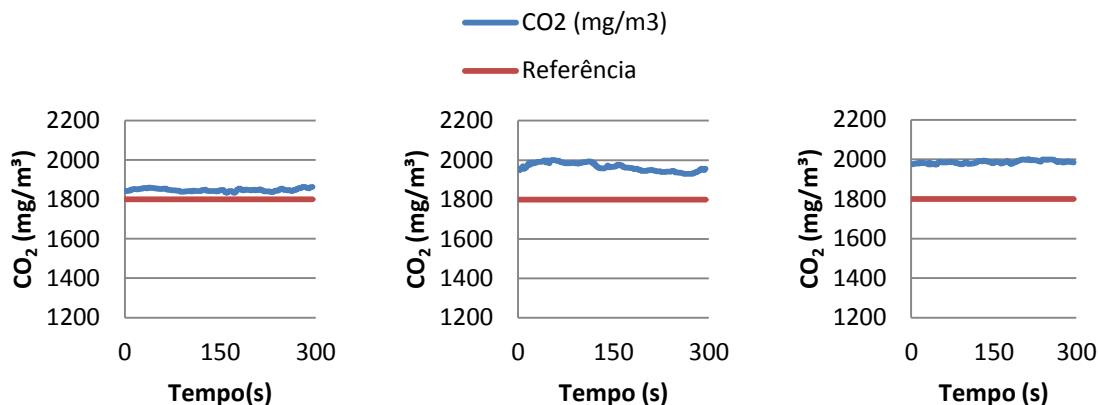


Figura 45 – Concentração de dióxido de carbono no quarto, habitação 2

- **Sala**

As concentrações de dióxido de carbono na sala apresentam-se na Figura 46. As concentrações detetadas podem ter origem na ocupação humana presente ou até mesmo nos automóveis, tal como referido anteriormente.

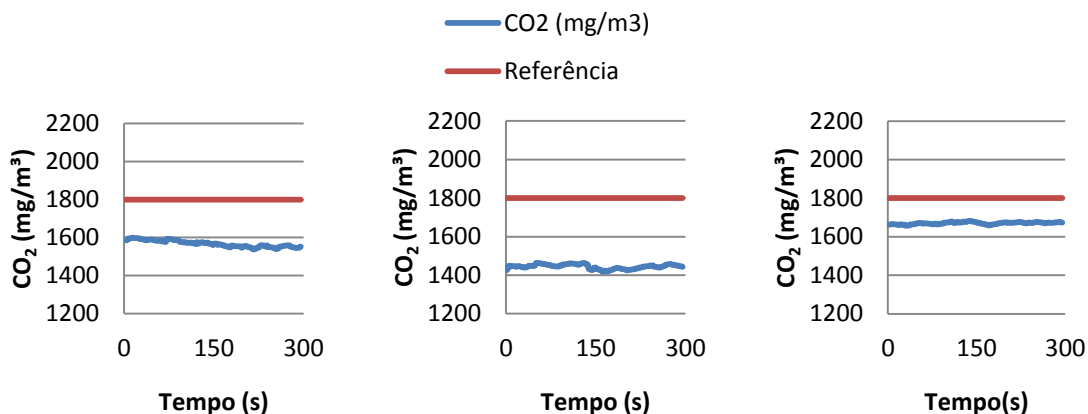


Figura 46 – Concentração de dióxido de carbono na sala, habitação 2

5.1.2.2. Monóxido de Carbono (CO)

• Cozinha

A concentração de monóxido de carbono na cozinha encontra-se abaixo do limite de referência (Figura 47). A origem das concentrações medidas neste compartimento poderá estar na garagem subterrânea que tem contacto com o corredor a até com os diversos compartimentos por descuido em fechar as portas de acesso. Além disso, também pode ter origem em processos de combustão do fogão ou do esquentador, ou pelo exterior.

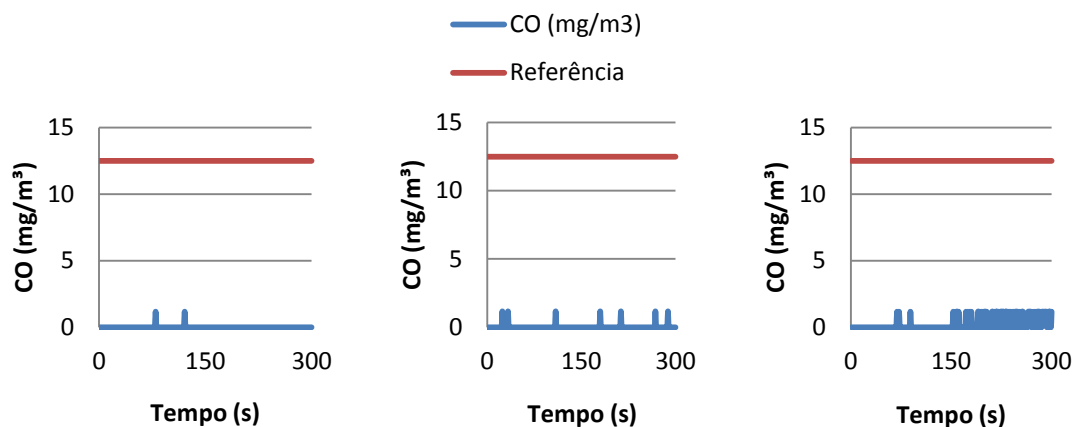


Figura 47 - Concentração de monóxido de carbono na cozinha, habitação 2

• Quarto

A concentração de monóxido de carbono no quarto tem um valor aceitável, pois encontra-se abaixo do limite de referência, tal como se pode verificar na Figura 48. No entanto é notável a presença de concentrações de CO, eventualmente proveniente do exterior ou da garagem, tal como referido anteriormente.

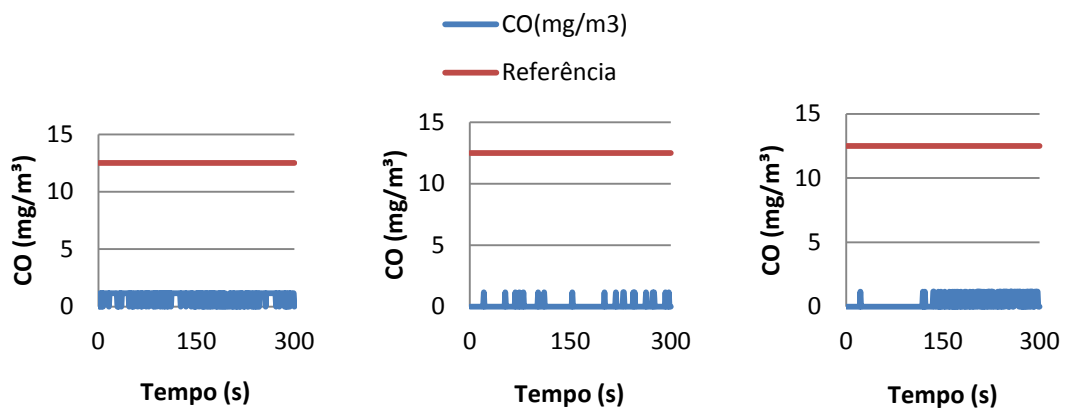


Figura 48- Concentração de monóxido de carbono no quarto, habitação 2

- **Sala**

A Figura 49 apresenta os gráficos das concentrações de monóxido de carbono na sala. Os valores são aceitáveis por se encontrarem abaixo do valor de referência. Contudo, é notável a presença de concentrações de CO, originada no exterior ou pelos automóveis presentes na garagem.

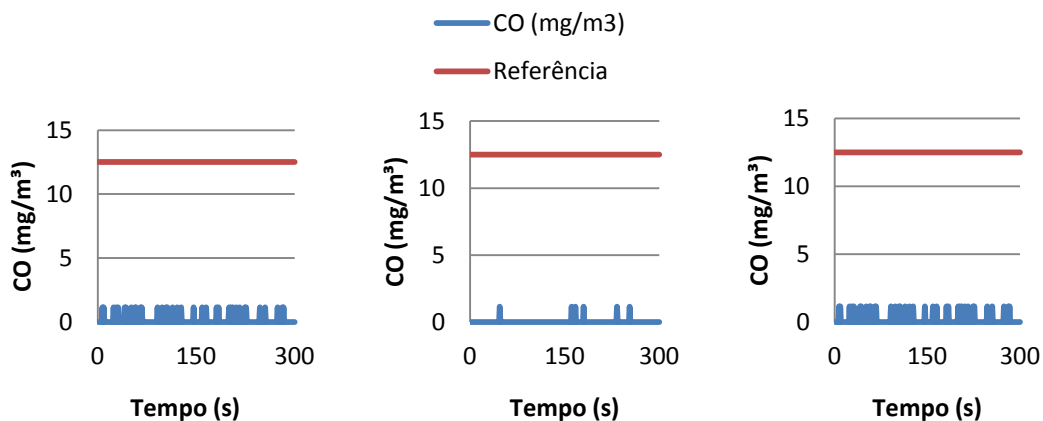


Figura 49- Concentração de monóxido de carbono na sala, habitação 2

5.1.2.3. Formaldeído

- **Cozinha**

Na cozinha não foi detetada a presença de formaldeído, tal como se pode verificar nos gráficos da Figura 50.

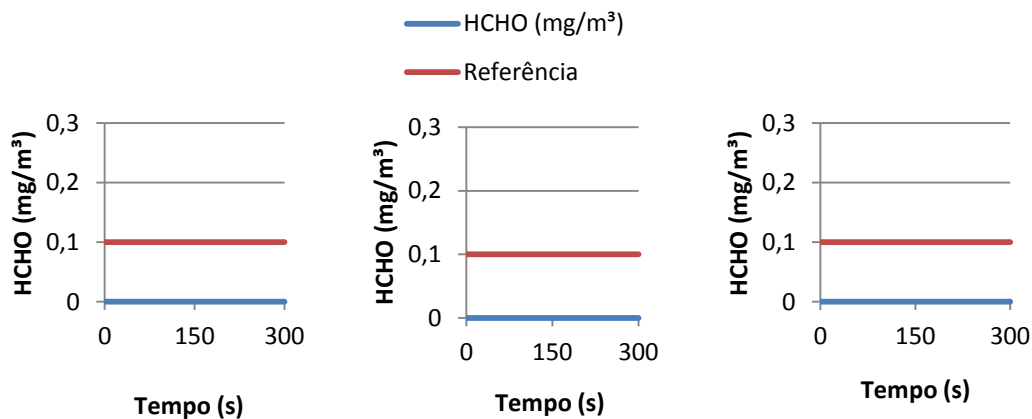


Figura 50 - Concentração de formaldeído na cozinha, habitação 2

- Quarto

Analisando a Figura 51, pode-se verificar que num dos três pontos de medição do quarto, a concentração de formaldeído ultrapassa o valor limite recomendável. A presença deste poluente pode ser por o quarto ter ligação direta ao quarto de banho onde existem vários produtos cosméticos e de higiene e por vezes produtos de limpeza. A existência de vários têxteis no quarto, como carpetes, tapetes, cobertores, roupa, e até mesmo o mobiliário podem influenciar os resultados.

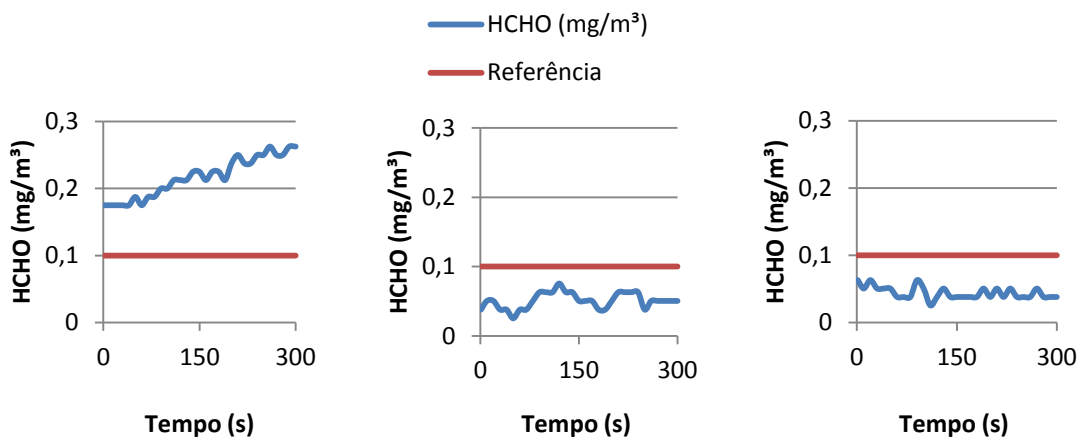


Figura 51 - Concentração de formaldeído no quarto, habitação 2

- Sala

Como se pode verificar na Figura 52, não foi detetado formaldeído na sala.

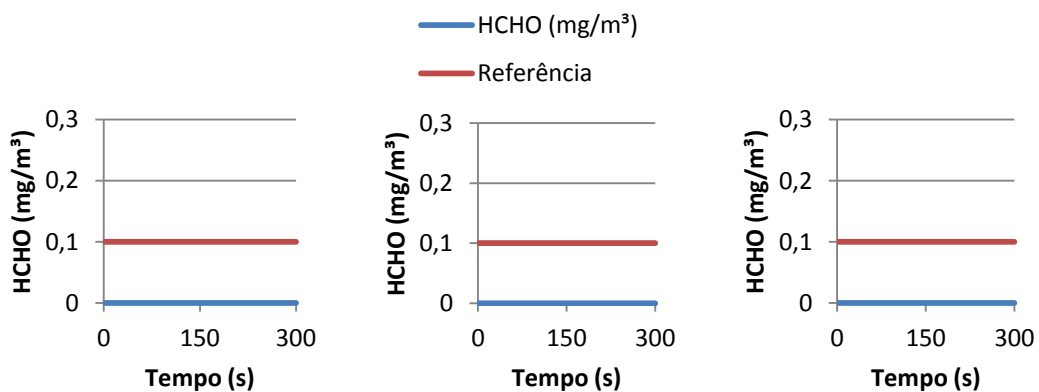


Figura 52 - Concentração de formaldeído na sala, habitação 2

5.1.2.4. Ozono

• Cozinha

A Figura 53 mostra os gráficos de concentrações de ozono na cozinha. Embora os valores das concentrações sejam aceitáveis, encontram-se muito próximos do valor limite recomendável. Este facto tem origem, possivelmente, em reações ionizantes decorrentes dos diversos eletrodomésticos existentes no espaço (frigorífico, micro-ondas, máquina de café, máquina de lavar loiça) e no exterior.

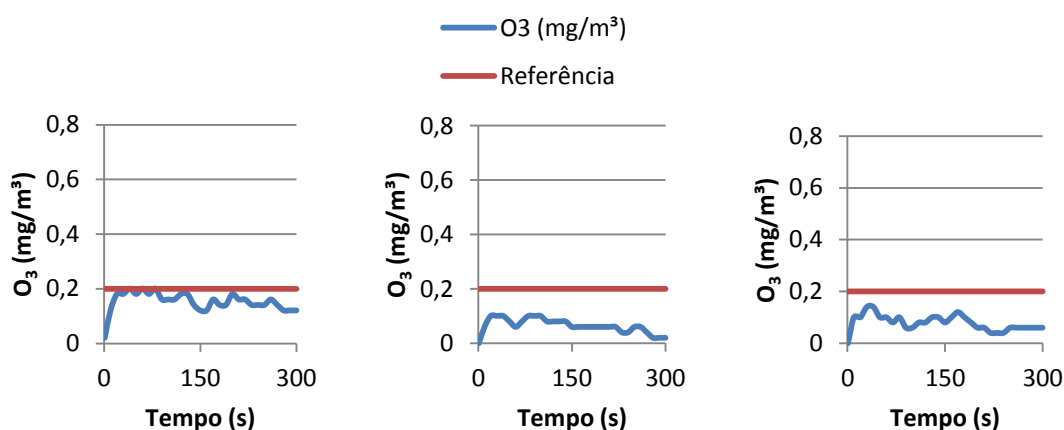


Figura 53 - Concentração de ozono na cozinha, habitação 2

• Quarto

Tal como se pode verificar nos gráficos da Figura 54, num dos pontos de medição, a concentração de ozono ultrapassa o valor limite recomendável. A concentração deste poluente deve ser proveniente do exterior.

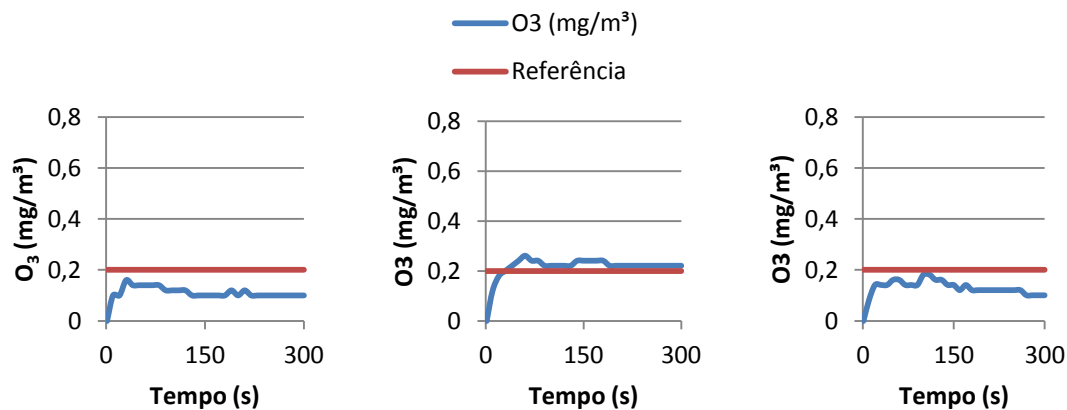


Figura 54 - Concentração de ozono no quarto, habitação

- Sala

Na Figura 55 apresentam-se as concentrações de ozono na sala que respeitam os requisitos regulamentares. A presença deste poluente deve-se ao ar exterior.

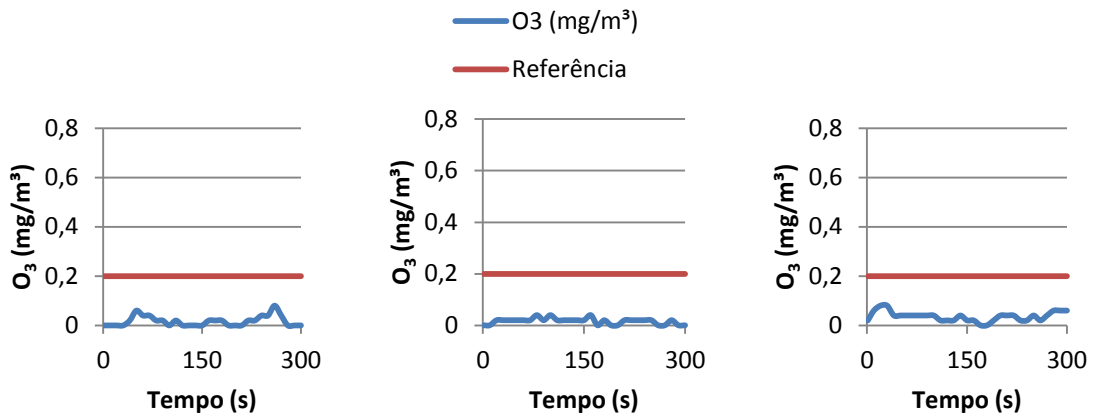


Figura 55 - Concentração de ozono na sala, habitação 2

5.1.2.5. Partículas suspensas no ar (PM₁₀)

- Cozinha

A Figura 56 apresenta as concentrações de PM₁₀ na cozinha. Os valores medidos encontram-se abaixo dos valores de referência. Possivelmente, a origem destas partículas pode estar em processos de combustão, pelos carros estacionados na garagem subterrânea ou pelo jardim que se encontra próximo da habitação.

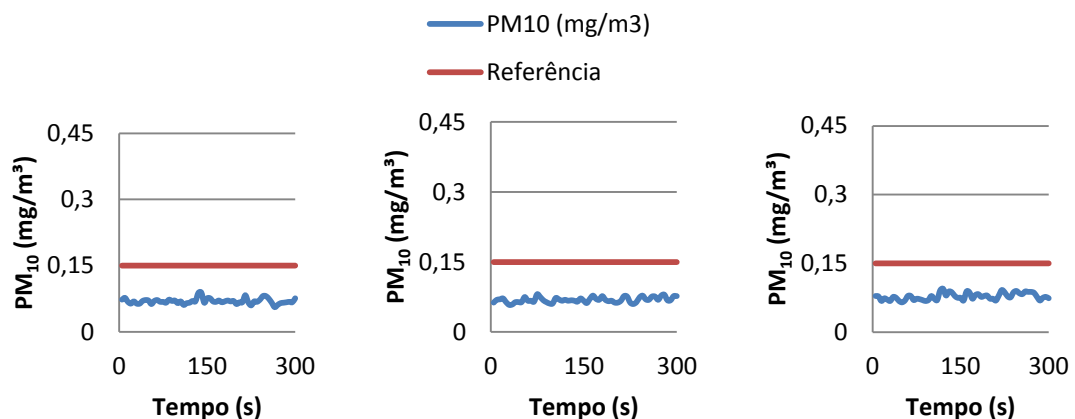


Figura 56 – Concentração de partículas suspensas no ar na cozinha, habitação 2

- **Quarto**

A Figura 57 mostra a concentração de PM_{10} no quarto, sendo este o compartimento com menor concentração de partículas presentes. Estas concentrações apresentam-se abaixo do valor de referência. A existência de vários materiais têxteis (carpetes, tapetes, cobertores, roupa) pode ser uma das possíveis causas das concentrações de PM_{10} medidas.

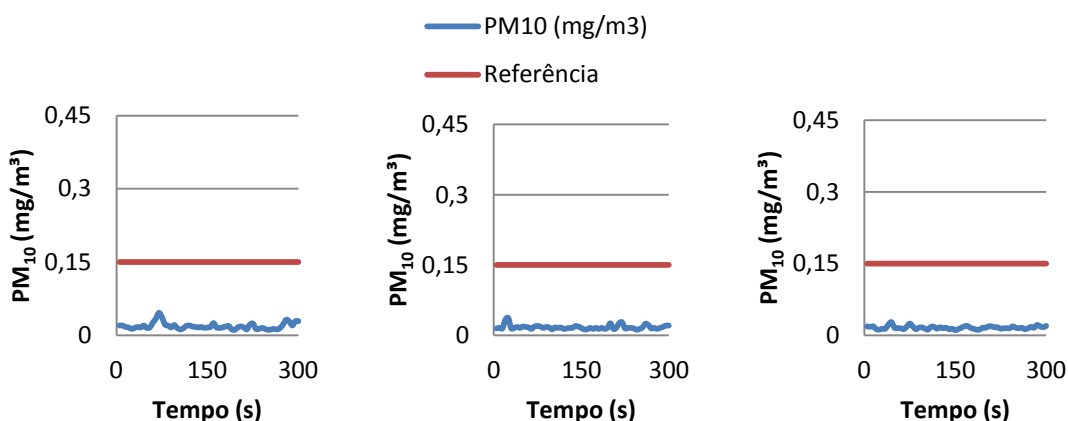


Figura 57 – Concentração de partículas suspensas no ar no quarto, habitação 2

- **Sala**

A Figura 58 apresenta a concentração de PM_{10} na sala. Estas concentrações estão abaixo dos valores de referência. Uma das possíveis causas é a existência de um recuperador na sala e a existência de vários materiais têxteis (carpetes, tapetes, sofás). Pode também ter origem no exterior.

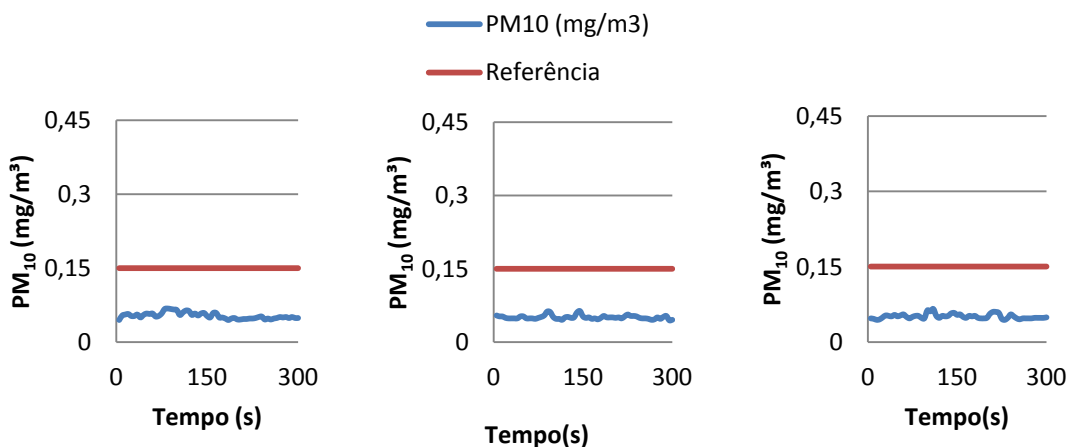


Figura 58 - Concentração de partículas suspensas no ar no quarto, habitação 2

5.1.3. Estratégias de mitigação

Depois de apresentados os resultados e as possíveis causas das concentrações de poluentes medidas nos compartimentos estudados das duas habitações, é importante apresentar soluções que assegurem a qualidade do ar interior.

A presença de dióxido de carbono e monóxido de carbono é sobretudo devido a processos de combustão associados a fogões e esquentadores a gás, recuperadores de calor, tráfego automóvel exterior e estacionamento de automóveis na garagem subterrânea.

Assim, é importante extrair o ar interior através de sistemas de extração associados a fogões e verificar o funcionamento de fogões e esquentadores. Deve-se evitar deixar a porta de ligação da garagem à restante habitação aberta para reduzir o alastramento de poluentes provenientes dos automóveis para o interior da habitação.

A abertura de janelas ou a utilização de grelhas auto-reguláveis também é necessária para evacuar o ar interior principalmente em períodos de maior libertação de poluentes. Contudo, há uma contrapartida pois o ar exterior poderá ser poluído e entrar para o interior, por isso a habitação deve ser arejada num horário de pouco tráfego automóvel, como por exemplo durante a noite.

As concentrações de partículas suspensas no ar estão associadas à presença de produtos têxteis que acumulam pó. Por isso é necessário fazer uma correta seleção dos produtos a utilizar e se possível substituir por produtos que libertem menos quantidades de poluentes, não deixando, obviamente de fazer uma frequente limpeza (aspirar, lavar, sacudir).

A implementação de sistema de ventilação mecânica, com funcionamento contínuo, ou pelo menos nos períodos de ocupação com admissão de ar, localizada em locais afastados das fontes de poluentes e se a qualidade do ar exterior não for pior do que a interior, esta estratégia poderá melhorar a qualidade do ar ao nível de qualquer um dos poluentes medidos.

5.2. Avaliação do Comportamento Higrotérmico

Os compartimentos analisados para avaliação do comportamento higrotérmico foram a cozinha, o quarto e a sala por serem os locais mais frequentados de habitação e requererem mais conforto para os ocupantes.

Para a avaliação das condições de conforto térmico, foi medida a temperatura do ar, a humidade relativa, a temperatura do bolbo negro e a velocidade do ar, de acordo com o definido pelas normas EN ISO 7726:2001, EN ISO 7730:2005 e EN 15251:2007 [38,29,31].

Este ensaio foi realizado no dia 25 de Maio 2013, pelas 14h30, com céu encoberto e temperatura exterior de 18°C.

O período de medição foi de meia hora no programa operativo A. O equipamento foi posicionado de modo a que as medições fossem realizadas a uma altura de cerca de 1.10 metros, no centro dos compartimentos.

Durante a realização dos ensaios não estava ligado nenhum sistema de climatização do edifício.

A atividade metabólica dos ocupantes é de 1,2 met que corresponde a uma atividade sedentária nos compartimentos analisados.

A resistência térmica da roupa é de 1clo que corresponde a roupa interior, camisola de algodão e manga comprida, calças, casaco, meias grossas e sapatos.

5.2.1. Habitação 1

- **Cozinha**

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas na cozinha (Figura 59 e Tabela 14), é possível verificar que temperatura ambiente de inverno, 19,3°C, era próxima do valor de referência pelo REH (20°C). A humidade relativa medida foi de aproximadamente de 41%, encontrando-se no intervalo de valores recomendado (30% a 70%).

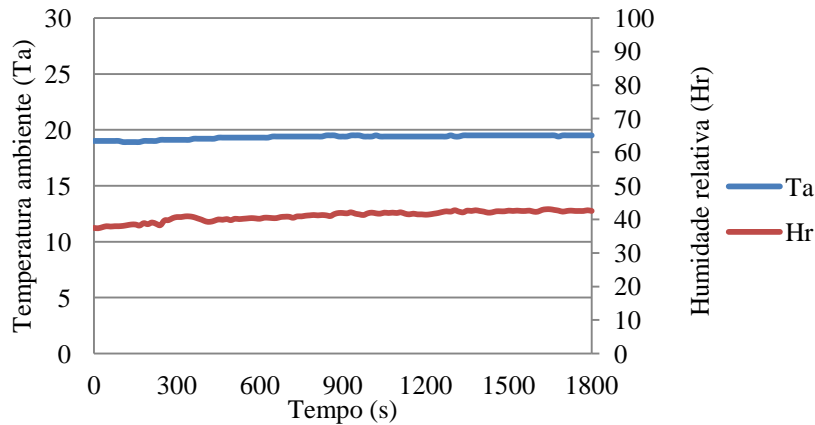


Figura 59 - Condições higrométricas na cozinha, habitação 1

A Tabela 14 apresenta os valores da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e humidade relativa medidos na cozinha pelo equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Tabela 14 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha, habitação 1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	18,9	19,3	19,5
Temperatura do bolbo negro (°C)	19,1	19,3	19,3
Temperatura média de radiação (°C)		19,2	
Velocidade do ar (m/s)	0	0,0018	0,06
Humidade relativa (%)	37,4	41,0	43
Vestuário (Clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante (°C)		19,3	
PMV		-0,5	
PPD (%)		9,8	

É possível concluir que os ocupantes sob estas condições de temperatura se encontram em estado neutro (PMV= - 0,5) e a percentagem de pessoas descontentes é de 9,8%, cumprindo a norma ASHRAE Standard 55:2010, EN 15251:2007 e EN ISO 7730:2005 (Figura 60).

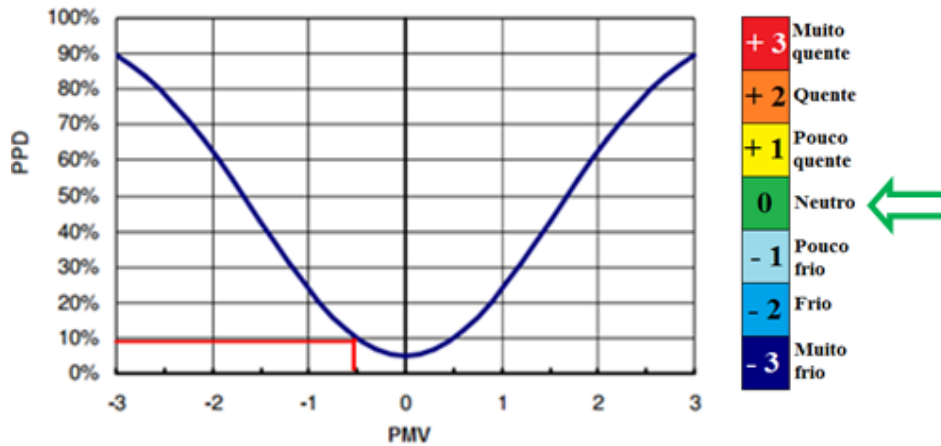


Figura 60 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) e voto médio previsível (PMV) na cozinha, habitação 1

• Quarto

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas no quarto (Figura 61 e Tabela 15), verifica-se que a temperatura ambiente de inverno, 18,8°C, era próxima do valor de referência pelo REH. A humidade relativa medida é de 53%, encontrando-se no do intervalo de valores recomendados (30% a 70%).

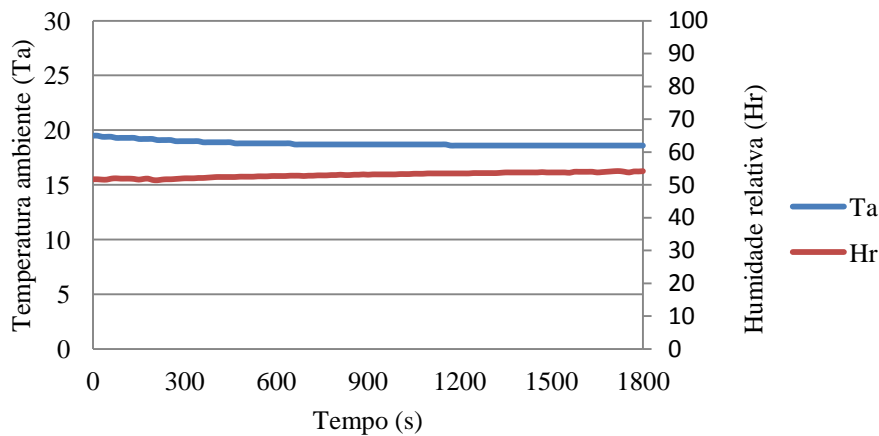


Figura 61 - Condições higrométricas no quarto, habitação 1

A Tabela 15, apresenta os valores da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e humidade relativa medidos no quarto pelo equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Tabela 15 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto, habitação 1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	18,6	18,8	19,5
Temperatura do bolbo negro (°C)	18,7	18,9	19,2
Temperatura média de radiação (°C)		20,6	
Velocidade do ar (m/s)	0	0,0032	0,14
Humidade relativa (%)	51,4	53,0	54,0
Vestuário (Clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante (°C)		19,9	
PMV		-0,3	
PPD (%)		7,4	

É possível concluir que os ocupantes sob estas condições de temperatura se encontram em estado neutro (PMV= - 0,3) e a percentagem de pessoas descontentes é de 7,4%, cumprindo a norma ASHRAE Standard 55:2010, EN 15251:2007 e EN ISO 7730:2005 (Figura 62).

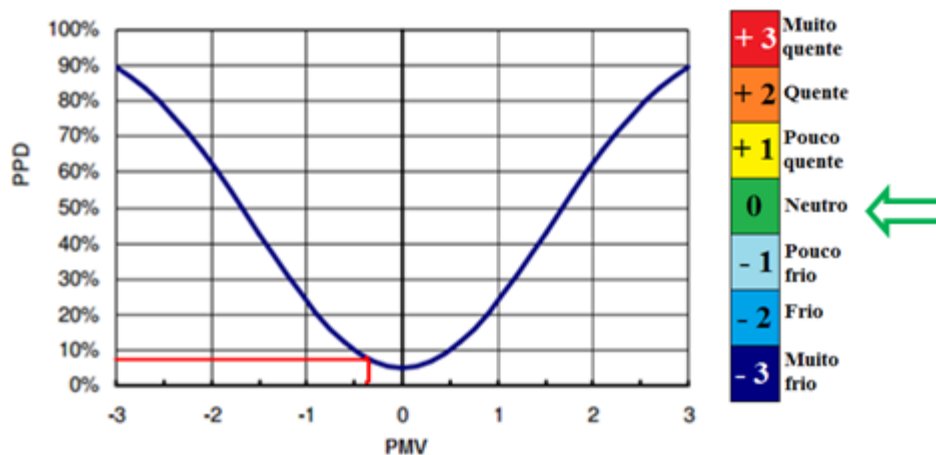


Figura 62- Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) no quarto, habitação 1

- **Sala**

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas na sala (Figura 63 e Tabela 16), é possível verificar que temperatura ambiente de Inverno, 18,7°C, era próxima do valor de referência pelo REH. A humidade relativa medida é de aproximadamente de 45%, encontrando-se no do intervalo de valores recomendado (30% a 70%).

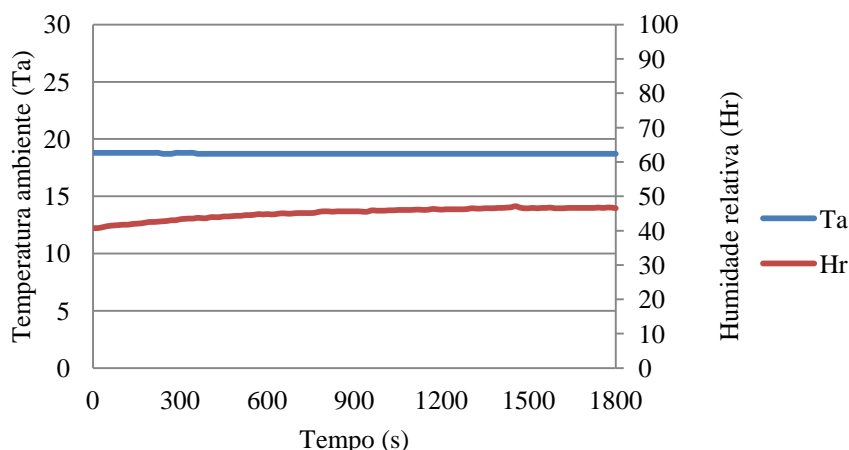


Figura 63 - Condições higrométricas na sala, habitação 1

A Tabela 16, apresenta os valores da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e umidade relativa medidos na sala pelo equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Tabela 16- Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala, habitação 1

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	18,7	18,7	18,8
Temperatura do bolbo negro (°C)	18,7	18,8	19,4
Temperatura média de radiação (°C)		18,8	
Velocidade do ar (m/s)	0	0,0009	0,07
Umidade relativa (%)	40,7	45,0	47,1
Vestuário (Clo)		1,0	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante (°C)		18,8	
PMV		-0,6	
PPD (%)		12,1	

É possível concluir que os ocupantes sob estas condições de temperatura se encontram num estado de conforto térmico entre o ligeiramente frio e o frio (PMV= - 0,6) e a percentagem de pessoas descontentes é de 12,1%, cumprindo a norma ASHRAE Standard 55-2010, EN 15251 e EN ISO 7730 (Figura 64).

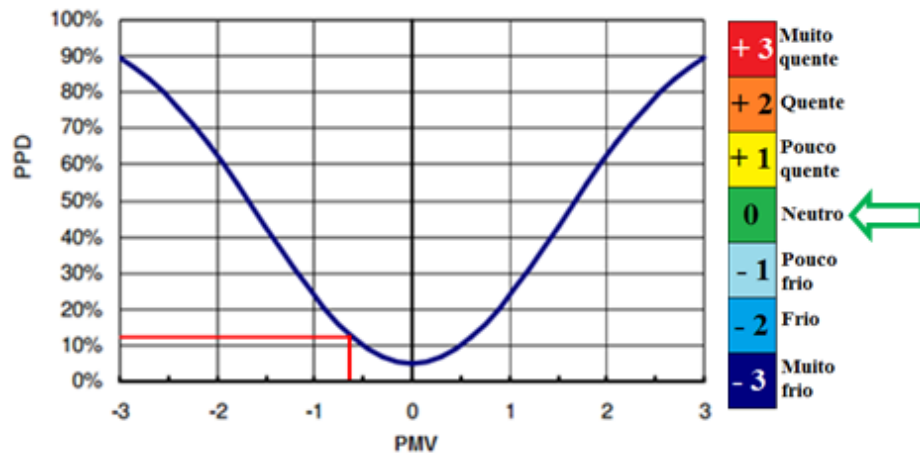


Figura 64- Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala, habitação 1

5.2.2. Habitação 2

• Cozinha

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas na cozinha (Figura 65 e Tabela 17), é possível verificar que temperatura ambiente de inverno, 19,9°C, era próxima do valor de referência pelo REH. A humidade relativa medida é de aproximadamente de 52,3%, encontrando-se no do intervalo de valores recomendado (30% a 70%).

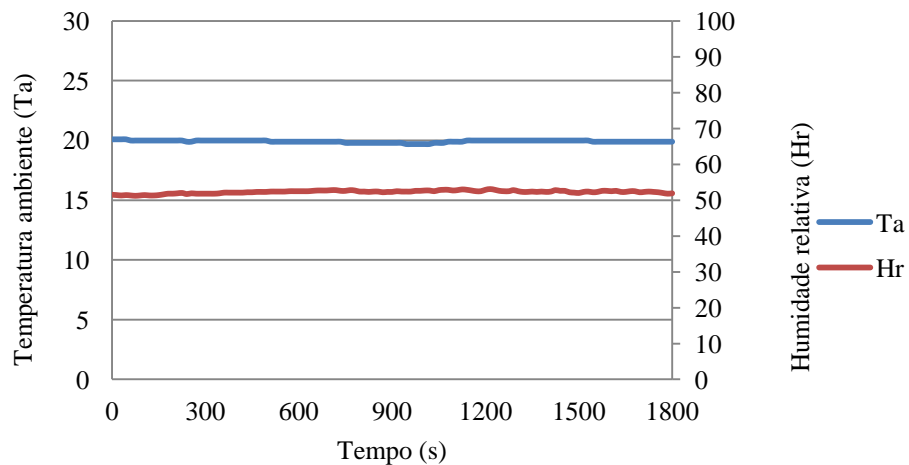


Figura 65 - Condições higrométricas na cozinha, habitação 2

A Tabela 17, apresenta os valores da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e humidade relativa medidos na cozinha pelo equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Tabela 17 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na cozinha, habitação 2

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	19,7	19,9	20,1
Temperatura do bolbo negro (°C)	20,1	20,3	20,6
Temperatura média de radiação (°C)		20,4	
Velocidade do ar (m/s)	0	0,0015	0,06
Humidade relativa (%)	51,2	52,3	53,1
Vestuário (Clo)		1	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante (°C)		20,2	
PMV		-0,3	
PPD (%)		7,0	

É possível concluir que os ocupantes sob estas condições de temperatura se encontram em estado neutro (PMV= - 0,3) e a percentagem de pessoas descontentes é de 7%, cumprindo a norma ASHRAE Standard 55-2010, EN 15251:2007 e EN ISO 7730:2005 (Figura 66).

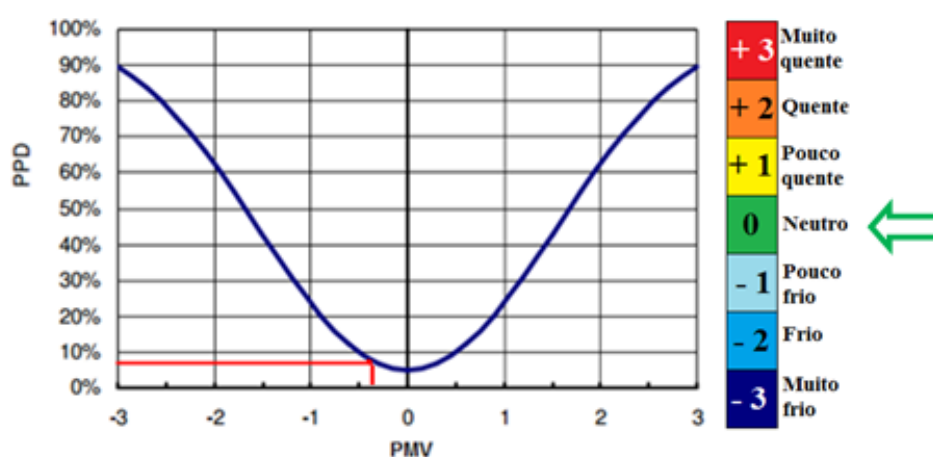


Figura 66 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na cozinha, habitação 2

• Quarto

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas no quarto (Figura 67 e Tabela 18), é possível verificar que temperatura ambiente de inverno, 18,8°C, era próxima do valor de referência pelo REH. A humidade relativa medida é de 53%, encontrando-se no do intervalo de valores recomendado (30% a 70%).

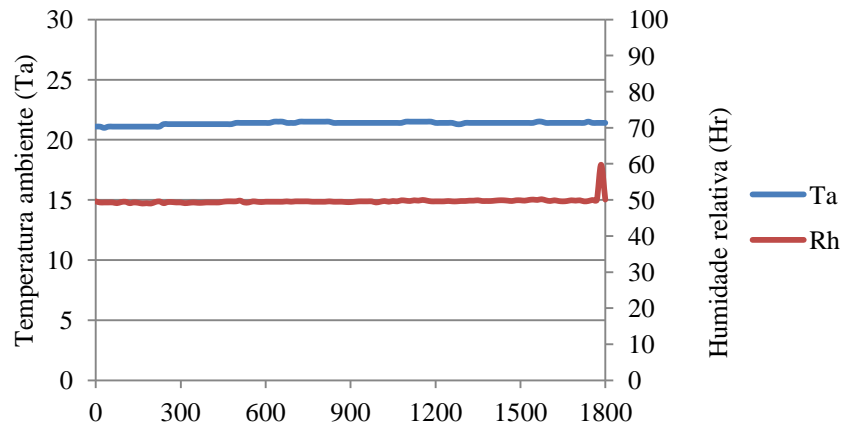


Figura 67 - Condições higrométricas no quarto, habitação 2

A Tabela 18, apresenta os valores da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e humidade relativa medidos no quarto pelo equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Tabela 18 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no quarto, habitação 2

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	18,6	18,8	19,5
Temperatura do bolbo negro (°C)	18,7	18,9	19,2
Temperatura média de radiação (°C)		20,6	
Velocidade do ar (m/s)	0	0,0026	0,07
Humidade relativa (%)	51,4	53,0	54,2
Vestuário (Clo)		1	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante (°C)		19,9	
PMV		-0,3	
PPD (%)		7,4	

É possível concluir que os ocupantes sob estas condições de temperatura se encontram em estado neutro (PMV= - 0,3) e a percentagem de pessoas descontentes é de 7,4 %, cumprindo a norma ASHRAE Standard 55:2010, EN 15251 e EN ISO 7730 (Figura 68).

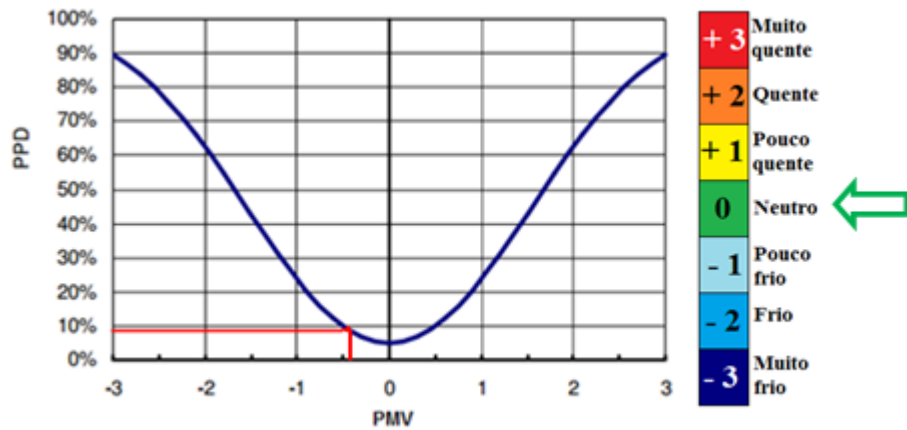


Figura 68 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) no quarto, habitação 2

• Sala

Da análise dos resultados das medições das condições higrotérmicas realizadas na sala (Figura 69 e Tabela 20), é possível verificar que temperatura ambiente de inverno, 20,7°C, era próxima do valor de referência pelo REH. A humidade relativa medida é de aproximadamente de 50,1%, encontrando-se no do intervalo de valores recomendados (30% a 70%).

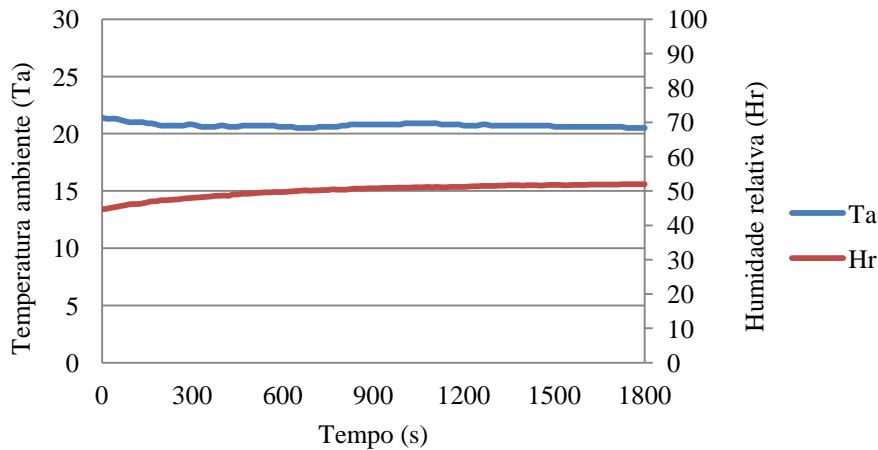


Figura 69 - Condições higrométricas na sala, habitação 2

Na Tabela 19, apresentam-se os valores da temperatura ambiente, temperatura de bolbo negro, temperatura média de radiação, velocidade do ar e humidade relativa medidos na sala pelo equipamento HD32.1 Thermal Microclimate.

Tabela 19 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na sala, habitação 2

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	20,5	20,7	21,4
Temperatura do bolbo negro (°C)	20,9	21,3	23,5
Temperatura média de radiação (°C)		21,6	
Velocidade do ar (m/s)	0	0,0031	0,07
Humidade relativa (%)	44,7	50,1	52
Vestuário (Clo)		1	
Metabolismo (met)		1,2	
Temperatura resultante (°C)		21,3	
PMV		-0,03	
PPD (%)		5,0	

É possível concluir que os ocupantes sob estas condições de temperatura se encontram em estado neutro (PMV= - 0,03) e a percentagem de pessoas descontentes é de 5%, cumprindo a norma ASHRAE Standard 55:2010, EN 15251:2007 e EN ISO 7730:2005 (Figura 70).

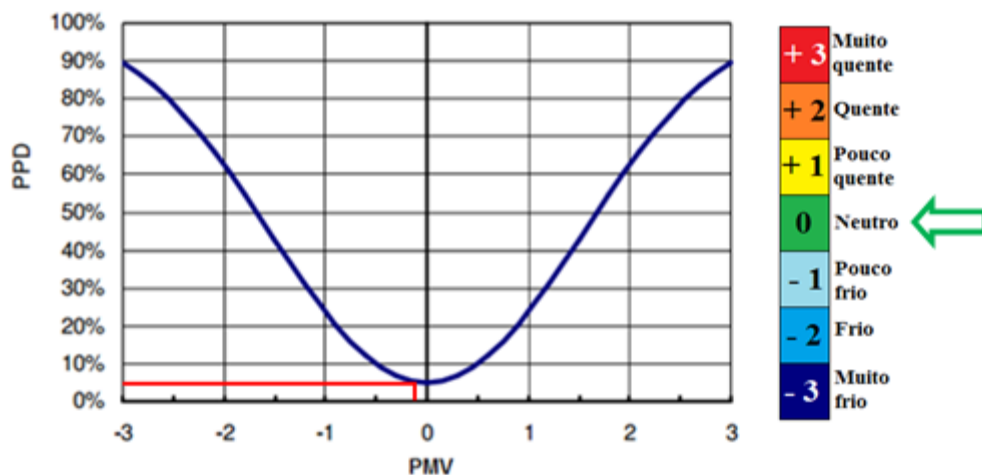


Figura 70 - Percentagem de pessoas descontentes (PPD) em função do voto médio previsível (PMV) na sala, habitação 2

5.3. Avaliação do Comportamento Lumínico

A avaliação do desempenho lumínico dos dois edifícios foi realizada através de medições *in situ* dos valores da iluminância exterior e interior, que possibilita posteriormente determinar o Factor de Luz do Dia (FLD).

As medições foram realizadas no dia 02 de Junho 2013, com o céu parcialmente encoberto, na cozinha, quarto e sala.

As medições foram realizadas em envidraçados não obstruídos.

5.3.1. Habitação 1

- **Cozinha**

O compartimento em análise, é ensaiado através dos pontos apresentados na Figura 71.

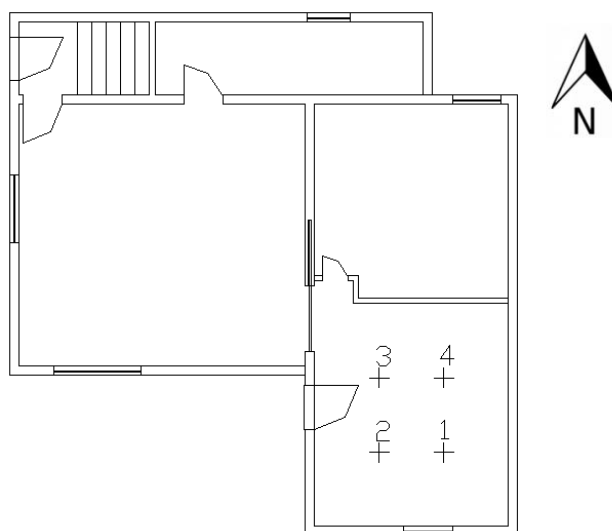


Figura 71 - Planta R/C da habitação 1 com representação da malha de medição de iluminância na cozinha

Na Tabela 20 são apresentados os valores da iluminância exterior média na vertical e a iluminância média do céu meio encoberto, na face exterior e no centro geométrico do vão envidraçado do compartimento analisado.

Tabela 20- Iluminância e FLD na cozinha, habitação 1

	Pontos	Ilum. Exterior	Ilum. Interior	FLD
Janela (Sul)	1	5525	95,10	0,68
	2	5271	76,12	0,71
	3	5221	85,04	0,72
	4	5333	70,12	0,71

Os fatores de luz do dia a meio da cozinha, são inferiores aos recomendados (2% a ½ da profundidade do compartimento).

- **Quarto**

A planta do quarto e a respetiva malha de medição são apresentadas na Figura 72.

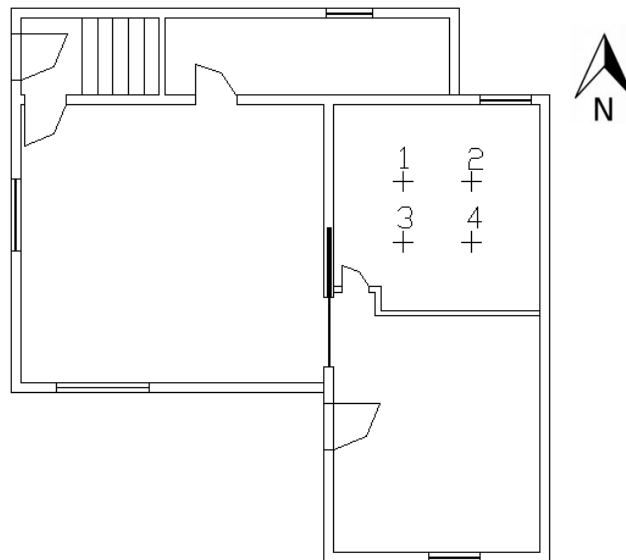


Figura 72 - Planta R/C da habitação 1 com representação da malha de medição de iluminância no quarto

Na Tabela 21, apresentam-se os resultados das medições da iluminância interior e exterior e o Fator de Luz do Dia calculado.

Tabela 21- Iluminância e FLD no quarto, habitação 1

	Pontos	Ilum. Exterior	Ilum. Interior	FLD
Janela (Norte)	1	9231	34,70	0,15
	2	9248	110,12	0,47
	3	9083	38,14	0,17
	4	9131	67,51	0,29

Da análise dos resultados obtidos, verifica-se que os maiores valores de FLD estão localizados na zona mais próxima do envidraçado. Os valores medidos são inferiores aos recomendados (0,5% a $\frac{3}{4}$ do comprimento do compartimento).

- **Sala**

A Figura 73 apresenta a planta do compartimento estudado e a respetiva malha de pontos onde se realizou o ensaio. Neste compartimento, existe um envidraçado orientado a Sul e outro envidraçado orientado a Oeste, sendo estudado apenas o envidraçado voltado a Oeste.

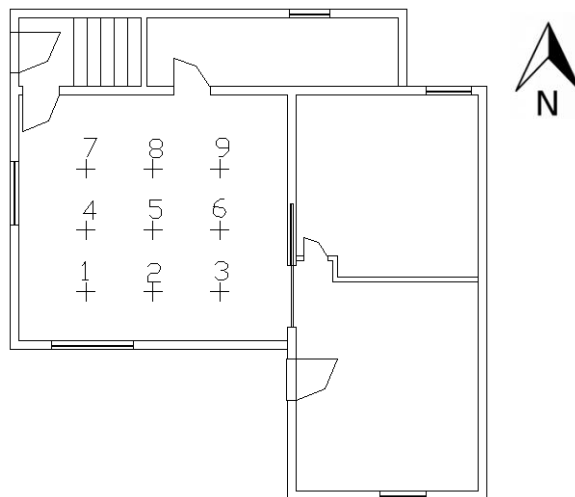


Figura 73 – Planta R/C da habitação 1 com representação da malha de medição de iluminância na sala

Na Tabela 22, são apresentados os resultados das medições da iluminância exterior e interior, medidos simultaneamente e o respetivo Fator de Luz do Dia.

Tabela 22 - Iluminância e FLD na sala, habitação 1

	Pontos	Ilum. Exterior	Ilum. Interior	FLD
Janela (Oeste)	1	7873	150,18	0,76
	2	7910	125,50	0,63
	3	7935	80,82	0,40
	4	8020	73,80	0,36
	5	8091	47,90	0,23
	6	8207	49,12	0,24
	7	8077	23,90	0,12
	8	7979	29,45	0,15
	9	811,7	30,02	1,46

Na situação de inverno, o fator de luz do dia na sala a meio do compartimento é inferior a 0,5%, sendo assim não cumpre o valor regulamentar.

5.3.2. Habitação 2

• Cozinha

A Figura 74 apresenta a planta do compartimento estudado e a respetiva malha de pontos de medição. Neste compartimento, existe um envidraçado orientado a Sul e um envidraçado orientado a Oeste, sendo estudado o envidraçado voltado a Sul.

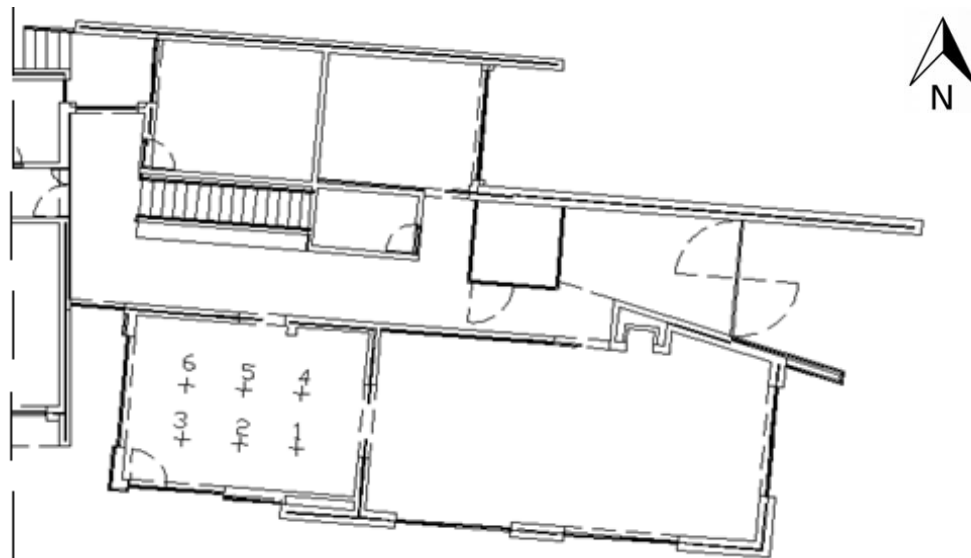


Figura 74 - Planta da cozinha com representação da malha de medição de iluminância, habitação 2

A Tabela 23 mostra os valores da iluminância medida no exterior e no interior simultaneamente e os respetivos Fatores de Luz do Dia.

Tabela 23 - Iluminância e FLD na cozinha, habitação 2

	Pontos	Ilum. Exterior	Ilum. Interior	FLD
Janela (Sul)	1	10604	291,1	1,09
	2	10912	874,2	3,17
	3	10894	1431,5	5,20
	4	10339	271,3	1,04
	5	10841	653,8	2,39
	6	10539	1034,3	3,88

O factor de luz do dia a meio da cozinha cumpre o valor recomendado (superior a 2% a ½ da profundidade do compartimento), principalmente nos pontos mais próximos do envidraçado, sendo esta zona onde existe o maior nível de iluminação natural.

- **Quarto**

Na Figura 75 é apresentada a planta do quarto e a respetiva malha de medição. Neste compartimento, existe um envidraçado orientado a Sul e um envidraçado orientado a Oeste, sendo estudado o envidraçado voltado a Sul.

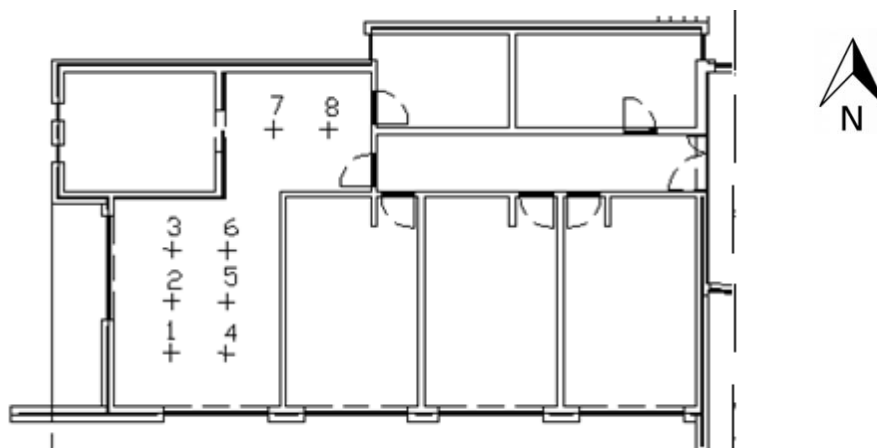


Figura 75 - Planta do quarto com representação da malha de medição de iluminância, habitação 2

- **Quarto**

Na Tabela 24 são apresentados os valores da iluminância medida no exterior e no interior simultaneamente e os respetivos Fatores de Luz do Dia.

Tabela 24 - Iluminância e FLD no quarto, habitação 2

	Pontos	Ilum. Exterior	Ilum. Interior	FLD
Janela (Sul)	1	6688	972,3	5,76
	2	6546	585,7	3,54
	3	6526	216,4	2,53
	4	6489	783,2	4,78
	5	6487	993,4	6,06
	6	6523	708,2	4,30
	7	6559	148,3	0,90
	8	6583	79,1	0,48

O fator de luz do dia no quarto a $\frac{3}{4}$ de profundidade é superior a 0,5%, assim verifica-se que cumpre o valor regulamentar.

- **Sala**

A Figura 76 apresenta a planta da sala e a respectiva malha de pontos medidos. Existem dois envidraçados orientados voltados a Sul e um envidraçado voltado a Sudeste, sendo estudado um dos envidraçados voltados a Sul.

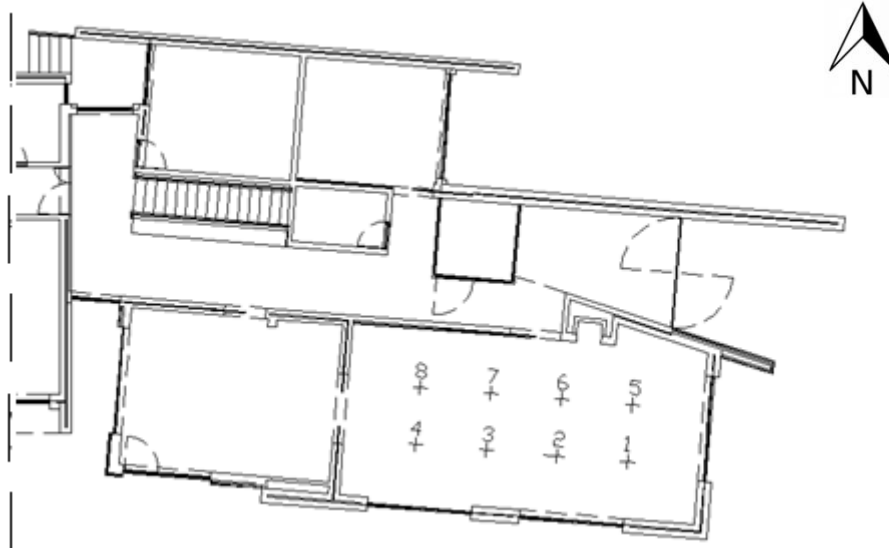


Figura 76 - Planta da sala com representação da malha de medição de iluminância, habitação

2

A Tabela 25 mostra os valores da iluminância medida no exterior e no interior simultaneamente e os respectivos Fatores de Luz do Dia.

Tabela 25 - Iluminância e FLD na sala, habitação 2

	Pontos	Ilum. Exterior	Ilum. Interior	FLD
Janela (Sul)	1	14361	392,23	1,08
	2	13921	433,80	1,23
	3	12386	368,43	1,18
	4	12849	418,00	1,29
	5	13042	347,35	1,05
	6	14621	324,52	0,88
	7	14828	302,67	0,81
	8	13739	288,47	0,83

O fator de luz do dia na sala a meio do compartimento é superior a 0,5%, sendo assim cumpre o valor recomendado.

5.4. Avaliação do Comportamento Acústico

Para avaliação da qualidade acústica dos edifícios utilizou-se a metodologia e os valores limites definidos na EN15251:2007.

Estes ensaios foram realizados no dia 29 de Julho 2013, no período diurno, do entardecer e noturno.

Período de referência: o intervalo de tempo a que se refere um indicador de ruído, de modo a abranger as atividades humanas típicas, delimitando nos seguintes termos:

- Período diurno – das 7 às 20 horas;
- Período do entardecer – das 20 às 23 horas;
- Período noturno – das 23 às horas.

As medições foram efetuadas nas zonas de estar e nos quartos, onde se verifica a situação de incomodidade, isto é, são os compartimentos que requerem tranquilidade para realizar tarefas de lazer, como por exemplo ler ou dormir. Assim, os compartimentos analisados foram a sala e o quarto.

Foram efetuadas três medições em cada compartimento, em pontos distintos, de acordo com a norma NPº1730-1:1996 [40]. Posteriormente calculou-se o nível sonoro em cada compartimento, através da média logarítmica das três medições realizadas.

O intervalo de tempo de medição acumulado do conjunto de amostras foi de 30 minutos com 10 minutos para cada amostra. As três medições foram realizadas com orientações e posições diferentes do microfone. Teve-se o devido cuidado de as posições de medições se situarem a pelo menos 1 m das paredes ou de outras superfícies refletoras, a 1.5 m das janelas e portas e entre 1.2 m a 1.5 m acima do pavimento.

5.4.1. Habitação 1

Os resultados da avaliação do nível sonoro contínuo equivalente ponderado A do quarto e da sala, são apresentados na Tabela 26. Pela análise dos resultados é possível verificar que o nível sonoro do quarto cumpre as condições normalizadas na EN 15251:2007, em que o valor deve estar compreendido entre 20 e 35 dB(A). Os valores de L_{Aeq} da sala, também estão dentro dos valores normalizados, sendo eles 25 a 40 dB(A).

Tabela 26 - Valores de LAeq, em dB(A), no período diurno, habitação 1

	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Valores Ref.	Verif.
Quarto	29,18	29,68	29,68	29,5	20 - 35	Sim
Sala	30,55	30,94	29,09	30,2	25 - 40	Sim

Na Tabela 27, apresentam-se os valores do nível sonoro contínuo equivalente ponderado A. Verifica-se que os níveis sonoros medidos no quarto cumprem as condições normalizadas na EN 15251:2007, em que o valor deve estar compreendido entre 20 e 35 dB(A). Os valores de LAeq da sala, também estão dentro dos valores recomendados, sendo eles 25 a 40 dB(A).

Tabela 27 - Valores de LAeq, em dB(A), no período do entardecer, habitação 1

	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Valores Ref.	Verif.
Quarto	23,31	25,77	25,18	24,8	20 - 35	Sim
Sala	28,61	30,74	29,47	29,6	25 - 40	Sim

Na Tabela 28 pode-se verificar que nível sonoro contínuo equivalente ponderado A do quarto e da sala cumprem as condições normalizadas na EN 15251:2007. No quarto os valores de LAeq estão compreendidos entre 20 e 35 dB(A) e na sala, também estão dentro dos valores regulamentares, sendo eles 25 a 40 dB(A).

Tabela 28 - Valores de LAeq, em dB(A), no período do noturno, habitação 1

	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Valores Ref.	Verif.
Quarto	22,91	22,74	22,01	22,6	20 - 35	Sim
Sala	26,25	29,96	27,71	28,0	25 - 40	Sim

O ruído dos eletrodomésticos e dos equipamentos não é significativo. O principal ruído sentido é proveniente do exterior devido à localização do edifício na proximidade na estrada nacional, N13. No entanto, o nível sonoro tem valores aceitáveis para os dois compartimentos estudados, nos três períodos de referência.

5.4.2. Habitação 2

Como se pode analisar na Tabela 29, o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A cumpre as condições apresentadas na EN 15251:2007, em que o valor deve estar compreendido entre 20 e 35 dB(A) para o quarto e entre 25 a 40 dB(A) para a sala.

Tabela 29 - Valores de LAeq, em dB(A), no período diurno, habitação 2

	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Valores Ref.	Verif.
Quarto	33,37	33,93	28,99	32,1	20 - 35	Sim
Sala	33,74	33,11	34,23	33,7	25 - 40	Sim

Verifica-se na Tabela 30 que o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A do quarto e da sala cumprem as condições normalizadas na EN 15251:2007, em que o valor deve estar compreendido entre 20 e 35 dB(A) para o quarto. Os valores de LAeq da sala, também estão dentro dos valores regulamentares, sendo eles 25 a 40 dB(A).

Tabela 30 - Valores de LAeq, em dB(A), no período do entardecer, habitação 2

	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Valores Ref.	Verif.
Quarto	27,45	26,30	26,84	26,9	20 - 35	Sim
Sala	33,27	32,74	30,97	32,3	25 - 40	Sim

Os resultados da avaliação do nível sonoro contínuo equivalente ponderado A, são apresentados na Tabela 31. Pela análise dos resultados é possível verificar que o nível sonoro medido cumpre as condições normalizadas na EN 15251:2007.

Tabela 31 - Valores de LAeq, em dB(A), no período noturno, habitação 2

	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Valores Ref.	Verif.
Quarto	23,77	22,21	23,39	23,1	< 30	Sim
Sala	25,83	25,49	26,62	26,0	-	Sim

Nos três períodos de medição, o ruído interior de eletrodomésticos e equipamentos e o ruído exterior provenientes da circulação automóvel é pouco significativa. Os valores dos níveis sonoros medidos nos compartimentos, nos três períodos, encontram-se dentro dos valores de referência.

6. PREVISÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO, ACÚSTICO, LUMÍNICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR DOS EDIFÍCIOS

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações realizadas nos dois edifícios em estudo. Estas simulações foram realizadas para previsão dos consumos energéticos dos edifícios e das condições de conforto térmico no seu interior.

6.1. Previsão da qualidade do ar interior para o edifício

6.1.1. Habitação 1

A habitação 1, com 260m² de área, tem uma ocupação de 2 pessoas não fumadoras e é não low-polluting.

Como o edifício em estudo é antigo, pode ser considerado de classe B, sendo assim o $C_{c,i}$ é 1,4. O edifício encontra-se localizado numa aldeia em que a qualidade do ar exterior é boa, logo o $C_{c,o}$ considerado foi de 0,1.

Como os compartimentos em estudo são providos de janelas que permitem uma boa ventilação, a eficácia de ventilação (ϵ_v) é 0,7.

O primeiro passo para a avaliação da qualidade do ar interior, é o cálculo da carga sensorial e o cálculo da taxa de ventilação para assegurar o conforto.

A carga sensorial depende dos ocupantes e dos poluentes emitidos pelos materiais de construção. A carga sensorial dos ocupantes, é influenciada pelo número de ocupantes do edifício e se estes são fumadores ou não. A Tabela 32, apresenta o valor da carga sensorial.

Tabela 32 - Valor da carga sensorial

	Carga sensorial (olf/m²)
Ocupantes	0,01
Edifício não low-polluting	0,2
Total	0,021

O cálculo da taxa de ventilação para assegurar o conforto, é feito através da Equação 8 (do capítulo 3), obtendo o valor apresentado na Equação 11.

$$Q_c = 10 \times \frac{0,220}{1,4 - 0,1} \times \frac{1}{0,7} = 2,42 \text{ l/(s.m}^2\text{)} \quad (11)$$

O cálculo da percentagem de pessoas descontentes (PPD), é feito através da Equação 4 (do capítulo 3).

A concentração de CO₂ acima da concentração do exterior é de 660 ppm. Obtém-se assim, o valor apresentado na Equação 12.

$$\text{PPD} = 395 \cdot e^{-15,15 \cdot 660^{-0,25}} = 19,88 \% \quad (12)$$

O cálculo da perceção da qualidade do ar (Ci) é realizado através da Equação 7 (do capítulo 3), obtendo o valor apresentado na Equação 13.

$$C_i = 112 \times (\text{Ln}(19,88) - 5,98)^{-4} = 1,40 \text{ decipol} \quad (13)$$

Para uma taxa de ventilação de 2,42 l/(s.m²), num edifício de classe B e materiais não pouco poluentes a percentagem de pessoas descontentes é de 19,88% e a relação entre a perceção da qualidade do ar interior é de 1,40 decipol.

6.1.2. Habitação 2

A habitação 2, com 305m² de área, tem uma ocupação de 3 pessoas não fumadoras e é não low-polluting.

Como o edifício em estudo não é antigo, pode ser considerado de classe A, sendo assim o C_{c,i} é 1,0. O edifício encontra-se localizado numa aldeia em que a qualidade do ar exterior é boa, logo o C_{c,o} é 0,1.

Como os compartimentos em estudo são providos de janelas que permitem uma boa ventilação, a eficácia de ventilação (ε_v) é 0,7.

A Tabela 33 apresenta o valor da carga sensorial.

Tabela 33 - Valor da carga sensorial

	Carga sensorial (olf/m²)
Ocupantes	0,01
Edifício não low-polluting	0,2
Total	0,021

O cálculo da taxa de ventilação para assegurar o conforto, é feito através da Equação 8 (do capítulo 3), obtendo o valor apresentado na Equação 11.

$$Q_c = 10 \times \frac{0,220}{1,4 - 0,1} \times \frac{1}{0,7} = 2,42 \text{ l/(s.m}^2\text{)} \quad (11)$$

O cálculo da percentagem de pessoas descontentes (PPD), é feito através da Equação 4 (do capítulo 3).

A concentração de CO₂ acima da concentração do exterior, é de 460 ppm. Obtém-se assim, o valor apresentado na Equação 12.

$$\text{PPD} = 395 \cdot e^{-15,15 \cdot 460^{-0,25}} = 14,99 \% \quad (12)$$

O cálculo da perceção da qualidade do ar (C_i) é realizado através da Equação 7 (do capítulo 3), obtendo o valor apresentado na Equação 13.

$$C_i = 112 \times (\text{Ln}(14,99) - 5,98)^{-4} = 0,97 \text{ decipol} \quad (13)$$

Para uma taxa de ventilação de 2,42 l/(s.m²), num edifício de classe A e materiais não pouco poluentes a percentagem de pessoas descontentes é de 14,99 % e a relação entre a perceção da qualidade do ar interior é de 0,97 decipol.

6.2. Simulação do comportamento térmico

Existem várias medidas que contribuem para a promoção da redução dos consumos energéticos, sendo as principais: reforço da proteção da envolvente exterior dos edifícios; escolha de vãos envidraçados e sistemas de sombreamento eficientes; utilização de energias renováveis; melhoria da eficiência dos sistemas de climatização e utilização de eletrodomésticos com melhores rendimentos e de menor consumo.

Para o estudo do comportamento térmico, selecionaram-se algumas soluções e fizeram-se combinações de modo a variar um parâmetro de cada vez para posteriormente comparar com a solução base.

6.2.1. Soluções estudadas

É importante fazer um estudo para analisar quais as soluções construtivas mais adequadas a aplicar nos edifícios de modo a reduzir os consumos energéticos.

É através da envolvente exterior que ocorrem grandes perdas térmicas, por isso é essencial a aplicação de isolamento térmico.

Para o estudo do reforço do isolamento térmico nas fachadas exteriores consideraram-se dois sistemas de isolamento: sistema ETICS de isolamento exterior de fachadas com EPS e sistema de isolamento interior das fachadas com XPS. Ambos os sistemas foram analisados para diferentes espessuras (40mm, 60mm, 80mm e 100mm).

O sistema de isolamento ETICS é um revestimento constituído por placas de EPS fixos à fachada exterior com cola e fixações mecânicas, revestidas por um reboco delgado, aplicado em várias camadas de ligante misto, armado com uma ou várias redes de fibra de vidro e protegido, geralmente, por ligante sintético [47].

Quanto à habitação 2 que foi construída em 2006, com isolamento térmico na solução construtiva, não se justifica a necessidade de alterar o tipo de isolamento. Portanto, foi avaliada apenas se a espessura de isolamento presente é a adequada. Assim, foi estudada a aplicação de isolamento PUR no interior das paredes exteriores e XPS na cobertura para 30mm, 40mm, 60mm, 80mm e 100mm.

Quanto aos envidraçados de ambas as habitações, possuem vidro incolor duplo, caixilharia de alumínio, corte térmico e estores. Devido à falta de características térmicas do vidro dos referidos envidraçados, assume-se o factor solar para vidro duplo adotado pelo RCCTE de 0,63. Assim, a substituição de envidraçados torna-se desnecessário e não compensatório a longo prazo.

O aquecimento de águas sanitárias tem um papel relevante na fatura energética, por isso devem-se escolher sistemas de aquecimento com o uso de fontes renováveis. Os coletores

solares convertem a energia do sol em calor utilizado para aquecer água. Assim, este sistema foi analisado para as duas habitações.

A aplicação deste sistema é uma mais valia não só para o meio ambiente como para a redução de recursos energéticos.

6.2.2. Habitação 1

Através do programa DesignBuidier foi possível determinar o consumo de energia de aquecimento da habitação 1. Para tal foi necessário definir todos os materiais da envolvente com a respetiva espessura incluindo os envidraçados e portas. Considerou-se que o equipamento de escritório e as luzes exteriores estavam desligados.

Na Figura 77 são apresentadas as necessidades de aquecimento referentes à habitação 1.

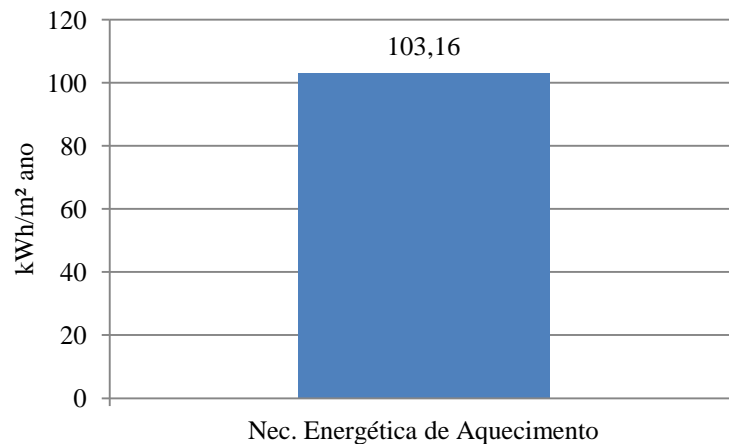


Figura 77 - Consumo de energia de aquecimento para a solução construtiva base, habitação 1

As necessidades de aquecimento para a solução base na habitação 1, são de 103,16 kWh/m².ano.

6.2.2.1. Aplicação de isolamento térmico nas fachadas exteriores

Com a aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores do edifício 1, as necessidades de aquecimento tendem a diminuir.

Na Figura 78, apresentam-se os consumos energéticos obtidos pelo programa DesignBuilder, para os dois tipos de isolamento térmico e para as diferentes espessuras estudadas.

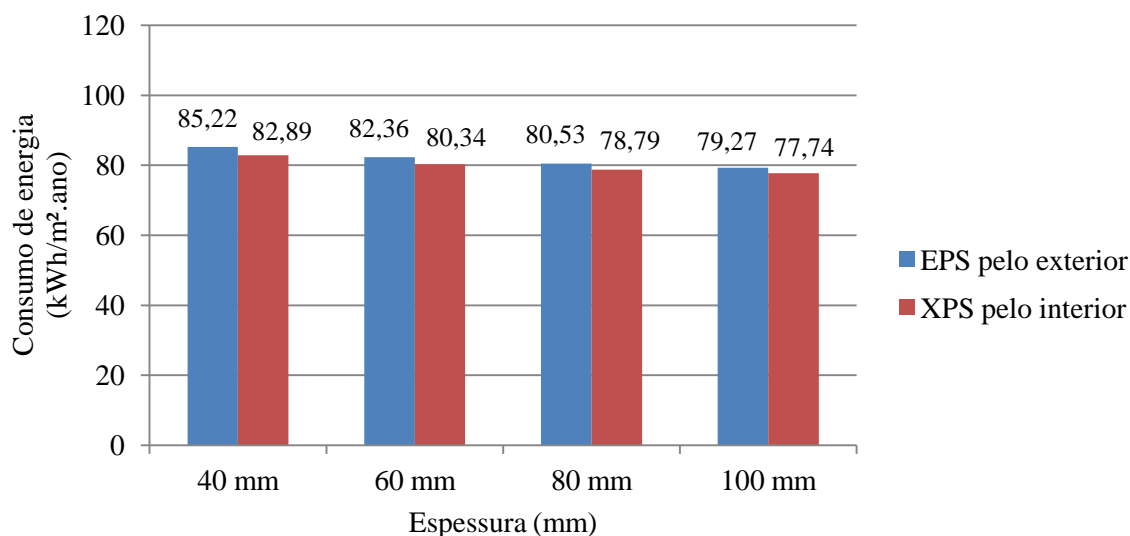


Figura 78 - Consumo de energia na parede exterior com EPS e XPS

Como se pode analisar no gráfico da Figura 78, a aplicação de EPS pelo exterior não é vantajosa comparativamente à aplicação de XPS pelo interior, devido à diferença de consumo energético para aquecimento. De todas as espessuras dos dois isolamentos estudados, a de 40 mm de EPS é a pior pois levaria a um consumo elevado de 85,22 kWh/m².ano, enquanto a melhor seria a de 100 mm de XPS com um consumo de 77,74 kWh/m².ano.

Como era de esperar, todos estes resultados dos consumos de aquecimento são inferiores ao consumo de aquecimento da solução construtiva atual da habitação 1, uma vez que esta não possui isolamento térmico.

O isolamento mais adequado para o edifício em estudo, será escolhido avaliando o menor consumo energético possível com a solução economicamente mais viável. Assim, é fundamental calcular o período de retorno de investimento das soluções apresentadas. Para a solução construtiva existente o custo é zero.

Na Tabela 34, é apresentado o valor do custo final da aplicação do isolamento para a envolvente exterior.

Os preços da aplicação do isolamento foram obtidos através de uma pesquisa de mercado e através do gerador de preços da CYPE (online) [48, 49]. Os valores apresentados incluem a mão-de-obra.

Tabela 34 – Custo de investimento da aplicação do isolamento térmico parede exterior

Envolvente exterior			
	Custo de execução (€/m²)	Área (m²)	Custo final (€)
EPS (40mm)	32,42	192,57	6243,12
EPS (60mm)	35,68	192,57	6870,90
EPS (80mm)	37,10	192,57	7144,35
EPS (100mm)	42,00	192,57	8087,94
XPS (40mm)	32,89	186,31	6127,74
XPS (60mm)	36,24	186,31	6751,87
XPS (80mm)	37,86	186,31	7053,70
XPS (100mm)	42,99	186,31	8009,47

Na Tabela 35, apresenta-se o período de retorno de investimento das soluções estudadas para a habitação 1.

A área útil da habitação 1 é 135,03 m². A eficiência nominal do equipamento de climatização é de 0,85 e o custo da energia utilizada pelo equipamento de climatização (lenha) é 0,025 €/kWh.

Tabela 35 - Período de retorno de investimento da fachada com isolamento

	Consumo (kWh/m² ano)	Custo de exploração (€)	Custo de investimento (€)	Período de retorno de investimento (anos)
Solução base	103,16	409,70	-	-
EPS (40mm)	85,22	338,45	6243,12	87,62
EPS (60mm)	82,36	327,09	6870,90	83,18
EPS (80mm)	80,53	319,82	7155,35	79,49
EPS (100mm)	79,27	314,82	8087,94	85,25
XPS (40mm)	82,89	329,20	6127,74	76,12
XPS (60mm)	80,34	319,07	6751,87	74,50
XPS (80mm)	78,79	312,91	7053,70	72,88
XPS (100mm)	77,74	308,74	8009,47	79,34

Analisando os resultados obtidos verifica-se que o período de retorno de investimento é elevado para todas as espessuras de isolamento. Isto deve-se ao facto de o custo da energia utilizada pelo equipamento de climatização, neste caso a lenha, ser muito baixo.

Para a aplicação de isolamento térmico na fachada exterior, verifica-se que o XPS de 80 mm é o que possui um menor período de retorno de investimento, enquanto o EPS de 40 mm apresenta o maior período de retorno de investimento.

Como para a aplicação de isolamento térmico pelo interior, implica custos adicionais para remoção de mobília, loiças sanitárias, extração de tomadas de eletricidade e candeeiros, além da redução da área útil e do incómodo para os habitantes, desprezou-se a colocação de XPS.

Assim, a solução adotada é 80 mm de EPS pelo exterior, pois é a solução que apresenta menor período de retorno e com baixos consumos de energia.

Esta solução torna-se mais favorável se a aplicação do isolamento térmico nas fachadas ocorrer quando a habitação necessitar de ser pintada pelo exterior.

6.2.2.2. Aplicação de isolamento térmico na cobertura

Para o estudo da aplicação de isolamento térmico na cobertura, optou-se pela localização do isolamento EPS e XPS pelo exterior para as espessuras (40mm, 60mm, 80mm e 100mm).

Na Figura 79, são apresentadas as necessidades energéticas de aquecimento, quando é colocado sobre a laje de cobertura o isolamento térmico EPS e XPS.

Todos estes resultados foram obtidos através do programa de simulação DesignBuider

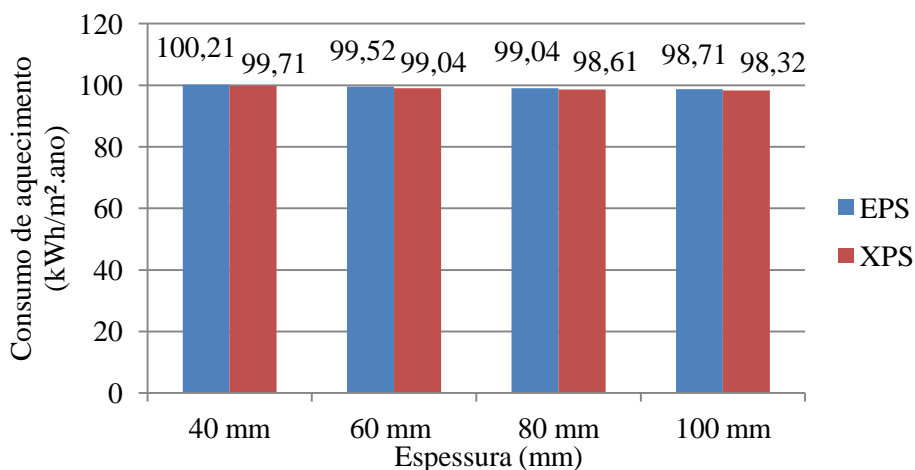


Figura 79 - Consumo energético na cobertura com EPS e XPS

Após uma análise da Figura 79 conclui-se que a solução construtiva que leva a um menor consumo de energia é a correspondente à utilização de XPS com 100 mm de espessura com um consumo energético de 98,32 kWh/m².ano enquanto a pior solução seria a aplicação de 40 mm de EPS com um consumo energético de 100,21 kWh/m².ano.

Como era de esperar, todos estes resultados de consumos de aquecimento são inferiores ao consumo de aquecimento da solução construtiva base da habitação 1, uma vez que a habitação 1 não possui isolamento térmico.

Na Tabela 36, é apresentado o valor do custo de aplicação do isolamento para a cobertura.

Tabela 36 - Custo de investimento do reforço do isolamento térmico na cobertura

Cobertura			
	Custo de execução (€/m²)	Área (m²)	Custo final (€)
EPS (40mm)	4,26	95,07	405,00
EPS (60mm)	5,52	95,07	524,79
EPS (80mm)	6,78	95,07	644,57
EPS (100mm)	9,30	95,07	884,15
XPS (40mm)	4,83	95,07	459,19
XPS (60mm)	6,67	95,07	634,12
XPS (80mm)	8,49	95,07	807,14
XPS (100mm)	12,17	95,07	1157,00

Na Tabela 37, apresenta-se os valores do período de retorno de investimento da aplicação de isolamento na cobertura.

Tabela 37 - Período de retorno de investimento da cobertura com isolamento

	Consumo (kWh/m²)	Ap (m²)	Custo de exploração (€)	Custo de investimento (€)	Período de retorno de investimento (anos)
Solução base	103,16	135,03	409,70	-	-
EPS (40mm)	100,21	135,03	397,98	405,00	34,57
EPS (60mm)	99,52	135,03	395,24	524,79	36,30
EPS (80mm)	99,04	135,03	393,33	644,57	39,39
EPS (100mm)	98,71	135,03	392,02	884,15	50,03
XPS (40mm)	99,71	135,03	396,00	459,19	33,51
XPS (60mm)	99,04	135,03	393,33	634,12	38,75
XPS (80mm)	98,61	135,03	391,63	807,14	44,67
XPS (100mm)	98,32	135,03	390,47	1157,00	60,19

Perante estes resultados, pode-se concluir que a solução que apresenta menor período de retorno de investimento é 40 mm de XPS. De forma a uniformizar o isolamento térmico da cobertura com o selecionado para as paredes exteriores, optou-se por colocar 80mm de EPS na cobertura.

6.2.2.3. Aplicação de coletores solar

Através do programa Solterm foi possível dimensionar o sistema de coletores solares e simular os balanços energéticos.

A habitação 1 apresenta adequada exposição para a instalação de painéis solares, sem qualquer tipo de sombreamento na cobertura inclinada.

São necessários dois módulos de 4,4m² e um depósito de 200L.

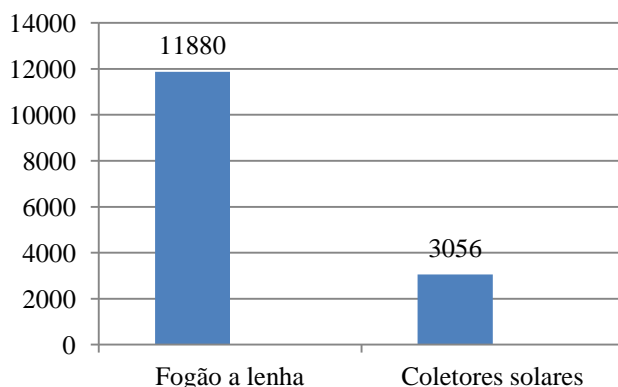


Figura 80 – Consumos de energia para aquecimento da habitação 1

Durante o ano são consumidos 22,63 kWh/m² de energia.

Na Tabela 38 são apresentados os resultados do custo de exploração, custo de investimento e período de retorno de investimento. Estes valores obtiveram-se através de uma pesquisa de custos no mercado.

Os preços foram obtidos através de uma pesquisa de mercado. No ANEXO C, encontra-se o orçamento para a aplicação de coletores.

Tabela 38 – Período de retorno de investimento da aplicação de coletores solar, habitação 1

	Custo de exploração (€)	Custo de investimento (€)	Período de retorno de investimento (anos)
Solução inicial	349,41	2.835,00	13
Solução com coletores solar	474,73	4.455,00	

O período de retorno de investimento da habitação 1 com a aplicação de coletores solar é de 13 anos.

6.2.3. Habitação 2

Com o programa DesignBuider foi possível determinar o consumo de energia de aquecimento da habitação 2. Para tal foi necessário definir todos os materiais da envolvente com a respetiva espessura incluindo os envidraçados e portas. Considerou-se que o equipamento de escritório e as luzes exteriores estavam desligados.

Na Figura 81 são apresentadas as necessidades de aquecimento referentes à habitação 2.

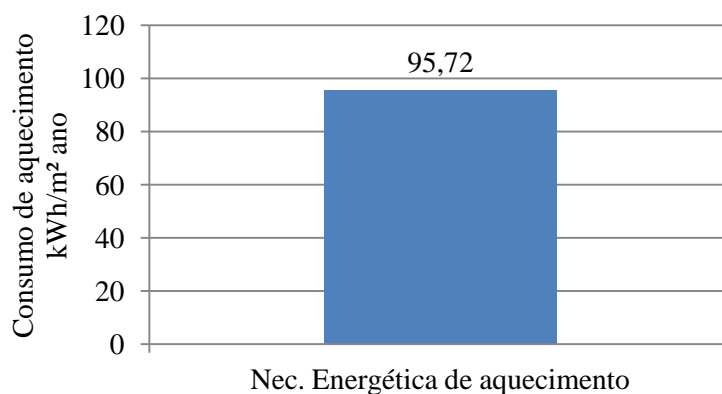


Figura 81 - Consumo de energia de aquecimento para a solução construtiva base, habitação 2

As necessidades de aquecimento para a solução base na habitação 2, são de 95,72 kWh/m² ano.

6.2.3.1. Aplicação de isolamento térmico nas fachadas exteriores e na cobertura

Na Figura 82, apresentam-se os consumos energéticos obtidos pelo programa DesignBuilder, para a envolvente exterior

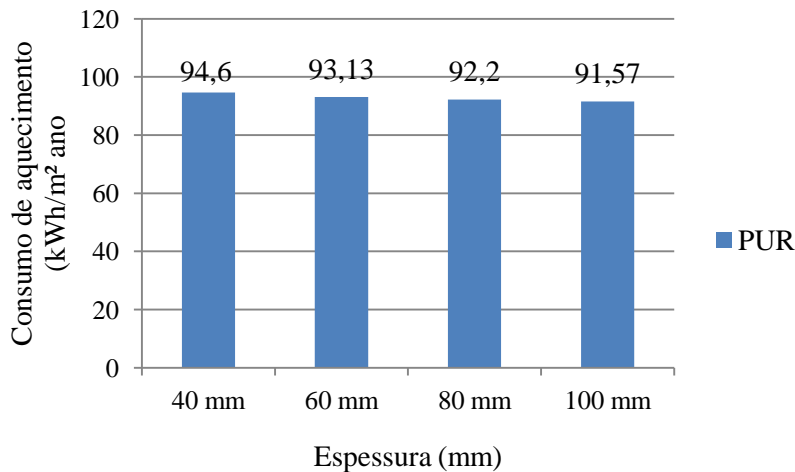


Figura 82 - Consumo energético na envolvente exterior com PUR

Tal como se pode verificar, no gráfico da Figura 82, a espessura ideal de isolamento nas paredes exteriores para minimizar os consumos de aquecimento seria 100mm pois consome apenas 91,57 kWh/m². ano comparativamente aos 94,6 kWh/m². ano dos 40mm de espessura.

Relativamente à espessura de 30mm (presente na habitação existente) com 95,72 kWh/m². ano, continua a ser preferível a aplicação de PUR de 100mm atendendo aos consumos referidos.

Estes resultados já eram espectáveis pois quando maior a espessura do isolamento, menores são os consumos de aquecimento. Por isso torna-se importante analisar os preços da aplicação do isolamento para cada uma das espessuras, para assim seleccionar a espessura ideal.

Para complementar o estudo da seleção da melhor espessura de isolamento térmico, fez-se uma análise económica, apresentada na Tabela 39. O custo de investimento (custo final) foi obtido através da área da envolvente exterior e do custo de execução.

Tabela 39 - Custo de investimento do reforço de isolamento térmico na envolvente exterior

Envolvente exterior			
	Custo de execução (€/m²)	Área (m²)	Custo final (€)
PUR (30mm)	7,89	169,30	1335,78
PUR (40mm)	10,08	169,30	1706,54
PUR (60mm)	13,93	169,30	2358,35
PUR (80mm)	17,24	169,30	2918,73
PUR (100mm)	21,54	169,30	3646,72

Através dos resultados apresentados, verifica-se que a solução inicial (30mm de PUR) é economicamente a mais favorável, pois das cinco soluções estudadas é a que possui menor custo de investimento.

Tendo em conta que, apesar da solução existente não ser totalmente inadequada, para melhoria do comportamento térmico do edifício, seria vantajoso aumentar a espessura de isolamento, tal como mostra a Tabela 39. No entanto, como o isolamento é colocado entre os dois panos de alvenaria com 40mm de caixa-de-ar, e uma vez que não se considera pertinente a destruição e posterior construção de um dos panos de alvenaria com o objetivo de aumentar a espessura do isolamento térmico, mantendo a caixa-de-ar, as soluções apresentadas na Tabela 39 tornam-se inviáveis. Em alternativa a estas soluções que provocam incómodos a nível económico e social, poder-se-ia eventualmente colocar o sistema ETICs, caso fosse realmente imprescindível uma melhoria energética.

6.2.3.2. Aplicação de isolamento térmico na cobertura

Na Figura 83, apresentam-se os consumos energéticos obtidos pelo programa DesignBuilder, para a cobertura.

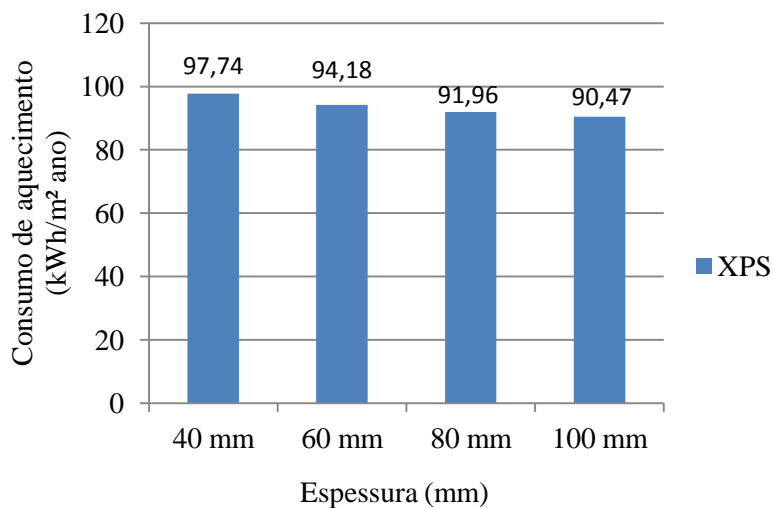


Figura 83 - Consumo energético na cobertura com XPS

Na cobertura a espessura ideal também é de 100mm, com um consumo energético de 90,47 kWh/m² ano.

Na Tabela 40 apresenta-se a análise económica da aplicação de isolamento na cobertura, para cada espessura.

Tabela 40 - Custo de investimento do reforço do isolamento térmico na cobertura

Cobertura			
	Custo de execução (€/m²)	Área (m²)	Custo final (€)
XPS (40mm)	3,26	355	1157,3
XPS (50mm)	4,83	355	1714,65
XPS (60mm)	6,67	355	2367,85
XPS (80mm)	8,49	355	3013,95
XPS (100mm)	12,17	355	4320,35

A solução existente possui 50mm de espessura de isolamento térmico (XPS) na cobertura. Apesar de, comparativamente com as outras soluções apresentadas, não ter consumo energético muito baixo (95,72 kWh/m². ano), apresenta um custo de investimento razoável.

6.2.3.3. Aplicação de coletores solar

Através do programa Solterm foi possível dimensionar o sistema de coletores solares e simular os balanços energéticos.

A habitação 2 apresenta adequada exposição para a instalação de painéis solares, sem qualquer tipo de sombreamento na cobertura inclinada.

São necessários dois módulos de 4,4m² e um depósito de 300L.

Durante o ano são consumidos 3820 kWh de energia.

Na Figura 84, apresentam-se os consumos de energia da caldeira com o recuperador e o dos coletores solares.

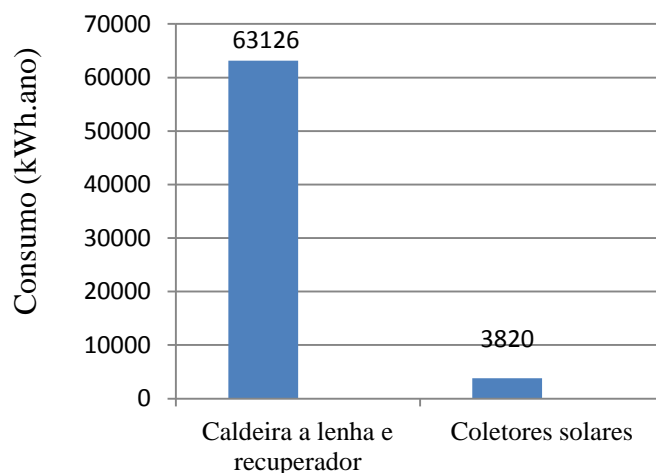


Figura 84 – Consumos de energia para aquecimento da habitação 1

O consumo de energia dos coletores solares comparativamente com os consumos de energia do fogão a lenha são significativamente menores, tal como se pode verificar na Figura 84. Estes resultados demonstram que a aplicação de coletores solares são uma mais valia.

Para determinar o período de retorno de investimento, foi necessário fazer uma análise de custos.

Os preços foram obtidos através de uma pesquisa de mercado. No ANEXO D, encontra-se o orçamento para a aplicação de coletores.

Na Tabela 41 são apresentados os resultados do custo de exploração, custo de investimento e período de retorno de investimento. Estes valores obtiveram-se através de uma pesquisa de custos no mercado.

Tabela 41 – Período de retorno de investimento da aplicação de coletores solar, habitação 2

	Custo de exploração (€)	Custo de investimento (€)	Período de retorno de investimento (anos)
Solução inicial	922,07	2.808,00	6
Solução com coletores solar	593,412	4.804.70	

Tal como se pode analisar nos valores obtidos, o período de retorno de investimento para a aplicação de coletores solar na habitação 2 é 6 anos. Comparativamente com a habitação 1, esta solução torna-se mais vantajosa pois o número de anos a partir do qual se começa a obter lucro é menor.

6.3. Simulação do comportamento lumínico

Para a simulação do comportamento lumínico, utilizou-se o programa Desktop Radiance, para avaliar a qualidade de iluminação natural na cozinha, no quarto e na sala. Esta simulação foi feita para o dia 21 de Dezembro por ser o dia mais desfavorável do ano relativamente às condições de iluminação.

Devido a problemas técnicos não foi possível obter resultados concretos da simulação, no entanto, foram consideradas as seguintes características dos compartimentos.

6.3.1. Habitação 1

As características dos elementos dos compartimentos são as seguintes:

- Refletância das paredes interiores e do teto: 85,77% (Cor branca)
- Refletância do pavimento: 69,60% (Cor bege)
- Refletância do vidro: 12% (Vidro duplo)
- Modelo do céu: Céu encoberto padrão (CIE)

6.3.2. Habitação 2

As características dos elementos dos compartimentos são as seguintes:

- Refletância das paredes interiores e do teto: 85,77% (Cor branca)
- Refletância do pavimento da cozinha e sala: 69,60% (Cor bege)
- Refletância do pavimento do quarto: 27,80% (cor castanho)
- Refletância do vidro: 12% (Vidro duplo)
- Modelo do céu: Céu encoberto padrão (CIE)

6.4. Simulação do comportamento acústico

A simulação do comportamento acústico dos edifícios em estudo realizou-se com base no programa Acoubat Sound. Os compartimentos analisados foram o quarto e a sala, visto serem os espaços que requerem mais silêncio por serem destinados a descanso e concentração.

Para os edifícios em estudo foi analisada a capacidade da fachada exterior isolar os sons aéreos do meio emissor (exterior) para o meio recetor (compartimento), $D_{2m,nT,w}$ (dB).

6.4.1. Habitação 1

Na Figura 85 e na Figura 86, são apresentados os resultados do índice de isolamento sonoro, para os sons de condução aérea no quarto e na sala, para a situação existente do edifício, respectivamente.

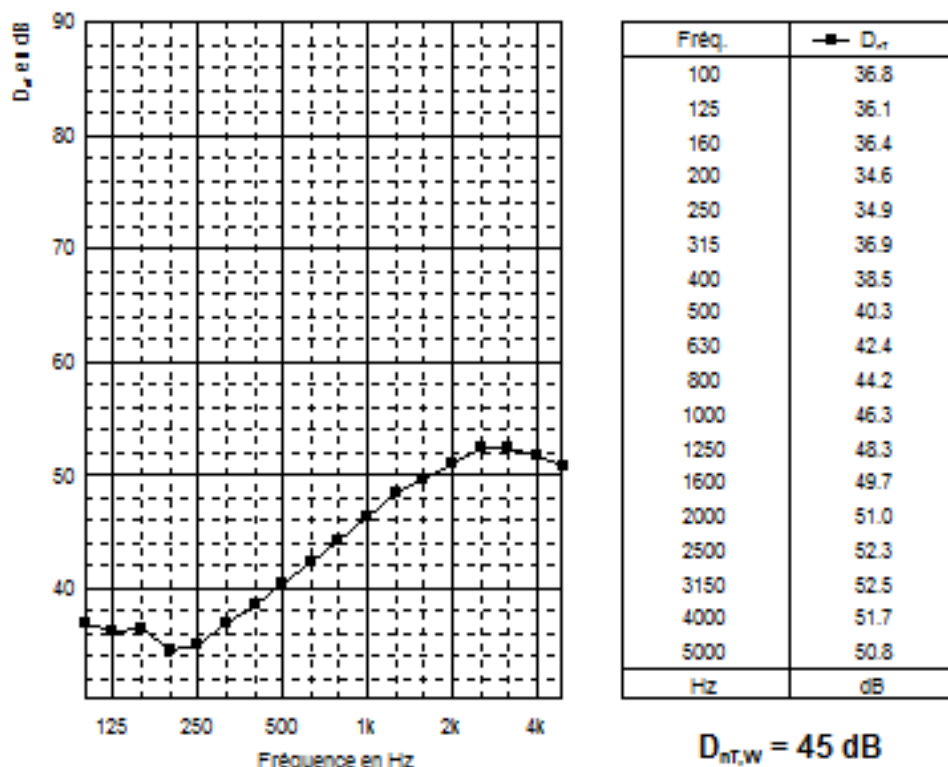


Figura 85 - Capacidade da fachada exterior do quarto isolar os sons aéreos, habitação 1

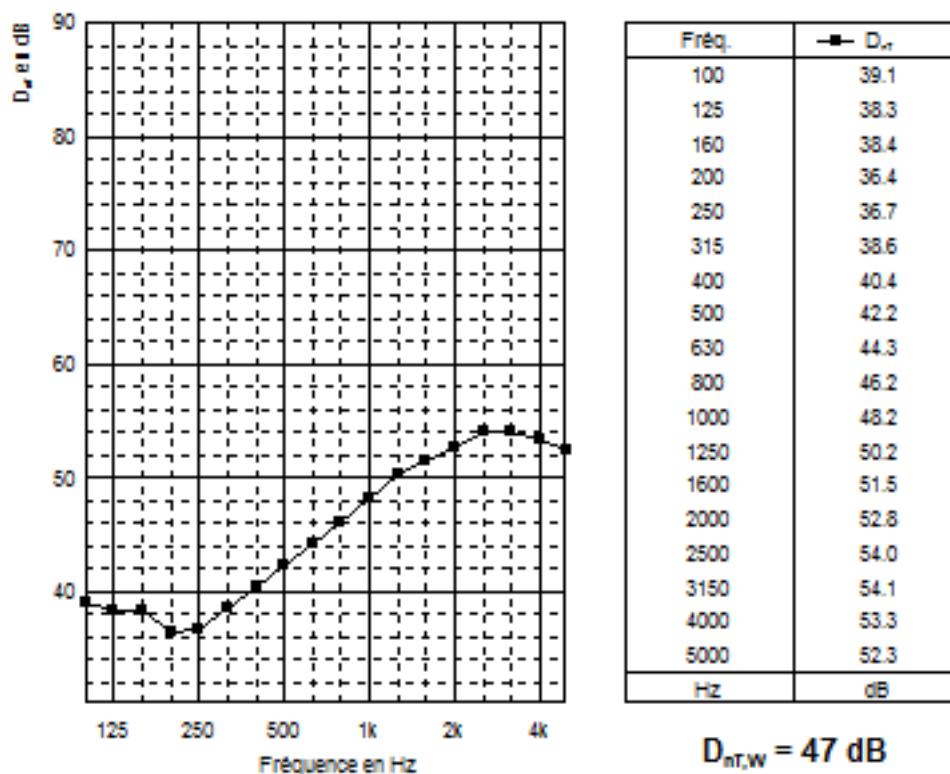


Figura 86 - Capacidade da fachada exterior da sala isolar os sons aéreos, habitação 1

Na Figura 87 e na Figura 88 é apresentada a capacidade isolante a sons aéreos da fachada exterior com 80mm de EPS, para o quarto e para a sala, respetivamente.

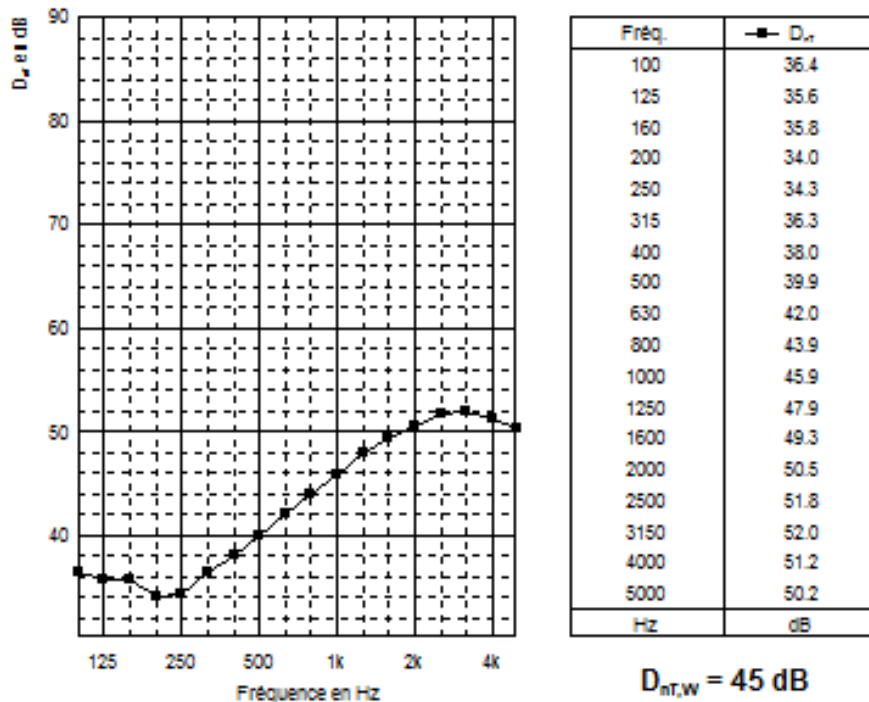


Figura 87 – Capacidade da fachada exterior do quarto isolar os sons aéreos, habitação 1 com isolamento

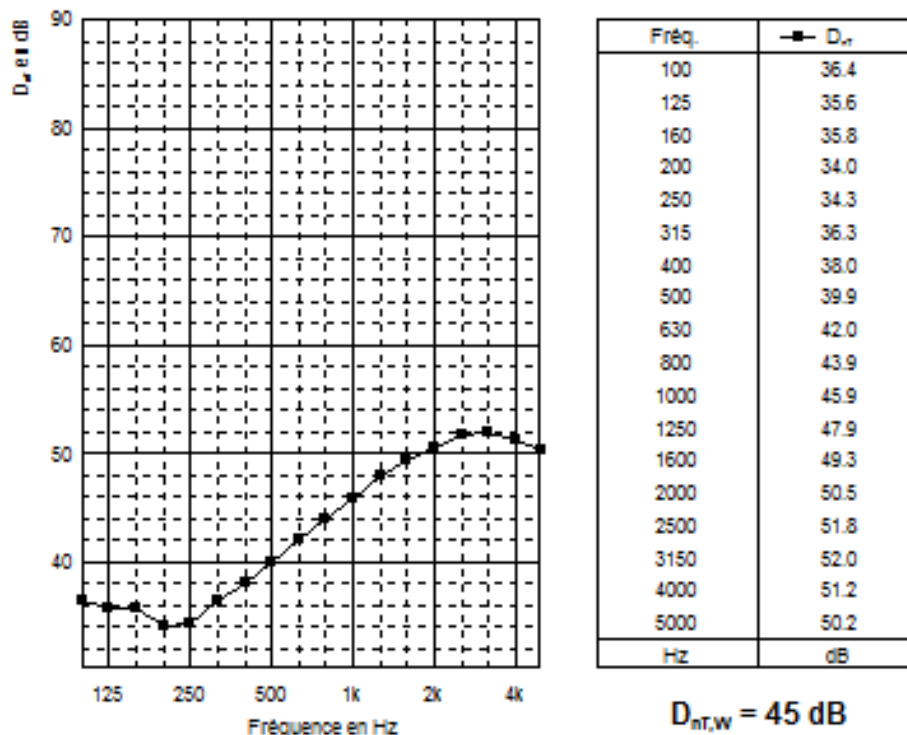


Figura 88 - Capacidade da fachada exterior da sala isolar os sons aéreos, habitação 1 com isolamento

Perante os resultados obtidos, podemos constatar que a aplicação de 80mm de EPS na envolvente não interfere no comportamento acústico da habitação 1, não sendo por isso um material apropriado para isolamento acústico. Existem outros materiais com melhores referências acústicas, como por exemplo, a lã de rocha ou a cortiça.

6.4.2. Habitação 2

Na Figura 89 e na Figura 90, são apresentados os resultados do índice de isolamento sonoro, para os sons de condução aérea no quarto e na sala, para a situação existente dos edifícios, respectivamente.

Como se pode verificar o quarto tem comportamento acústico melhor do que a sala apesar de a diferença não ser muito significativa.

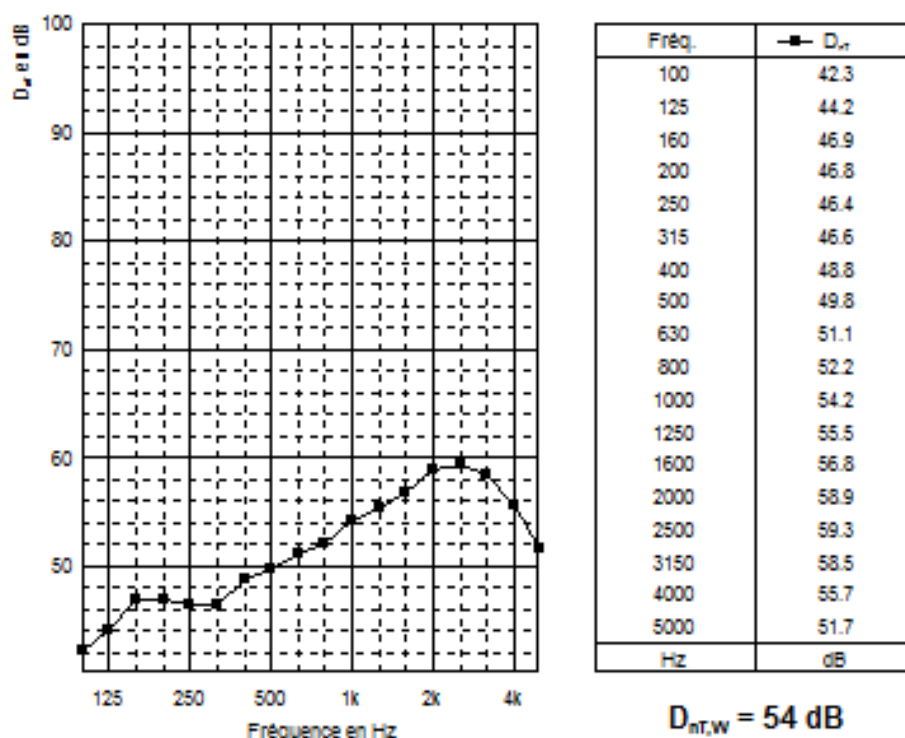


Figura 89 - Capacidade da fachada exterior do quarto isolar os sons aéreos, habitação 2

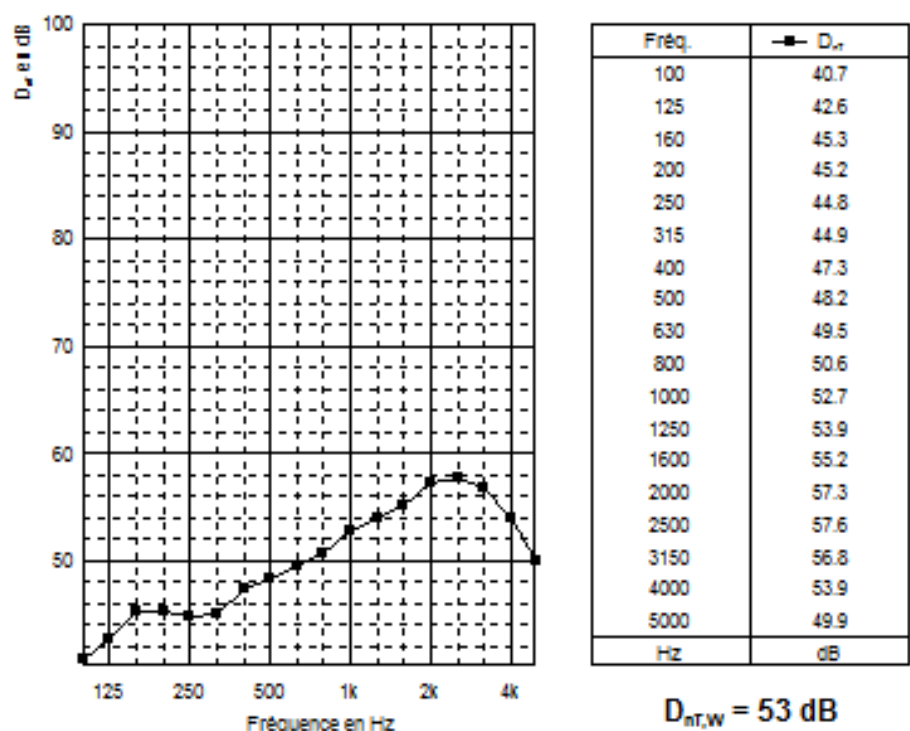


Figura 90 - Capacidade da fachada exterior da sala isolar os sons aéreos, habitação 2

7. CONCLUSÕES

As conclusões do trabalho realizado são apresentadas em 3 subcapítulos. O primeiro é denominado de considerações finais, o segundo é limitações e o terceiro é desenvolvimentos futuros.

7.1. Considerações Finais

O presente trabalho consistiu no estudo da reabilitação energética de dois edifícios visando a qualidade do ambiente interior. Para desenvolver este tema foi necessário uma pesquisa bibliográfica sobre o parque edificado português, o qual, devido ao elevado número de edifícios desabitados, tem necessidades de obras de reabilitação estruturais e não estruturais. Assim, é necessário intervir nos edifícios de forma a reduzir os consumos energéticos e aumentar a qualidade do ambiente interior, ou seja, do conforto dos ocupantes.

Através de uma análise visual foram então, numa primeira fase, detetadas patologias relacionadas com a humidade. Para cada caso foram analisadas possíveis causas e soluções para resolver ou minimizar o problema.

Para avaliação da qualidade do ar interior, do comportamento hidrotérmico, lumínico e acústico foram realizados ensaios na cozinha, no quarto e na sala das duas habitações para posteriormente comparar com valores regulamentares e verificar o nível de qualidade.

Relativamente à qualidade do ar interior, na habitação 1 só a concentração de monóxido de carbono está dentro do valor limite de referência, todos os outros poluentes, como o dióxido de carbono, formaldeído, ozono e partículas suspensas no ar não cumprem os valores regulamentares. Nota-se, que a casa é possivelmente ventilada com pouca frequência.

Na habitação 2, o monóxido de carbono e as partículas suspensas no ar cumprem os requisitos impostos. Quanto ao dióxido de carbono, ao formaldeído e ao ozono é visível o seu excesso, sendo recomendável o mesmo que para a habitação 1. Além disso, deve-se ter um cuidado especial com a ventilação da garagem subterrânea para diluir os poluentes produzidos pelos automóveis, pois a garagem tem contacto com a restante habitação.

Assim, os compartimentos com excesso de poluentes devem ser ventilados através de janelas, grelhas auto-reguláveis ou até mesmo por ventilação mecânica com funcionamento em contínuo, ou pelo menos durante os períodos de ocupação, localizando as tomadas de ar em locais distantes das fontes de poluentes exteriores. Esta estratégia poderá melhorar a qualidade do ar ao nível de cada um dos poluentes medidos, a menos que a qualidade do ar exterior seja pior do que a interior. Além disso, é necessário verificar regularmente o funcionamento de fogões e esquentadores e garantir a evacuações de gases libertados pelos mesmos.

Quanto ao comportamento higrotérmico, no inverno, todos os compartimentos estudados nas duas habitações cumprem as normas ASHRAE Standard 55:2010, EN 15251:2007 e EN ISO 7730:2005, isto significa os ocupantes de encontram em conforto térmico.

No comportamento lumínico, para habitação 1 conclui-se que nenhum dos compartimentos estudados cumpre os valores definidos pela CIE relativamente à iluminância. Estes resultados eram espectáveis uma vez que esta é uma habitação antiga, com poucos envidraçados e de pequenas dimensões. Assim, como a iluminação natural não é suficiente durante o dia, torna-se necessário recorrer a sistemas de iluminação artificial.

A qualidade da iluminação, depende geralmente da qualidade do projeto, de uma correta geometria e localização e de boas características dos envidraçados, contudo a existência de um sistema de iluminação natural é sempre necessária para assegurar as necessidades do edifício (durante a noite).

Já os ensaios acústicos realizados nos três períodos de referência, cumprem os requisitos impostos pela norma EN 15251:2007, nas duas habitações. Apesar da habitação 1 se encontrar próxima de uma estrada nacional com elevado tráfego automóvel, este não é um problema sonoro para a habitação.

Após esta análise *in situ* foram realizadas simulações através de programas específicos para os parâmetros estudados. Inicialmente calculou-se através do DesignBuilder os consumos energéticos das duas habitações, tendo a habitação 1 maiores consumos energéticos, o que seria de esperar devido à solução construtiva da habitação, que não tem qualquer tipo de isolamento térmico. Contudo os consumos da habitação 2, que tem isolamento térmico nas paredes exteriores e na cobertura, não são muitos inferiores pois esta é uma habitação com uma área muito superior que consome, naturalmente, mais energia.

Na habitação 1, escolheram-se dois materiais (XPS e EPS) para analisar os consumos energéticos previstos atendendo também aos custos e ao período de retorno de investimento, a solução adotada foi 80mm de EPS para a envolvente exterior.

Quanto à habitação 2, como esta já contém isolamento térmico nas paredes (PUR) e na cobertura (XPS) apenas foi analisado o custo de investimento da aplicação do mesmo isolamento para diversas espessuras.

Relativamente à simulação do comportamento acústico, o EPS é um material sem capacidade de absorção acústica, sendo assim, este material não aumenta a capacidade de isolamento acústico das duas habitações estudadas.

Por fim, o estudo da qualidade do ar interior realizou-se com base no critério de Fanger, verificando-se que a percentagem de pessoas descontentes (PPD) para a habitação 1 é de 19,88%, correspondendo a uma perceção da qualidade do ar interior de 1,4 decipol. Para um edifício de classe B, é expectável que a PPD seja de 20%, ou seja, neste caso, como a PPD é inferior a este limite, que não é necessário melhorar as condições existentes no edifício.

O mesmo acontece com a habitação 2, que tem uma percentagem de pessoas descontentes de 14,99%, correspondendo a uma perceção da qualidade do ar interior de 0,97 decipol. Como é um edifício de classe A, é expectável que a PPD seja de 15%, o que nos leva à mesma conclusão obtida para a habitação 1.

Existe uma grande variedade de soluções construtivas para paredes, coberturas e envidraçados que conjugados de forma adequada permite obter bons resultados a nível térmico e lumínico, minimizando os consumos energéticos.

7.2. Limitações

Durante o trabalho realizado foram encontradas algumas limitações.

A principal limitação, foram os programas de simulação, especialmente o Radiance. Estes programas têm versões antigas de difícil instalação e manutenção. Além disso, não estão totalmente atualizados, por exemplo no caso da previsão do isolamento acústico, a base de dados de soluções existente apesar de ampla, não abrange a generalidade das soluções existentes, e a sua expansão não é fácil uma vez que se fundamenta em ensaios realizados em laboratório.

Duas outras limitações deste trabalho são o clima e a estação do ano em que se realizam os ensaios, uma vez que o ensaio relativo à avaliação conforto térmico não se ter realizado nem na estação de inverno, nem na estação de verão. Quanto ao ensaio de avaliação do conforto lumínico deveria ser realizado com céu encoberto mas no entanto não foi possível e realizou-se com céu parcialmente encoberto.

Outra limitação foi a ausência de projeto da habitação 1, o que impossibilitou uma rigorosa descrição da envolvente.

7.3. Desenvolvimentos Futuros

Esta dissertação pode originar trabalhos futuros, como:

- Análise de edifícios com diferentes soluções construtivas para avaliar de que forma é que as mesmas influenciam positivamente ou negativamente o comportamento interior dos edifícios;
- Análise de um número maior de edifícios de diferentes idades de forma a criar uma amostra mais abrangente (feita de construção e de tipologias diferentes);
- Realizar ensaios referentes ao conforto térmico para as situações mais desfavoráveis, ou seja, para as temperaturas mais altas no verão e mais baixos no inverno;
- Avaliar a concentração de outros poluentes no interior das habitações, como o radão e os compostos orgânicos voláteis (COVs).
- Estudar várias soluções de reabilitação para reduzir os consumos energéticos, como por exemplo, estudar outro tipo de isolantes térmicos ou novos materiais que surjam no mercado.

BIBLIOGRAFIA

- [1] INE - Instituto Nacional de Estatística. **Evolução do Parque Habitacional em Portugal 2001-2011**. 2012
- [2] www.myenergy.lu – Acedido em 21/01/2013
- [3] DECO. **Eficiência Energético nos edifícios residenciais**, 2008
- [4] Diretiva - 2010/31/EU - “**The European Parliament and of the council**”, 19 de Maio de 2010.
- [5] http://ec.europa.eu/portugal/comissao/destaques/20140122_clima_energia_metas_2030_pt.htm - Acedido em 14/05/2014
- [6] Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicação, *Decreto-Lei nº 79/2006*. 2006.
- [7] Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicação, *Decreto-Lei nº 80/2006*. 2006.
- [8] Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicação, *Decreto-Lei nº 118/2013*. 2013.
- [9] Santos, Joana, **Avaliação da qualidade do ar interior em jardins-de-infância**. Departamento de Engenharia e Higiene Ocupacionais, Faculdade de engenharia da universidade do Porto, 2010.
- [10] Silva, Sandra, **A sustentabilidade e o conforto das construções**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2009.
- [11] www.engenhariacivil.com – Acedido em 20/02/2014

[12] Pimentel, António, **Reabilitação de edifícios tradicionais**. Universidade Fernando Pessoa, 2005

[13] INE - Instituto Nacional de Estatística. **Estatísticas da Construção e Habitação 2012**. 2013

[14] Lopes, Tânia, **Reabilitação Sustentavel de Edifícios de Habitação**. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2010

[15] ADENE, **Guia da Eficiência Energética**. 2011

[16] <http://www.pordata.pt/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela> - Acedido em 17/02/2014

[17] Moita, Francisco, **Energia Solar Passiva**. Argumentum, 2010

[18] Ferreira, Joana, **Técnicas de Diagnóstico de Patologias em Edifícios**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010

[19] Silva, J. Mendes da; Abrantes, Vitor, **Patologias em Paredes de Alvenaria**. Universidade de Coimbra, 2007

[20] Souza, Marcos, **Patologias Ocasionadas pela Umidade nas Edificações**. 2008, Universidade Federal de Minas Gerais

[21] Freitas, V. P. de; Pinto, P. da S., **Permeabilidade ao vapor de materiais de construção – Condensações internas, Nota de informação técnica**. NIT 002 – LFC 1998

[22] Castilho, António et al, **Reabilitação de Edifícios As patologias mais frequentes e as técnicas de reabilitação**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009

[23] Parreiral, Ana, **Caracterização da Qualidade do Ambiente Interior nem Edifício Escolar Recentemente Requalificado**. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2011

-
- [24] Esteves, Gustavo, **Avaliação das condições de conforto térmico no interior de edifícios e do Nível de isolamento térmico da envolvente**. Departamento de Engenharia Civil, 2011
- [25] Amaral, Manuel, **Sistemas de ventilação natural e mistos em edifícios de habitação**, Departamento de Engenharia Civil: 2008
- [26] Zeferina, Vasco, **Otimização de sistemas de ventilação natural em edifícios**. Universidade de Aveiro, 2010
- [27] Silva, Sandra, **Física das construções**. Departamento de engenharia Civil
- [28] <http://www.engenhariacivil.com/sistemas-ventilacao-edificios> - Acedido em 22/01/2013
- [29] EN ISO 7730 - **Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**, 2005
- [30] ASHRAE 55:2010 - **Thermal Environmental Conditions for Human**, 2010
- [31] EN 15251- **Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics**, 2007
- [32] Santo, António J., **Caracterização das condições ambientais de iluminação natural nos edifícios com base na avaliação “in situ”**. LNEC
- [33] EN 12464-1 - **Lighting of work places**, 2002
- [34] <http://www.engenhariacivil.com/acustica-isolamento-sonoro-edificio> - Acedido a 02/03/2014
- [35] <http://www.imperialum.com/> - Acedido em 24/04/2014

- [36] <https://www.google.com/earth/> - Acedido em 20/11/2013
- [37] Nota técnica NT-SCE-02 - **Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE**, 2002
- [38] EN 7726 - **Ergonomics of the thermal environment. Instruments for measuring physical quantities**, 2001
- [39] CIE- Comissão internacional de iluminação
- [40] NP 1730-1 - **Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos**, 1996
- [41] Decreto - Lei 34/2008 de 9 de Junho- **“Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios (RRAE)”** *In Diário da república, I série – A, n.110, 9 de Junho de 2008.*
- [42] http://www.bs2011.org/BS2011_DBA_flyer.pdf - Acedido em 20/05/2014
- [43] Desktop Radiance - <http://radsite.lbl.gov/deskrad/>- Acedido em 10/06/2014
- [44] Polli, Taiana & Viveiros, Elvira B., **Quando o preço não faz diferença: A relação entre o custo do imóvel e o conforto acústico**. Encontro Nacional Latino Americano de conforto no Ambiente Construído, 2007
- [45] LNEQ, Manual SolTerm, Manual de instalação e utilização do software SolTerm, 2012
- [46] ITE 50 - **Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006
- [47] <http://www.plastimar.pt/index.php?id=69> - Acedido em 03/05/2014
- [48] <http://orcamentos.eu/tabelas-de-precos-online/> - Acedido em 12/06/2014
- [49] www.cype.pt - Acedido em 12/06/2014

ANEXOS

ANEXO A

- **Aparelho multifuncional para medição da concentração de Monóxido de Carbono (CO) e Dióxido de Carbono (CO₂)**

Para avaliar a concentração de monóxido e dióxido de carbono foi utilizado o aparelho multifuncional 435 da Testo, com Classe de proteção IP 54 e bateria de NiMH e carregador AC (100-240 V).

O Testo 435 (0563 4352) em conjunto com a sonda IAQ (0632 1535) permite a avaliação da Qualidade do Ar Interior com base na concentração de CO₂, humidade relativa, temperatura ambiente e pressão absoluta. A medição da concentração de CO foi realizada com a sonda CO ambiente (0632 1235).

A capacidade de armazenamento de dados do Testo 435 é de 10000 leituras, com a respetiva data e hora de medição, permite também o cálculo de média das medições por tempo, multipontos ou ambos.

Os dados podem ser transferidos para o computador através de uma ligação USB. É possível visualizar as leituras de 3 sensores em simultâneo.

As principais características do Testo 435 são apresentadas na Tabela 42.

Tabela 42 – Principais características do Testo 435

Testo 435	
Duração da bateria	200 h
Dimensões	225 x 74 x 46 mm
Tipo de sensor	Sensor de QAI (CO ₂ , Ta, Hr, P)
Gama de medições	0 a + 50°C 0 a + 100% Hr 0 a + 1000 ppm CO ₂ + 600 a + 1150 hPa
Precisão	± 0.3 °C ± 2 % Hr (+2 a + 98% Hr) ± (50 ppm CO ₂ ± 2% de mv) (0 a + 5000 ppm CO ₂) ± (100 ppm CO ₂ ± 3% de mv) (+ 500 a 10000 ppm CO ₂) ± 5 hPa
Resolução	1 ppm CO ₂ 0,1 °C 0,1 %Hr 0,1 hPa
Temperatura de funcionamento	- 20 a + 50 °C
Temperatura de armazenamento	- 30 a + 70 °C
Velocidade de medição	2/s
Tipo de sensor	CO
Tipo de sensor	Anemómetro de fia quente
Gama de medição	0 a + 20 m/s
Precisão	± (0,03 m/s + 5% do vm)

- **Formaldeído**

O sensor de formaldeído, Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300, é um instrumento portátil que permite medir a concentração de formaldeído (HCHO) no ambiente.

Durante as medições é apresentada no ecrã do sensor, a concentração, em tempo real, de formaldeído no ar, em parte por milhão (ppm). Este valor é atualizado a cada 10 segundos. O sensor continua a medição até terminar o período de medição. O período de medição é de 30 minutos.

As principais características do sensor de formaldeídos são apresentadas na Tabela 43.

Tabela 43 - Especificações dos componentes do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300

Gama nominal	0 – 30 ppm
Valor máximo	34 ppm
Tempo de resposta	< 60 segundos
Máximo valor base	0,05
Temperatura de funcionamento	0 a 40 °C
Gama de pressões	Atm +/- 10 %
Gama de humidade relativa	15 a 90% (sem condensação)
Alarme	Audível, 80 dB

Procedimento para medição:

- Colocar a tampa no sensor e ligar (30 segundos a 1 minuto);
- Retirar a tampa e colocar o filtro 1 (amarelo) (30 segundos a 3 minutos);
- Retirar o filtro 1 e colocar o filtro 2 (branco);
- Medir só num ponto fornece uma medição mais exata;
- Pode-se configurar o sensor para medir entre 0 a 30 minutos, retirando valores de 10 em 10 segundos;
- Para ver qual o valor médio manter premir a tecla “AVE” depois de terminadas as medições.

• Ozono

O sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200, permite medir a concentração de ozono (O₃) no ambiente.

No mostrador do sensor, durante as medições é mostrada a concentração, em tempo real, de ozono no ar, em parte por milhão (ppm). Este valor é atualizado a cada 10 segundos. O sensor continua a medição até terminar o período de medição. O período de medição é 30 minutos.

As principais características do sensor de medição de ozono são apresentadas na tabela 44.

Tabela 44 - Especificações dos componentes do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL- 1200

Gama nominal	0 – 2 ppm
Resolução	0,01 ppm
Precisão	+/- 0,02ppm
Tempo de resposta, 90% pico	< 150 segundos
Temperatura de funcionamento	- 20 a 50°C
Gama de pressões	Atm +/- 10%
Gama de humidade relativa	15 a 90% (sem condensação)
Alarme	Audível, 80 dB

Procedimento para medição:

- Colocar a tampa;
- Ligar o sensor;
- O sensor mostra o modelo, tipo químico, data, hora e memória disponível;
- Iniciar medições;
- Remover a tampa e confirmar;
- Medição da concentração de ozono em partes por milhão (ppm);
- Valor máximo: PEAK; valor médio: AVG; nova medição: NEW;
- Concentração de ozono atualizada a cada 10 segundos até 30min.

• Partículas Suspensa no Ar – PM₁₀

O sensor de partículas, DUSTTRAK™ II, permite medir a concentração de partículas (PM₁, PM_{2,5}, PM₄ e PM₁₀) no ambiente, usando filtros seletivos, separadamente, que retêm as partículas com características específicas, recolhidas num prato de recolha metálico, da massa de ar que circula a 3,0 l/min, aspirado por uma bomba de vácuo. O filtro de PM_{2,5} é usado para calibração do equipamento.

O sensor de partículas DUSTTRAK II é um fotómetro a laser, com bateria, armazenamento de dados, que permite a leitura em tempo real da concentração de partículas no ar. Uma bomba interna permite a utilização de diversos filtros (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, ou respiráveis).

Este sensor possui:

- Capacidade de amostragem gravimétrica através de um filtro de cassete com 37 mm;
- Aviso visual e alarme que soará se a concentração ultrapassar um valor pré-definido;

- Baterias recarregáveis em Li-Ion;
- Possibilidade de carregamento das baterias inseridas no equipamento ou no exterior;
- Ecrã táctil, permitindo a realização de medições de forma manual ou programando o sensor;

As principais características do sensor de medição de partículas são apresentadas na tabela 45.

Tabela 45 - Especificações dos componentes do sensor de partículas,
DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531

Tipo de sensor	90° light scattering
Tamanho das partículas	0,1 a 10 µm
Resolução	± 0,1% da medição ou 0,001 mg/m ³ , o que for superior
Estabilidade	± 0,002 mg/m ³ por 24 horas a 10 segundos
Caudal de ar	3,0 l/min, por defeito, pode ser ajustado entre 1,4 e 3,0 l/min
Eficiência da circulação do caudal	± 5%
Coefficiente de temperatura	+ 0,001 mg/m ³ por °C
Temperatura de funcionamento	0 a 50°C
Temperatura de armazenamento	- 20 a 60°C
Humidade de funcionamento	0 a 95% (sem condensação)
Constante de tempo	1 a 60 segundos
Armazenamento	5 MB de memória interna (> 60000 dados)
Intervalo de registo	1 s a 1 h
Dimensões	13.5 x 21.6 x 22.4 cm
Peso	1,6 kg, 2,0 kg com uma bateria e 2,5 kg com duas baterias
Comunicação	8530/31 USB; 8532 USB
Corrente eléctrica	115-240 VAC (adaptador de corrente AC incluído)
Baterias	6h de funcionamento; 4h de carregamento

ANEXO B

- **Avaliação do Conforto Térmico**

Para a avaliação da situação de conforto térmico nos edifícios foi utilizada o equipamento HD32.1 Thermal Microclimate, produzido pela Delta Ohm, que permite estudar, medir e controlar o Microclima em edifícios.

O programa operativo A: Análises Microclimáticas, HD32.1 é capaz de obter simultaneamente as seguintes grandezas:

- Temperatura do bolbo negro;
- Temperatura do bolbo húmido de ventilação natural;
- Temperatura ambiente;
- Pressão atmosférica;
- Humidade relativa;
- Velocidade do ar.

As características da estação de conforto, apresentam-se na Tabela 46.

Tabela 46 – Especificações técnicas dos componentes da estação de conforto

Dimensões	(A L P) 220x180x50 mm
Peso	1100 g (com baterias)
Material	ABS, policarbonato e Alumínio
Mostrador	Retro-iluminado, dot matrix 128x64 dots, Área visível 46x38 mm
Condições operacionais	
Temperatura operacional	-5 a 50°C
Temperatura de armazenamento	-25 a 65°C
Humidade relativa operacional	0 a 90% de Hr não condensada
Classe de proteção	IP64
Incerteza do instrumento	1 dígito @ 20°C
Alimentação	
Adaptador principal	12Vdc/1A
Baterias	Quatro pilhas 1.5V tamanho C

ANEXO C

Estimativa Orçamental					
ART.	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UNI.	QUANT.	PREÇO	
				UNITÁRIO	TOTAL
CAP. 2	EQUIPAMENTOS SOLARES				
2.1	PAINÉIS SOLARES				
2.1.1	Do tipo Beretta - RIELLO SC-F25, com 2,2 m2.	un	2.0	508.50 €	1,017.00 €
2.2	ACESSÓRIOS				
2.2.1	Purgador automático c/valvula esfera 3/8"	un	1.0	27.41 €	27.41 €
2.2.2	Vaso Expans. P/Solar 18L	un	1.0	45.20 €	45.20 €
2.2.3	Regulador Térmico Diferencial	un	1.0	226.93 €	226.93 €
2.2.4	Grupo de Circulação de ida e retorno - com bomba grunfos MAGNA1 32-60	un	1.0	620.00 €	620.00 €
2.2.5	Torneira de Interceção para Purgador 3/8"	un	1.0	24.57 €	24.57 €
2.2.6	Kit fixação vaso expansão	un	1.0	51.30 €	51.30 €
2.2.7	Fluido térmico solar (5 lts)	un	2.0	11.82 €	23.64 €
2.2.8	Glicol não diluido (5 lts)	un	2.0	35.48 €	70.96 €
2.2.9	Tampão de 3/4" para painel solar	un	2.0	2.03 €	4.06 €
2.2.10	Ligador para coletor solar 3/4"	un	2.0	8.87 €	17.74 €
2.2.11	Estrutura suporte para 2 painéis - Telhado plano	un	1.0	414.30 €	414.30 €
2.2.12	União Anti-electrólise - 1 1/4"	un	1.0	20.00 €	20.00 €
2.2.13	Válvula 3 vias motorizada - 3/4"	un	1.0	56.76 €	56.76 €
2.3	ACUMULADOR AQS				
2.3.1	Acumulador vertical com capacidade para 200 litros, com duas serpentinas, com flange de visita e isolamento de poliuretano injectado coberto com uma capa rígida. Cuba em aço vitrificado segundo DIN4753 com protecção catódica, do tipo Beretta IDRA DS 200	un	1.0	986.30 €	986.30 €
2.3.2	Vaso Expans. P/Sanitaria 18L	un	1.0	55.00 €	55.00 €
2.3.3	ER-Kit fixação vaso expansão	un	1.0	61.15 €	61.15 €
2.3.4	Válvula de Segurança 3/4" 8bar	un	1.0	43.31 €	43.31 €
2.3.5	Valvula motorizada 3 vias 1 1/4"	un	1.0	329.37 €	329.37 €
2.4	TUBAGENS				
2.4.1	Tubo de cobre rígido com parede de 1 mm de espessura e 20 mm de diâmetro, segundo NP EN 1057. Com manga isolante moldada de lã de vidro, aberta longitudinalmente pela geratriz, de 24,0 mm de diâmetro interior e 40,0 mm de espessura	m	30.0	12.00 €	360.00 €
TOTAL					4,455.00 €

ANEXO D

Estimativa Orçamental					
ART.	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	UNI.	QUANT.	PREÇO	
				UNITÁRIO	TOTAL
CAP. 2	EQUIPAMENTOS SOLARES				
2.1	PAINÉIS SOLARES				
2.1.1	Do tipo Beretta - RIELLO SC-F25, com 2,2 m2.	un	2.0	508.50 €	1,017.00 €
2.2	ACESSÓRIOS				
2.2.1	Purgador automático c/valvula esfera 3/8"	un	1.0	27.41 €	27.41 €
2.2.2	Vaso Expans. P/Solar 18L	un	1.0	45.20 €	45.20 €
2.2.3	Regulador Térmico Diferencial	un	1.0	226.93 €	226.93 €
2.2.4	Grupo de Circulação de ida e retorno - com bomba grunfos MAGNA1 32-60	un	1.0	620.00 €	620.00 €
2.2.5	Torneira de Interceção para Purgador 3/8"	un	1.0	24.57 €	24.57 €
2.2.6	Kit fixação vaso expansão	un	1.0	51.30 €	51.30 €
2.2.7	Fluido térmico solar (5 lts)	un	2.0	11.82 €	23.64 €
2.2.8	Glicol não diluido (5 lts)	un	2.0	35.48 €	70.96 €
2.2.9	Tampão de 3/4" para painel solar	un	2.0	2.03 €	4.06 €
2.2.10	Ligador para coletor solar 3/4"	un	2.0	8.87 €	17.74 €
2.2.11	Estrutura suporte para 2 painéis - Telhado plano	un	1.0	414.30 €	414.30 €
2.2.12	União Anti-electrólise - 1 1/4"	un	1.0	20.00 €	20.00 €
2.2.13	Válvula 3 vias motorizada - 3/4"	un	1.0	56.76 €	56.76 €
2.3	ACUMULADOR AQS				
2.3.1	Acumulador vertical com capacidade para 300 litros, com duas serpentinas, com flange de visita e isolamento de poliuretano injectado coberto com uma capa rígida. Cuba em aço vitrificado segundo DIN4753 com protecção catódica, do tipo Beretta IDRA DS 300	un	1.0	1,168.00 €	1,168.00 €
2.3.2	Vaso Expans. P/Sanitaria 18L	un	1.0	55.00 €	55.00 €
2.3.3	ER-Kit fixação vaso expansão	un	1.0	61.15 €	61.15 €
2.3.4	Válvula de Segurança 3/4" 8bar	un	1.0	43.31 €	43.31 €
2.3.5	Valvula motorizada 3 vias 1 1/4"	un	1.0	329.37 €	329.37 €
2.4	TUBAGENS				
2.4.1	Tubo de cobre rígido com parede de 1 mm de espessura e 20 mm de diâmetro, segundo NP EN 1057. Com manga isolante moldada de lã de vidro, aberta longitudinalmente pela geratriz, de 24,0 mm de diâmetro interior e 40,0 mm de espessura	m	44.0	12.00 €	528.00 €
				TOTAL	4,804.70 €