



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Pedro Vieira Ribeiro

Avaliação do impacto dos diferentes regulamentos termo-energéticos em Portugal num edifício de habitação unifamiliar



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Pedro Vieira Ribeiro

Avaliação do impacto dos diferentes
regulamentos termo-energéticos em
Portugal num edifício de habitação unifamiliar

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

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professora Doutora Sandra Monteiro Silva

“Mestre não é quem sempre ensina, mas quem de repente aprende.”

Guimarães Rosa

AGRADECIMENTOS

Apesar de se tratar de um trabalho individual, gostaria de prestar o meu sincero agradecimento às pessoas que me acompanharam, nos bons e maus momentos, ao longo de todo o meu percurso académico. Desta forma, agradeço:

- À Professora Sandra Monteiro da Silva, orientadora da presente dissertação, por toda a orientação, disponibilidade, apoio e ajuda, seja ao nível técnico e/ou científico, o que tornou os meus conhecimentos mais alargados nesta temática.
- Aos meus grandes amigos e companheiros, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), por toda a amizade e momentos únicos que me proporcionaram ao longo dos meus primeiros anos académicos. Aprendi muita coisa convosco e, esses anos sem vocês não seriam os mesmos. A todos eles, o meu muito obrigado.
- Um agradecimento muito especial aos meus Pais e à minha irmã, pelo apoio incondicional, motivação e esforço que tiveram que suportar, de forma a tornar o meu mestrado possível.
- Por último, e o mais importante, à minha namorada Sabina. Dizer apenas um “obrigado” é pouco, tendo em conta a sua importância, não só durante o meu percurso académico, mas na minha vida. Um agradecimento especial por toda a sua confiança, motivação, carinho, suporte, mas sobretudo pela sua compreensão.

RESUMO

Atualmente, o consumo de energia, a nível mundial, é bastante elevado, o que faz com que haja uma crescente necessidade de recursos energéticos. Sendo estes, em grande parte, dependentes de fontes de energia não renováveis, originam consequências nefastas para o ambiente. Posto isto, nos anos 1970, deu-se a primeira crise energética a nível mundial, levando a uma consciencialização da necessidade de reduzir os consumos energéticos. Essa necessidade, trouxe consequências diretas na qualidade do ambiente interior nos edifícios, uma vez que, conduziu ao aumento da estanquidade ao ar da envolvente destes e, conseqüentemente, a redução da taxa de renovação de ar.

Posto isto, a presente dissertação avaliou a evolução das necessidades energéticas e relacionou as taxas de renovação de ar, de acordo com a regulamentação térmica nacional, ou seja, o RCCTE:1990, o RCCTE:2006 e o REH:2013, sendo estes regulamentos fundamentais para assegurar a qualidade do ar interior e o conforto térmico de edifícios residenciais. Para a realização deste estudo, foram analisados três edifícios de habitação unifamiliar, representativos dos edifícios abrangidos pelos três regulamentos anteriormente referidos.

Do estudo realizado, foi possível concluir-se que, em Portugal, tem existido uma grande evolução na regulamentação térmica, sendo esta cada vez mais exigente. Com os resultados obtidos nesta dissertação, verificou-se que, desde 1990 até aos dias de hoje, as necessidades energéticas dos edifícios têm vindo a diminuir. Isto deve-se ao maior nível de isolamento térmico e estanquidade ao ar da envolvente, o que permite que estes reduzam as trocas de energia com o exterior. Apesar dos edifícios serem termicamente eficientes, a maior estanquidade ao ar faz com que as taxas de renovação de ar no seu interior sejam menores, podendo desta forma comprometer a qualidade do ar interior.

Palavras-chave: Ventilação, eficiência energética, habitações unifamiliares, taxas de renovações horárias.

ABSTRACT

At present, world energy consumption is quite high, which makes the growing need for energy resources indispensable. Since they are largely dependent on non-renewable energy sources, they have harmful consequences for the environment. That said, in the 1970s, the world's first energy crisis took place, leading to an awareness of the need to reduce energy consumption. This necessity has had direct consequences on the quality of the indoor environment in buildings since it has led to an increase in the air tightness of the envelope and, consequently, the reduction of the air change rate.

Thus, the present work evaluated the evolution of energy needs and related air change rates, according to the Portuguese thermal regulation, that is, the RCCTE:1990, the RCCTE:2006 and the REH:2013, that aimed to ensure the indoor air quality and the thermal comfort of residential buildings. In order to carry out this study, three single-family buildings, representative of the buildings built during the three previously mentioned regulations, were analysed.

From the study carried out, it was possible to conclude that, in Portugal, there has been a significant evolution in the thermal regulation, these being more and more demanding. With the results obtained in this work, it was possible to verify that, from 1990 to the present, the buildings' energy needs have been reduced. This is due to the increased thermal insulation levels and airtightness of the envelopes, which allows the reduction on the heat exchange through the envelope. Although the more thermally efficient buildings, the higher air tightness means that the air change rates are lower, which could compromise the indoor air quality.

Key words: Ventilation, energy efficiency, single-family housing, air changes rate.

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos da dissertação	3
1.3	Estruturação da dissertação	4
2	ESTADO DA ARTE	7
2.1	Eficiência Energética	7
2.2	Regulamentos Térmicos em Portugal	10
2.2.1	RCCTE:1990	10
2.2.2	RCCTE:2006	11
2.2.3	REH:2013	13
2.3	Qualidade do Ar Interior	14
2.4	Sistema de Ventilação	19
2.5	Ventilação Natural	21
2.5.1	Ação do Vento	25
2.5.2	Infiltrações	27
	Técnicas de Ventilação Natural	27
2.5.3		27
2.5.3.1	Ventilação Unilateral	27
2.5.3.2	Ventilação Cruzada	28
	Efeito Chaminé	29
2.5.3.3		29
2.6	Exemplos de Ventilação	30
2.6.1	Arquitetura Vernacular	30
2.6.1.1	Torres de Vento	31
2.6.1.2	Pátios	32

2.6.1.3	Iglôs	34
2.6.2	Exemplo de Arrefecimento Usando Ventilação Natural	35
2.7	Poluição Urbana, Ruído e Ventilação Natural	36
2.8	Permeabilidade ao Ar	37
2.8.1	Admissão de Ar	38
2.8.2	Passagens de Ar Interiores	40
3	METODOLOGIA	43
3.1	Enquadramento	43
3.2	DesignBuilder	44
3.2.1	Traçado do Projeto	45
3.2.2	Atividades	45
3.3	Construção	46
3.4	Aberturas	46
3.5	HVAC	46
4	CARATERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS	47
4.1	Caraterização do Edifício A	50
4.2	Caraterização do Edifício B	55
4.3	Caraterização do Edifício C	61
5	RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	67
5.1	Ganhos Solares	69
5.2	Conforto	70
5.3	Ventilação Natural	76
5.5	Perdas e Ganhos pela Envolvente	83
5.6	Consumos Energéticos	88
6	Conclusão e trabalhos futuros	97
6.1	Conclusão	97
6.2	Trabalhos Futuros	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição dos consumos de eletricidade pelos diferentes usos finais	8
Figura 2 - Fontes de Problemas de Qualidade do Ar Interior.....	15
Figura 3 - Gama de temperaturas de conforto na presença de ventilação natural	22
Figura 4 - Variação da velocidade do vento com a altura e condições do terreno	25
Figura 5 - Distribuição de pressão do vento entre duas aberturas posicionadas verticalmente	26
Figura 6 - Exemplo de ventilação unilateral.....	28
Figura 7 - Exemplo de ventilação cruzada	29
Figura 8 - Imagem representativa do Efeito Chaminé.....	30
Figura 9 - Bagdir no Dubai.....	31
Figura 10 - Torre de vento em Yazd para ventilar casas	32
Figura 11 - Esboço de um pátio de uma casa no sul da China	34
Figura 12 - Exemplo de um Iglô.....	34
Figura 13 - Esquema do sistema de ventilação do Edifício Solar XXI.....	35
Figura 14 - The Magnificent Mile	36
Figura 15 - Corte transversal da atmosfera urbana.....	37
Figura 16 - Padrão de escoamento num desfiladeiro urbano.....	37
Figura 17 - Repartição do escoamento na fachada frontal de um edifício	39
Figura 18 - Folga na porta constituindo passagem de ar interior, grelha aplicada na porta constituindo passagem de ar interior e grelha aplicada na parede constituindo passagem de ar interior	41
Figura 19 - Modelação do Edifício em estudo	47
Figura 20 - Representação esquemática do Piso 0	49
Figura 21 - Representação esquemática do Piso 1	49
Figura 22 - Solução construtiva da cobertura do Edifício A	53
Figura 23 - Solução construtiva da parede exterior, do Edifício A	54
Figura 24 - Solução construtiva do pavimento do Edifício A	55
Figura 25 - Solução construtiva da cobertura do Edifício B	58
Figura 26 - Solução construtiva da parede exterior, do Edifício B	59
Figura 27 - Solução construtiva do pavimento do Edifício B	60
Figura 28 - Solução construtiva da cobertura do Edifício C	63
Figura 29 - Solução construtiva da parede exterior, do Edifício C	64
Figura 30 - Solução construtiva do pavimento do Edifício C	65

Figura 31 - Ganhos solares mensais dos três edifícios em estudo	69
Figura 32 - Valores mensais da temperatura ambiente no interior dos três edifícios em estudo	71
Figura 33 - Valores mensais da temperatura operativa dos três edifícios em estudo	72
Figura 34 - Valores obtidos referentes à humidade relativa, para os três edifícios em estudo	74
Figura 35 - Valores mensais, referentes ao PMV, para os três edifícios em análise	75
Figura 36 - Perdas de energia por infiltração, para os três edifícios em análise	79
Figura 37 - Perdas anuais de energia por infiltrações, para os três edifícios de habitação	80
Figura 38 - Perdas de energia por ventilação, para os três edifícios em estudo	81
Figura 39 - Perdas anuais de energia por ventilação, para os três edifícios	82
Figura 40 - Perdas de calor através das paredes exteriores para os três edifícios em estudo ..	83
Figura 41 - Resultados dos ganhos e perdas de energia através dos envidraçados	85
Figura 42 - Resultados dos ganhos e perdas de energia, através de cobertura, para os três edifícios em estudo	86
Figura 43 - Resultados das perdas de energia através do pavimento para os três edifícios em estudo	87
Figura 44 - Consumos mensais com o aquecimento para os três edifícios	89
Figura 45 - Consumos energéticos anuais referentes ao aquecimento para os três edifícios em estudo	90
Figura 46 - Consumos energéticos mensais para o arrefecimento dos edifícios em estudo	91
Figura 47 - Consumos anuais totais de energia para o arrefecimento para os três edifícios em análise	92
Figura 48 - Consumos mensais de eletricidade para o Edifício A	93
Figura 49 - Consumos mensais de eletricidade para o Edifício B	94
Figura 50 - Consumos mensais de eletricidade para o Edifício C	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Principais poluentes da qualidade do ar interior e os respetivos limiares de proteção	16
Tabela 2 - Grau de importância de alguns poluentes nos compartimentos de uma habitação .	19
Tabela 3 - Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço.....	24
Tabela 4 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais	25
Tabela 5 - Áreas uteis das aberturas de passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço	40
Tabela 6 - Compartimentos e respetivas áreas dos edifícios em estudo.....	48
Tabela 7 - Área dos envidraçados, por orientação.....	48
Tabela 8 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos de elementos opacos e de vãos envidraçados para o Edifício A	52
Tabela 9 - Solução construtiva para a cobertura inclinada do Edifício A	52
Tabela 10 - Solução construtiva de parede exterior, adotada para o Edifício A	53
Tabela 11 - Solução construtiva para o pavimento do Edifício A.....	54
Tabela 12 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximas de elementos opacos e de vãos envidraçados para o Edifício B.....	57
Tabela 13 - Solução construtiva para a cobertura inclinada do Edifício B	58
Tabela 14 - Solução construtiva para a parede exterior Edifício B	59
Tabela 15 - Solução construtiva para o pavimento do Edifício B	60
Tabela 16 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximas de elementos opacos e de vãos envidraçados para o Edifício C.....	62
Tabela 17 - Solução construtiva para a cobertura inclinada do Edifício C	63
Tabela 18 - Solução construtiva de parede exterior do Edifício C	64

SIGLAS E ACRÓNIMOS

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AVAC - Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CFD – Modelos dinâmicos de fluidos computacionais (acrónimo do inglês “*Computational Fluid Dynamics models*”)

CH₂O - Formaldeído

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

COV – Compostos orgânicos voláteis

DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia

EPA – Agência para a Proteção Ambiental dos Estados Unidos (acrónimo do inglês “*United States Environmental Protection Agency*”)

EPBD – Diretiva relativa ao Desempenho Energético de Edifícios (acrónimo do inglês “*Energy Performance of Buildings Directive*”)

nZEB - edifícios com necessidades energéticas quase nulas (acrónimo do inglês “*nearly zero energy buildings*”)

OMS – Organização Mundial da Saúde

PIB - Produto Interno Bruto

PM₁₀, PM_{2,5} - Partículas em suspensão

PMV – Voto Médio Previsto (“*Predicted Mean Vote*”)

QAI – Qualidade do Ar Interior

R – Resistência térmica

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

REH – Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação

Rph – Taxa de renovação de ar

RQSCE - Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SBS – Síndrome dos Edifícios Doentes (acrónimo do inglês “*Sick Building Syndrome*”)

SED – Síndrome dos Edifícios Doentes

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

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O Homem, na Europa, passa cerca de 90% do seu tempo no interior de edifícios, tanto em habitações como em locais de trabalho (Bluyssen, 2009). Deste modo, a qualidade do ar interior (QAI) pode constituir uma fonte de risco potencial para a saúde, podendo ter repercussões no conforto, bem-estar e produtividade dos ocupantes (Bluyssen, 2009).

A Diretiva 2002/91/CE de 16 de dezembro, relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios, “Energy Performance in Buildings Directive”, EPBD (2002), teve como objetivo promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade Europeia, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, as exigências em termos de clima interior e a rentabilidade económica EPBD (2002). Esta diretiva estabeleceu requisitos em matéria de metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios e edifícios sujeitos a grandes obras de renovação, a inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado e, uma das mais importantes, a certificação energética dos edifícios (EPBD, 2002).

A Diretiva 2010/31/EU de 2010, a revisão da diretiva de desempenho em edifícios (“Energy Performance in Buildings Directive – recast”), (EPBD-recast) teve como propósito reduzir em 20% as emissões de dióxido de carbono (CO₂) de toda a União Europeia e, o mais tardar, em 31 de Dezembro de 2020 todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades energéticas quase nulas (nZEB – acrónimo do inglês “nearly zero energy buildings”) e, após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia (EPBD, 2010). As reduzidas necessidades energéticas dos edifícios devem ser asseguradas através de fontes de energia renovável, produzida no edifício, ou nas proximidades, e terão que ser introduzidos novos requisitos que assegurem o custo/benefício, de modo a que o edifício, ao longo do seu ciclo de vida, seja rentável do ponto de vista da eficiência energética. Devem ser elaborados projetos nacionais que visem aumentar o número destes edifícios (EPBD, 2010).

Atualmente, uma das preocupações no setor da construção é o meio ambiente, pois este é um dos setores que mais contribui para a sua degradação, uma vez que, o consumo de energia e a

emissão de gases de efeito de estufa, a eles associados, contribuem para a mesma. É então necessário reduzir os consumos energéticos no setor dos edifícios, pois o consumo de energia elétrica em Portugal tem aumentado, em média, a um ritmo igual ou superior a 4% ao ano (ecoEDPa, n.d.). Uma parte significativa deste aumento deve-se a maus hábitos de utilização dos equipamentos ou por falta de boas práticas de consumo energético (ecoEDPa, n.d.). Uma das formas de conseguir uma redução do consumo energético, passa por diminuir as infiltrações através da envolvente, utilizando envolventes mais estanques. Essa estanquidade ao ar pode conduzir a uma acumulação de poluentes no interior dos espaços, o que pode levar à degradação da QAI (ecoEDPa, n.d.).

É assim necessário, assegurar uma correta ventilação dos edifícios para garantir uma melhor QAI e, quando possível (de verão) reduzir os consumos energéticos. A necessidade de garantir a QAI aceitável, obriga a recorrer a determinado processo ou sistema, para introduzir ou remover ar viciado de um compartimento. Outra das razões é a necessidade de controlar o nível de poluentes do ar interior, produzidos pelo corpo humano e pelo próprio edifício (materiais ou equipamentos) (Instruel, n.d.).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) definiu, para edifícios com ambientes confinados, com taxas de renovação de ar reduzidas (insuficientes), em que o ar se torna desagradável, como edifícios com “Síndrome de Edifício Doente”, SED (do inglês “Sick Building Syndrome”, SBS). As consequências do SED são um descontentamento ou mal-estar, provocando uma redução na eficiência das tarefas realizadas pelos seus ocupantes, ao mesmo tempo que não se identificam razões para tal. Alguns sintomas do SED são manifestações que ocorrem nas vias nasais, oculares, cutâneas, entre outras (LQAI, n.d.). O SED é caracterizado por aumentar a intensidade dessas manifestações quando os ocupantes se encontram expostos ao ar interior contaminado e desaparecerem quando estes deixam o edifício (LQAI, n.d.).

Existe uma grande variedade de fontes de poluição do ar, específicas de espaços interiores, nomeadamente o organismo humano, as atividades, a sobreocupação e o tempo de permanência em espaços interiores, a emissão a partir de materiais de construção, solos (aterros, zonas graníticas), o mobiliário, alcatifa, os equipamentos (por exemplo fotocopiadoras, impressoras a laser, computadores), os produtos químicos, assim como a falta de manutenção dos filtros dos sistemas de ventilação e de ar condicionado, podem contribuir para os níveis de contaminação

do ar interior (Antunes, 2014). Além destes, o ar exterior, o clima e a localização do edifício, são também fatores que afetam a QAI (CEN EN 13779, 2006).

Os principais poluentes químicos que podem ter efeitos adversos na saúde e no conforto no interior de edifícios são o dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), partículas em suspensão (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$), compostos orgânicos voláteis (COV's), formaldeído (CH_2O), radão, amianto, bactérias, legionella, fungos, entre outros (Antunes, 2014; CEN EN 15251, 2007; Portaria 353-A). Quanto aos efeitos na saúde, estes podem ser muitos e variados como é o caso da asma, rinite alérgica e bronquite, gripe, pneumonia, tosse, falta de ar, dor de garganta, dor de cabeça, náuseas, irritação dos olhos, conjuntivites, cancro, problemas do sistema nervoso, dificuldades reprodutivas, problemas oculares, problemas imunológicos, problemas dérmicos, entre outros (Antunes, 2014; Bluysen, 2009).

Face a essa problemática, tornou-se essencial assegurar a ventilação adequada dos espaços interiores dos edifícios, com vista a uma melhoria da QAI, com o intuito de remover o ar viciado.

1.2 Objetivos da dissertação

Esta dissertação tem como objetivo avaliar a influência da ventilação, de três edifícios de habitação unifamiliar, construídos de acordo com as exigências definidas nas três regulamentações térmicas que vigoraram, ou estão em vigor em Portugal, bem como os consumos energéticos de cada um deles.

Para tal, foram caracterizados cada um dos edifícios em estudo, identificando as soluções construtivas, a ocupação dos espaços, a orientação, entre outros aspetos.

A QAI foi um aspeto a ter em conta, pois esta pode trazer consequências, não só para os edifícios (por exemplo, aparecimento de condensações), assim como para a saúde e bem-estar dos ocupantes. Para caracterizar as condições de ventilação dos edifícios foram consideradas as taxas mínimas de referência de renovação de ar interior de $0,4 \text{ h}^{-1}$, para os meses de inverno e $0,6 \text{ h}^{-1}$, para os meses de verão.

De forma a atingir os objetivos propostos, serão simulados três edifícios de habitação, de modo a avaliar:

- A permeabilidade ao ar da envolvente exterior, das três habitações em estudo (infiltrações);
- Analisar as perdas energéticas por ventilação;
- Os consumos energéticos de cada um dos edifícios.

Depois de realizadas as simulações e de se obterem os resultados, fez-se uma comparação dos mesmos para os três edifícios em estudo.

1.3 Estruturação da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos. A descrição sumária relativa a cada um dos capítulos é exposta nos parágrafos seguintes.

No capítulo 1, apresenta-se um breve enquadramento ao trabalho realizado, assim como os objetivos e a estrutura da dissertação.

No capítulo 2, são abordadas as possíveis estratégias de ventilação natural de um edifício, assim como alguns exemplos da sua aplicabilidade, a QAI e os regulamentos térmicos em Portugal.

No capítulo 3, apresenta-se a metodologia, e faz-se uma breve apresentação do programa de simulação dinâmico que foi utilizado para a realização desta dissertação, o DesignBuilder.

No capítulo 4, são caracterizados os três edifícios de habitação unifamiliar. Estes foram definidos de acordo com as características tipo definidas pela ADENE. Para tal, indica-se a sua localização, a tipologia, os anos em que foram projetados, as plantas do edifício, os diferentes compartimentos e as suas respetivas áreas. Posteriormente, fez-se uma caracterização mais detalhada para cada um dos edifícios, contendo informações sobre as soluções construtivas utilizadas, com informações sobre os materiais utilizados, as técnicas de ventilação utilizadas, o tipo de envidraçado, entre outros aspetos.

No capítulo 5, são apresentados os resultados das simulações efetuadas, referentes aos três edifícios em análise. Os resultados apresentados dizem respeito às taxas de ventilação, ao conforto dos ocupantes, às perdas e ganhos através da envolvente e aos consumos energéticos. Ainda neste capítulo, para cada um dos resultados obtidos, foi realizada uma análise detalhada dos mesmos.

No capítulo 6, tiraram-se conclusões dos resultados obtidos, sendo apresentada uma análise global sobre cada um dos edifícios em estudo. Ainda neste capítulo, indicam-se possíveis trabalhos futuros a desenvolver.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Eficiência Energética

Ao longo dos últimos anos, constatou-se um aumento na procura de melhores condições de conforto, por parte dos ocupantes das habitações, relativamente ao conforto ambiente, instalando para o efeito equipamentos de climatização (aquecimento e arrefecimento), e através da aquisição de equipamentos que facilitem as suas tarefas diárias (fogão, frigorífico, computadores, eletrodomésticos, entre outros). Estes comportamentos originaram, inevitavelmente, um aumento da fatura energética e, conseqüentemente, um aumento da emissão de gases que contribuem para o aquecimento global (ADENE, 2012; DGE, 2002).

Em Portugal, desde o início da década de 1990, e de acordo com a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), verificou-se que o consumo de energia final cresceu cerca de 2,3% ao ano, representando um pouco mais do que uma décima acima da taxa de crescimento média do Produto Interno Bruto (PIB), nesse período (ADENE, 2012). O sector residencial, com aproximadamente 3,9 milhões de habitações, contribuiu com cerca de 17,7% do consumo de energia final, a nível nacional, representando cerca de 30% do consumo de eletricidade, o que demonstra uma grande necessidade de atenuar essa situação. Esse aumento pode também ser explicado pela fraca eficiência dos próprios equipamentos utilizados nas habitações, e nos procedimentos e hábitos de utilização dos mesmos. Também esta deve-se a razões comportamentais dos habitantes, assim como, ao período necessário para a substituição dos equipamentos e progressiva recuperação dos edifícios (DGE, 2002).

Posto isto, e no que diz respeito ao consumo elétrico, uma habitação média consome cerca de 3.700 kWh por ano, distribuídos de acordo com a Figura 1.

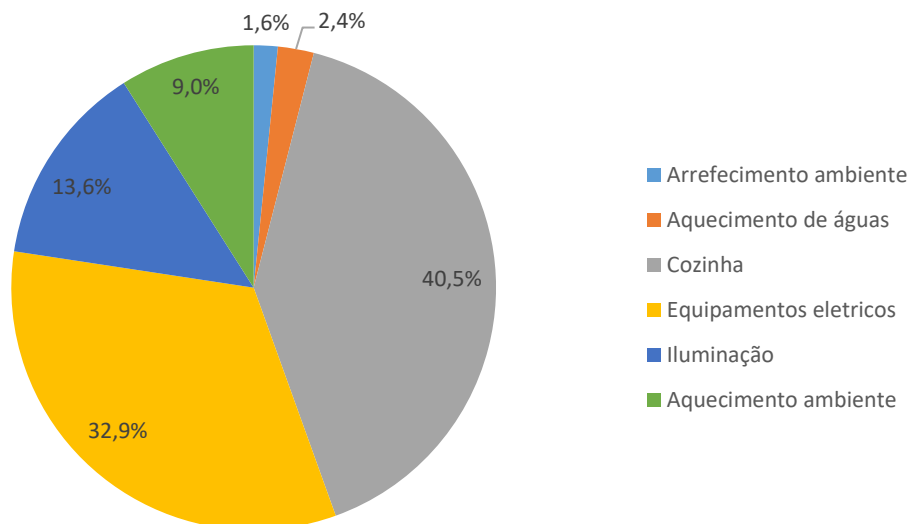


Figura 1 - Distribuição dos consumos de eletricidade pelos diferentes usos finais (ADENE, 2012)

Existem vários fatores que contribuem para o consumo de energia nas habitações, tais como, o local onde está situada a habitação, a qualidade de construção da mesma, o nível de isolamento, o tipo de equipamentos utilizados e, também, a utilização que atribuímos aos mesmos, como mencionado anteriormente (ADENE, 2012).

De forma a atingir o conforto, sem agravar a fatura energética, torna-se necessário munir as habitações com uma envolvente mais eficiente, de maneira a reduzir ao mínimo as trocas de calor e frio com o exterior, quer no que diz respeito à envolvente opaca (assegurando que as paredes, coberturas e pavimentos se encontrem termicamente isolados), quer no que diz respeito às janelas, garantindo que estas possuam proteção solar eficiente, de vidro duplo, e baixa permeabilidade ao ar (ADENE, 2012).

Posto isto, torna-se necessário saber a quantidade de calor necessário para manter uma habitação com uma temperatura confortável. Para isso contribui, em grande medida, o nível de isolamento térmico da mesma, ou seja, uma habitação mal isolada precisa de uma quantidade de energia superior. Nos meses mais frios, ou seja, de inverno, as habitações arrefecem mais rapidamente e, como consequência, estas podem apresentar condensações no seu interior, enquanto que, nos meses mais quentes, ou seja, de verão, as habitações aquecem mais e em menos tempo (ADENE, 2012).

Desta forma, o nível de isolamento é um aspeto a ter em consideração nas envolventes dos edifícios de habitação, sendo que, é através das coberturas e paredes exteriores de uma habitação que se perde ou ganha calor, caso os níveis de isolamento não sejam os indicados. Devido a esse fato, os sótãos são normalmente mais frios no inverno e mais quentes no verão. Também as paredes são uma parte importante da envolvente dos edifícios, incluindo as paredes contíguas, ou seja, paredes que servem de separação de dois edifícios que se encontram ligados, pois, se estas possuírem um bom nível de isolamento, para além de diminuírem os ruídos, evitam perdas de calor. Contudo, estas podem ocorrer através das janelas e superfícies vidradas, molduras das portas e das janelas, caixas de persianas de enrolar sem isolamento, tubos e condutas, chaminés, entre outros. Como tal, torna-se recomendável dispor de um sistema de regulação de aquecimento, em que este ajuste as temperaturas da habitação às necessidades dos ocupantes (ADENE, 2012; DGE, 2002).

No que diz respeito às janelas, cerca de 25% a 30% das necessidades de aquecimento devem-se às perdas de calor originadas pelas mesmas. Posto isto, verifica-se que o isolamento térmico de uma janela depende da qualidade do vidro e da sua caixilharia (ADENE, 2012). A utilização de sistemas de vidro duplo, ou janela dupla, reduzem, praticamente para metade, as perdas de calor face ao vidro normal, para além de diminuírem as correntes de ar, a condensação de água e a formação de gelo. Outro aspeto relevante, prende-se com o tipo de moldura, sendo que esta é constituída por diversos materiais, como o ferro ou alumínio, que se caracterizam pela sua alta condutividade térmica, permitindo, deste modo, a passagem do frio ou calor, com relativa facilidade. Dentro destas, é possível destacar-se as caixilharias com corte térmico, contendo entre elas materiais isolantes (ADENE, 2012; DGE, 2002).

Também a orientação das paredes e janelas dos edifícios de habitação pode influenciar os ganhos, ou perdas, de calor. Assim sendo, em zonas mais frias importa que, as paredes de maiores dimensões, superfícies envidraçadas e divisões com maior uso se encontrem orientadas para sul e sudoeste, enquanto que, em zonas mais quentes, estas devem ser orientadas a norte (ADENE, 2012). Relativamente ao exterior do edifício, é possível captar, conservar e armazenar recursos energéticos. Se as superfícies envidraçadas, sejam elas pátios ou átrios, tiverem uma orientação correta, fará com que a radiação solar penetre diretamente no espaço, o que levará a uma poupança no que diz respeito ao aquecimento durante o inverno. Por outro lado, no verão, os elementos de sombreamento, tais como, toldos e persianas, podem evitar calor excessivo e uso de ar condicionado (ADENE, 2012).

É também importante referir que, existem formas de aproveitar as energias renováveis nas habitações, consoante a utilização de um determinado equipamento específico, sendo este capaz de transformar em energia útil a energia proveniente do sol ou do vento. Posto isto, os mais comuns em habitações são os painéis solares e as caldeiras da biomassa (ADENE, 2012). A título de exemplo, em 2010, o consumo de energias renováveis nas habitações portuguesas representou cerca de 25% do consumo total de energia (lenha, energia solar térmica e carvão vegetal) (ADENE, 2012).

2.2 Regulamentos Térmicos em Portugal

2.2.1 RCCTE:1990

A primeira legislação, no âmbito da térmica, que surgiu no nosso país foi o decreto-lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro, o qual constituiu o primeiro Regulamento para o Comportamento Térmico de Edifícios (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE:1990), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90). O regulamento de 1990 introduziu, pela primeira vez, os aspetos térmicos e energéticos no estudo e projeto de edifícios, definindo requisitos construtivos mínimos para a envolvente dos mesmos. A nível europeu, foi mesmo pioneiro na introdução de requisitos mínimos ao nível do sombreamento, de maneira a evitar sobreaquecimentos no verão, isto para além de estabelecer, coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos (U) que visavam minimizar fenómenos de condensação interior. Embora pouco exigente, o primeiro RCCTE:1990 conduziu ao recurso, mais ou menos generalizado, do isolamento térmico na construção, tendo mesmo o mercado evoluído para o uso de soluções que iam além das exigências regulamentares (ADENE, 2008).

Depois de todos estes anos, verifica-se que o RCCTE:1990 constituiu um marco significativo na melhoria da qualidade da construção em Portugal, havendo hoje uma prática de aplicação de isolamento térmico nos edifícios, como já referido anteriormente, incluindo nas zonas de clima mais ameno, mesmo para além do que o RCCTE:1990 exige, provando, desta forma, que o referido regulamento conseguiu atingir e mesmo superar os objetivos a que se propunha (RCCTE:1990).

Após a entrada em vigor do primeiro RCCTE:1990, a regulamentação sobre sistemas de climatização surge naturalmente, pois era necessário criar um regulamento que englobasse estes sistemas. Em 1992 publica-se no decreto-lei n.º 173/92 o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RQSCE). Este Regulamento esteve em vigor durante um curto período, dado ter sido suspenso pela comissão europeia, por razões de formalidade na sua promulgação, devido a incompatibilidades com o direito comunitário (ADENE, 2008).

Um segundo regulamento surge a 7 de maio de 1998, com o decreto-lei n.º 118/98, para englobar sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). Este regulamento designado por Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) era uma revisão e atualização do RQSCE. Este impôs limites na potência instalada, bem como restrições na instalação e utilização dos equipamentos e sistemas. O fato de impor limitações à potência, em vez de controlar o consumo, pode-se considerar uma estratégia criticável. Exemplo claro dessa distinção entre potência e consumo são os equipamentos de reserva em que pode haver uma potência declarada superior sem que haja consumos energéticos efetivos (ADENE, 2008).

2.2.2 RCCTE:2006

Ao longo de mais de 10 anos de aplicação do RCCTE:1990, estipulado em 1990, muito mudou ao nível da edificação, poucos eram os edifícios na década 80 e 90 que incluíam sistemas de controlo das condições no ambiente interior (ADENE, 2008).

Enquanto que a primeira versão do regulamento, o RCCTE:1990, pretendia limitar potenciais consumos e era, portanto, pouco exigente nos seus objetivos concretos devido às questões de viabilidade económica, face a potenciais consumos baixos, justifica-se agora uma contabilização mais realista de consumos que, com muito maior probabilidade possam ocorrer, evoluindo, portanto, na direção de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006 (RCCTE:2006)). Esta versão do regulamento do RCCTE:2006, assenta no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios vêm a ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no inverno quer no

verão, e impõe limites aos consumos que decorrem dos seus potenciais de existência e uso (RCCTE:2006).

O decreto-lei n.º 80/2006 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos edifícios (RCCTE), introduziu alterações importantes, relativamente ao anterior regulamento, nomeadamente a necessidade de quantificar as perdas por renovação de ar e as necessidades energéticas de preparação das Águas Quentes Sanitárias (AQS) (RCCTE:2006).

Posto isto, o principal objetivo do RCCTE:2006 era limitar o consumo energético de edifícios de habitação e incentivar a introdução de energias renováveis, melhorar a eficiência energética e controlar a QAI dos edifícios e, por fim, atribuir certificações energéticas, como o controlo e verificação (LusoSol, 2015).

Este integra um pacote legislativo, composto também pelos decreto-lei n.º. 78/2006 (Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios - SCE) e decreto-lei n.º 79/2006 (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios – RSECE), todos publicados na mesma data e que correspondem, na prática, à transposição para direito nacional da Diretiva 2002/91/CE de 16 de dezembro relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (ADENE, 2008).

No contexto internacional, também há um consenso de que é necessário melhorar a qualidade dos edifícios, reduzir os seus consumos energéticos e as correspondentes emissões de gases, que contribuem para o aquecimento global, ou efeito de estufa. Portugal obrigou-se a satisfazer compromissos neste sentido quando subscreveu o acordo de Quioto, tendo o correspondente esforço de redução das emissões de ser feito por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente, os edifícios (ADENE, 2008).

Também a União Europeia, com objetivos semelhantes, publicou em 4 de Janeiro de 2003 a Diretiva n.º 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, que, entre outros requisitos, impõe aos Estados-membros o estabelecimento e atualização periódica de regulamentos para melhorar o comportamento térmico dos edifícios novos e reabilitados, obrigando-os a exigir, nestes casos, com poucas exceções, a implementação de todas as medidas pertinentes com viabilidade técnica e económica. A Diretiva adota também a obrigatoriedade da contabilização das necessidades energéticas para

preparação das AQS, numa ótica de consideração de todos os consumos de energia importantes, sobretudo, neste caso, na habitação, com um objetivo específico de favorecimento da penetração dos sistemas de coletores solares ou outras alternativas de energias renováveis (ADENE, 2008).

2.2.3 REH:2013

O decreto-lei n.º 118/2013 de 20 de agosto de 2013 – Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH:2013), introduziu alterações importantes relativamente ao anterior regulamento, o RCCTE:2006, como o fato de ser um regulamento exclusivamente sobre edifícios de habitação, ser um regulamento mais exigente do ponto de vista do comportamento térmico das habitações, assim como a eficiência dos sistemas dos mesmos (Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH:2013) aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013).

No presente regulamento, são ainda definidos princípios gerais, realizados em requisitos específicos para novos edifícios, edifícios sujeitos a grandes intervenções e edifícios já existentes. São introduzidos requisitos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios, sendo estes sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética, sistemas de climatização, de preparação de AQS, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis e gestão de energia (REH:2013). De modo a complementar a eficiência energética, manteve-se a promoção da utilização de fontes de energia renovável, com destaque para o aproveitamento do recurso solar, sendo este abundantemente disponível em Portugal (REH:2013). De modo semelhante, é incentivada a utilização de sistemas ou soluções passivas nos edifícios, assim como a otimização do desempenho, em consequência de um menor recurso aos sistemas ativos de climatização. Posto isto, surge o conceito de edifício com necessidades energéticas quase nulas de energia, o qual passará a constituir o padrão para a nova construção a partir de 2020 (REH:2013).

Por outro lado, e no que à QAI diz respeito, o REH considera de maior relevância a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaços e dos limiares de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior, de maneira a salvaguardar os mesmos níveis de proteção de saúde e de bem-estar dos ocupantes dos edifícios (REH:2013). Neste aspeto, é de

salientar que se passa a privilegiar a ventilação natural ao invés dos equipamentos de ventilação mecânica, numa ótica de otimização de recursos, de eficiência energética e de redução de custos. Importa ainda salientar que, são eliminadas as auditorias de QAI, mantendo-se, contudo, a necessidade de proceder ao controlo das fontes de poluição e à adoção de medidas preventivas, seja ao nível da conceção de edifícios, como por exemplo o seu funcionamento, de maneira a cumprir os requisitos legais para a redução de possíveis riscos para a saúde pública (REH:2013). Através do presente diploma, o REH procurou introduzir as orientações e a prática internacional, com base nos conhecimentos mais avançados sobre a eficiência energética e o conforto térmico (REH:2013).

2.3 Qualidade do Ar Interior

Atualmente, na Europa, o homem passa cerca de 90% do seu tempo no interior de edifícios, seja em edifícios de habitação ou em locais de trabalho (DGS, 2015). Deste modo, é fundamental a existência de uma boa QAI, o que em muitos casos não se verifica (DGS, 2015). Esta pode constituir uma fonte de risco potencial para a saúde dos ocupantes, podendo ter repercussões no seu conforto, bem-estar e produtividade (DGS, 2015).

Existe uma grande variedade de fontes de poluição do ar (Figura 2), que colocam em causa a QAI, nomeadamente o organismo humano, as atividades, a sobreocupação e o tempo de permanência em espaços interiores, a emissão de fibras a partir de materiais de construção (amianto, lã de rocha, lã de vidro), solos (aterros, zonas graníticas), o mobiliário, alcatifa, os equipamentos (por exemplo fotocopiadoras, impressoras laser, computadores), os produtos químicos, assim como, a falta de manutenção dos filtros dos sistemas de ventilação e ar condicionado, podem contribuir para os níveis de contaminação do ar interior (DGS, 2015). Ainda dentro das atividades humanas, aquelas que geralmente constituem uma fonte de poluição são (Amaral, 2008):

- Confeção de alimentos;
- Lavagem e secagem de loiça e roupa;
- Utilização das instalações sanitárias;
- Utilização de produtos de limpeza;
- Combustão nos aparelhos a gás;
- Consumo de tabaco;

- Entre outros.

Além destes, o ar exterior, o clima e a localização dos edifícios, são também fatores que afetam a QAI (CEN EN 13779, 2006).

Os ocupantes que estão expostos a uma má QAI por longos períodos de tempo tendem a sofrer consequências negativas na sua saúde, nomeadamente ao nível do sistema respiratório, do sistema imunológico, da pele, do sistema sensorial, do sistema nervoso central, do sistema nervoso periférico e do sistema cardiovascular (Amaral, 2008). Em diversos estudos, foi possível demonstrar que algumas das queixas apresentadas pelos ocupantes, a nível da saúde e conforto, estão diretamente relacionadas com as características dos edifícios, sistemas de climatização, do ambiente interior e as atividades praticadas pelos mesmos (Mendell, 1994; Menzies e Bourbeau, 1997; Seppanen e Fisk, 2005). Alguns países realizaram experiências e chegaram à conclusão de que é possível melhorar a QAI, através do aumento da taxa de fornecimento de ar novo, beneficiando a produtividade dos ocupantes (Wargocki e Wyon, 2007).

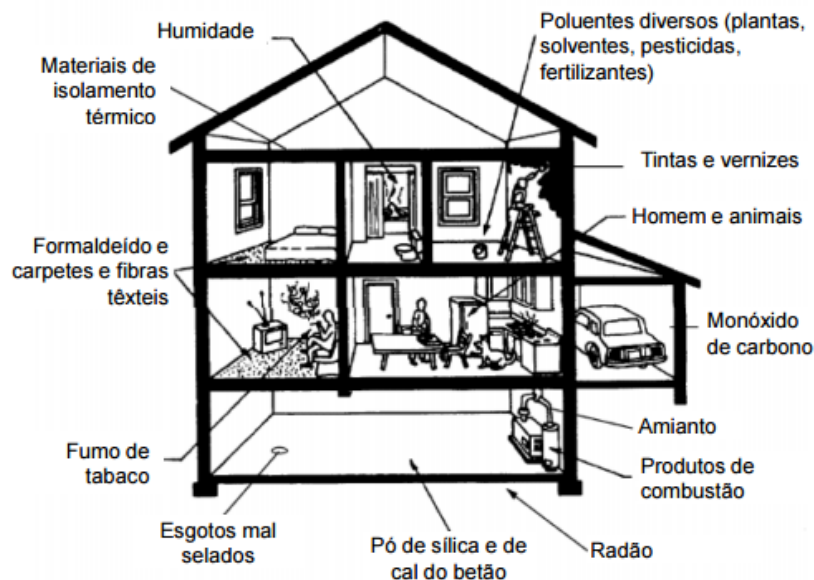


Figura 2 - Fontes de Problemas de Qualidade do Ar Interior (Silva, 2011)

Quando se verifica uma baixa taxa de ventilação em edifícios, estes podem originar um aumento da concentração de poluentes que são gerados em ambientes fechados, podendo mesmo estar associados a SED, segundo a OMS. Algumas das causas apresentadas foram associadas a edifícios ventilados mecanicamente, acabamentos de superfícies internas, um ambiente

homogéneo e quente e em espaços pequenos, onde não é possível abrir janelas (Rostron, 1998). Considera-se que, um edifício está doente quando 20% dos ocupantes apresentam sintomas de doenças alérgicas e pulmonares e estes sintomas desaparecem quando estes deixam o edifício (Klinger, 2000; OMS, n.d.).

Os principais poluentes químicos (Tabela 1) que podem ter efeitos adversos na saúde e no conforto no interior de edifícios são: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), partículas em suspensão (PM₁₀, PM_{2,5}), compostos orgânicos voláteis (COV_s), formaldeído (CH₂O), bactérias, legionella, fungos, radão, amianto, entre outros (Antunes, 2014; CEN EN 15251, 2007).

Tabela 1 - Principais poluentes da qualidade do ar interior e os respetivos limiares de proteção (Portaria n.º 353-A, 2013)

Poluentes	Limiar de proteção	Margem de tolerância (MT) [%]
Partículas em suspensão (fração PM₁₀)	50 µg/m ³	10
Partículas em suspensão (fração PM_{2,5})	25 µg/m ³	10
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVs)	600 µg/m ³	100
Monóxido de carbono (CO)	10 mg/m ³	-
	9 ppmv	-
Formaldeído (CH₂O)	100 µg/m ³	-
	0,08 ppmv	-
Dióxido de carbono (CO₂)	2250 mg/m ³	30
	1250 ppmv	-
Radão	400 Bq/m ³	-

Ainda na Tabela 1, é possível observar-se alguns dos poluentes que contribuem para a degradação da QAI, bem como, as concentrações máximas que, quando ultrapassadas, podem colocar em causa o bem-estar dos ocupantes, podendo mesmo provocar a morte, como é o caso do monóxido de carbono . Outra substância que tem um impacto significativo na QAI são os compostos orgânicos voláteis que são libertados pelos materiais de acabamentos, utilizados nos edifícios. Segundo estudos realizados pela Agência para a Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), a concentração de COV no ambiente interior dos edifícios é normalmente 2 a 5 vezes superior à concentração que se verifica no ar exterior, e estes contribuem para a SED (Silva, 2011). Para os fabricantes de tintas e vernizes, a Diretiva da União Europeia 2004/42/CE impõe um valor máximo para o conteúdo de COV e aconselha aos fabricantes que anunciem nos rótulos dos seus produtos o conteúdo de COV, bem como, o respetivo limite legal (Diretiva

da União Europeia 2004/42/CE). No caso de Portugal, as tintas e vernizes são abrangidos pelo Decreto-Lei n.º 181/2006, em que se considera que os produtos que cumpram este Decreto são materiais ecologicamente limpos (Decreto-Lei n.º 181/2006; Silva, 2011).

Tornou-se então necessário tomar medidas, de forma a que este problema com a má qualidade do ar pudesse ser minimizado e, por toda a Europa, os requisitos com a ventilação receberam uma grande atenção, na definição de regulamentos. Os padrões de ventilação na Europa tendem a se agrupar em torno de valores comuns para as taxas de ventilação recomendadas, por exemplo, os países nórdicos adotaram o requisito mínimo de $0,5 \text{ h}^{-1}$ para todas as taxas de ventilação dos edifícios. Outros países também adotaram taxas superiores a $0,3 \text{ h}^{-1}$ (Sacht, Bragança, Almeida e Caram, 2015).

No Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto (REH:2013), estabelece-se como política de QAI, a imposição em manter os valores mínimos de renovações por hora, de forma a limitar as concentrações de poluentes do ar interior, e assim garantir níveis de proteção de saúde e de bem-estar, favoráveis para os ocupantes dos edifícios. Este regulamento destaca também a importância de intervir no controlo das fontes de poluição, e da adoção de medidas preventivas ao nível da conceção e funcionamento dos edifícios, de tal modo que sejam asseguradas as exigências legais, para a redução de possíveis riscos para a saúde pública (Decreto-Lei no 118/2013 de 20 de agosto do Ministério da Economia e do Emprego, 2013)

A ventilação natural é uma solução de baixo custo e, através da renovação de ar, permite controlar os níveis de poluentes no interior dos edifícios. Apesar de a ventilação natural ser uma boa solução, esta deve ser limitada, de forma a não prejudicar o conforto térmico dos ocupantes, nem aumentar os consumos energéticos do edifício. As trocas de ar proporcionadas por esta estratégia variam com o clima, o tipo de utilização e uso do edifício (Amorim, Silva e Almeida, 2014).

Posto isto, não existe uma solução única para o sistema de ventilação natural, visto que é necessário reunir informação sobre a envolvente do edifício e compreender a complexidade dos sistemas, para que se possa potencializar ao máximo este recurso. A escolha da melhor estratégia de ventilação natural, deve ter em conta as condições do clima local, como a temperatura, o vento e o relevo, pois estas vão influenciar o modo como ocorrem as trocas de

ar entre o ambiente interior e exterior, afetando a temperatura ambiente dos compartimentos do edifício, e conciliá-las com as características dos vãos envidraçados (orientação, localização e área) (Amorim, Silva e Almeida, 2014).

Atualmente, os ocupantes têm a necessidade de frequentar ambientes interiores saudáveis, confortáveis e produtivos e, para isso, dependem de fatores como a temperatura, humidade relativa, nível de ruído, iluminação, entre outros. Em Portugal, cumprindo a diretiva EPBD, definiram-se as condições mínimas de QAI para os edifícios abrangidos pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e da QAI (SCE, 2006; RSECE, 2006; RCCTE, 2006).

Uma das maneiras para conseguir uma boa QAI, é conseguir expulsar os poluentes existentes no edifício de habitação, por intermédio de uma admissão suficiente de ar vinda do exterior, isto é, partindo do princípio que o ar exterior é menos poluído. Esta admissão de ar vinda do exterior tem como objetivo (Amaral, 2008):

- A diluição e remoção de poluentes;
- O fornecimento de oxigénio necessário para a respiração dos ocupantes;
- A moderação da humidade no interior do edifício;
- Proporcionar o ar para o funcionamento de aparelhos de combustão.

Há que referir que nem todos os compartimentos tem a mesma necessidade de ventilação. Por essa razão, é de elevada importância definir estratégias de ventilação que melhor se adequam aos espaços em que ocorrem maiores desequilíbrios no controlo do ar interior. Das estratégias é possível destacar (Amaral, 2008):

- A exaustão localizada, ou seja, a exaustão de substâncias poluidoras nos locais com maior produção de poluentes;
- A diluição da concentração de substâncias poluidoras, a partir da insuflação de ar não viciado e, por conseguinte, a exaustão do ar viciado nesse mesmo espaço interior;
- A remoção das substâncias poluidoras através da filtragem.

Certos espaços das habitações, como cozinhas ou instalações sanitárias, devem ter uma extração localizada e reforçada, visto que são locais de intensas ou pontuais fontes de emissão. Apresenta-se, na Tabela 2, o grau de importância de alguns poluentes nos compartimentos de um edifício de habitação (Amaral, 2008).

Tabela 2 - Grau de importância de alguns poluentes nos compartimentos de uma habitação (Silva, 2011)

Compartimentos	Poluentes									
	Fumo de tabaco	Odor corporal (CO ₂)	Vapor de água	Produtos de combustão	Formaldeído	Orgânicos	Partículas	Microorganismos	Radiação	Outros
Salas	++	++	o	++	o	p	p	o	o	
Quartos	++	++	oo	oo	o	p	p	oo	o	
Cozinhas	+		oo	++	o	p	p	oo	o	
Inst. Sanitárias			oo	oo				oo		Odor
Inst. Sanitárias sem banho								p		Odor
Notas:										
Nível de importância: ++ Muito importante; + Importante; o Importante em situações específicas; oo Muito importante em situações específicas; p possivelmente importante, mas até ao momento conhecimento limitado										

2.4 Sistema de Ventilação

Em Portugal, até por volta da década de 70, a ventilação não era vista como um aspeto a ter em conta quando se projetava ou construía os edifícios de habitação, pelo menos não tanto como hoje em dia. Esta era realizada apenas por processos naturais, sem dar importância às renovações de ar, devido aos materiais e processos construtivos utilizados (Peneda, 2013). A renovação de ar apenas se concretizava pela permeabilidade das caixilharias e caixas de estores, devido à falta de estanquidade dos edifícios na época. A extração era realizada, também ela, de forma natural, apenas na cozinha e instalações sanitárias, ocorrendo também ainda nos vãos das fachadas em depressão, devido à permeabilidade já referida. A circulação de ar nestes edifícios, com este tipo de ventilação, estava apenas dependente das condições atmosféricas, em particular da velocidade e direção do vento e da temperatura, conduzindo assim, a uma grande variabilidade dos caudais de ventilação (Peneda, 2013).

Atualmente, as habitações possuem uma envolvente mais estanque, devido aos processos e materiais utilizados na sua construção, o que é mais vantajoso do ponto de vista energético (Peneda, 2013). O incremento dos custos da energia e a adoção de medidas de redução do seu

consumo, com início na década de 70, tiveram como resultado algumas mudanças positivas, como a melhoria do comportamento térmico dos edifícios, e também negativas, como a insuficiente QAI, especialmente em edifícios sem meios eficientes de ventilação. Essa insuficiência da QAI é uma preocupação que acompanha o Homem há bastante tempo, visto que, as condições atuais de ocupação e a própria construção alteraram-se, nomeadamente (Clérigo, 2015):

- O aumento do tempo de permanência no interior dos edifícios (cerca de 90%);
- A maior densidade de ocupação e de equipamentos;
- A instalação de caixilharias de reduzida permeabilidade ao ar;
- A generalização do recurso a sistemas de ar-condicionado complexos;
- E a maior exigência do utilizador em relação ao conforto.

Estas condições têm gerado um crescente interesse pela problemática da QAI, em edifícios de habitação. Por outro lado, o aparecimento, nos últimos 20 anos, de muitos casos de SED, levou à disseminação da preocupação relativa à QAI na população em geral (Amaral, 2008).

É possível assegurar a ventilação de forma (ADENE, 2015):

- **Natural** –a renovação do ar é promovida pelas ações naturais (temperatura e vento), que asseguram de uma forma controlada o escoamento do ar entre aberturas de admissão de ar exterior (janelas e grelhas) e as aberturas de extração de ar (janelas, chaminés);
- **Mecânica** –a renovação de ar é promovida por ventiladores mecânicos, que asseguram de uma forma controlada e interrupta o escoamento do ar entre aberturas de admissão de ar exterior e as aberturas de extração de ar ligadas a condutas;
- **Mista** – que consiste na conjugação dos dois tipos de ventilação, natural e mecânica, sendo caracterizada pela existência de extratores individuais (exaustores, extratores de casa de banho) ligados a condutas individuais.

A ventilação mecânica é a mais eficiente, pois permite uma ventilação mais controlada, do ponto de vista de admissão e extração de ar e do conforto interior. Quanto à ventilação natural, esta é um processo de ventilação simples, sem custos energéticos, e é apropriada para climas amenos. Já a ventilação mista, assenta na operacionalidade de ventiladores mecânicos de baixa pressão e baixa potência, programados para o funcionamento automático, caso as condições

naturais não sejam as suficientes para assegurar os caudais de ventilação mínimos (Martins, 2016).

Cada um dos sistemas de ventilação indicados têm o seu mérito particular, com as suas vantagens e desvantagens. Para encontrar o sistema mais adequado para um edifício é necessário ter em conta as suas características, que são geralmente determinadas pelas suas dimensões e forma espacial. Estas devem conseguir impedir a propagação de partículas e odores indesejáveis e permitir condições favoráveis de temperatura e ruído. Também é relevante prever os consumos energéticos, de modo a verificar se a condição financeira dos ocupantes permite a aplicação de um dado sistema de ventilação. Caso contrário, será um mau investimento, acabando por provocar uma má QAI (Woods, 1970).

2.5 Ventilação Natural

A ventilação natural é tão antiga como a arte de construir edifícios. Ao longo dos séculos, o Homem foi acumulando experiência no que diz respeito à ventilação natural, criando vários sistemas. Muitos desses sistemas são usados atualmente, inspirando-se nas mais antigas civilizações (Amaral, 2008).

Num passado mais recente, era habitual as mulheres tratarem das tarefas domésticas, o que as obrigava a passar grande parte do seu dia em casa, com as janelas abertas. Hoje em dia a realidade é um pouco diferente (Gomes, 2010). Com a evolução e estilo de vida da população, as pessoas passam cada vez menos tempo no interior das suas habitações, seja a trabalhar, estudar, entre outros, o que faz com que os ocupantes não tenham a oportunidade de abrir as portas e janelas manualmente numa grande parte do período diurno (Gomes, 2010).

Este processo de ventilação, a ventilação natural, é o mais básico e a forma mais simples de ventilar um edifício, pois não acarreta custos adicionais no que inclui à sua operacionalidade, exige poucos cuidados de manutenção e garante as condições de adaptação (Martins, 2016).

De forma a obter uma correta e adequada ventilação natural, os edifícios devem ser projetados de maneira a que o ar siga um determinado fluxo: dos espaços principais para os espaços de serviço e saia pelas chaminés. Devem ser previstas aberturas para o efeito nas paredes, como

por exemplo, grelhas autorreguláveis e com isolamento sonoro ou janelas que permitam a entrada de ar, assim como, aberturas ligadas a chaminés para a extração do ar (ADENE, 2011).

Como na ventilação natural não se recorre a equipamentos mecânicos, esta é a solução mais adequada do ponto de vista da eficiência energética, pois assegura a renovação do ar de forma controlada e sem consumo de energia (ADENE, 2011). Como os ocupantes podem controlar as características do ambiente interior, o que acaba por funcionar como um estímulo psicológico, fará com que estes se sintam mais tolerantes ao ambiente, mesmo que as condições de conforto recomendadas estejam longe de ser atingidas (Lambert, 2008). Por exemplo, numa situação normal, a gama de temperaturas de conforto situa-se entre os 20°C e 25°C. Contudo, Lambert (2008) defende que com a presença de ventilação natural a temperatura máxima de conforto possa chegar perto dos 30°C, tal como mostra a Figura 3. Com a ajuda da ventilação é de prever que os ocupantes considerem este um ambiente confortável, mesmo com temperaturas acima dos 25°C previstos pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (RCCTE), desde que não exceda os 30°C (Lambert, 2008).

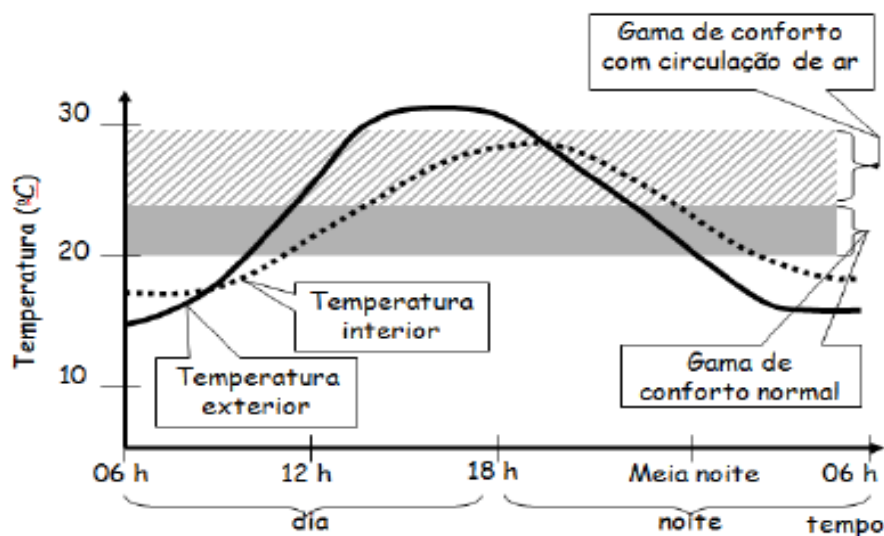


Figura 3 - Gama de temperaturas de conforto na presença de ventilação natural (Adaptado de: (Lambert, 2008))

Porém, existem desvantagens neste tipo de ventilação, por exemplo, para assegurar a extração do ar nas cozinhas e casas de banho, as condutas têm normalmente dimensões superiores às utilizadas na ventilação mecânica (ADENE, 2011).

Também é um sistema que é difícil controlar durante toda a sua utilização, o que pode nem sempre funcionar como o esperado pelo utilizador. Esta falta de controlo em algumas fases da

sua utilização, poderá implicar um maior gasto de energia e desconforto para os ocupantes, principalmente no inverno, em que as diferenças de temperatura interior e exterior da habitação são mais acentuadas, e a velocidade do vento que, normalmente, é mais elevada (Martins, 2016).

Assim sendo, é possível constatar, pelas razões referidas anteriormente, que a ventilação natural depende de vários fatores como a velocidade e a pressão do vento, a área eficaz e características das aberturas, as condições climáticas (diferenças de temperaturas entre o interior e o exterior do edifício), os comportamentos dos ocupantes, os parâmetros arquitetónicos que englobam as características do local de implantação, a exposição das fachadas ao vento, a tipologia do edifício e a distribuição interior dos espaços.

É necessário ter em conta que a ventilação natural pode não ser a solução mais adequada para certos tipos de clima. Para climas muito severos, a ventilação natural pode originar uma excessiva taxa de ventilação, o que não é o mais apropriado. O contrário também se verifica, ou seja, em climas em que forças naturais são fracas, a taxa de ventilação é reduzida, tornando a ventilação natural impraticável (Martins, 2016; Awbi, 2010; Gomes, 2010).

Quando as condições são favoráveis para a ventilação natural, estas resultam na melhoria da QAI, isto é, reduzem a concentração das substâncias contaminantes do espaço interior, levando também à redução do custo energético e mantêm o conforto térmico dos ocupantes, quando bem dimensionado. Para que essas condições sejam cumpridas é fundamental que (Martins, 2016):

- A concentração de contaminantes no exterior seja inferior à do ar interior, cumprindo os critérios de qualidade de ar recomendáveis;
- A temperatura exterior deve estar dentro dos limites de conforto, para não produzir desconforto nos ocupantes;
- Para além da poluição do ar, outros parâmetros como o ruído e a privacidade devem ser tidos em conta, sobretudo em ambientes urbanos e pisos inferiores. Estes fatores influenciam o bem-estar e a segurança dos ocupantes e, por isso, a localização das aberturas deve ser devidamente estudada.

A ventilação natural tem de cumprir certas exigências definidas pela norma NP 1037-1:2002, que são quantificadas através de caudais-tipo (NP 1037-1:2002).

Para obter o caudal-tipo é preciso ter em atenção o volume dos compartimentos do edifício a ventilar e as respetivas exigências mínimas de renovação do ar (uma renovação por hora nos compartimentos principais e quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço). A norma NP 1037-1:2002 prevê situações de exceção, no caso das instalações sanitárias com banheira ou duche, em que o caudal de ar de ventilação nunca poderá ser inferior a 45 m³/h, nas instalações sanitárias sem banheira nem duche, o caudal de ar de ventilação mínimo será de 30 m³/h, e no caso das cozinhas, o caudal mínimo de ventilação será 60 m³/h (NP 1037-1: 2002).

Na Tabela 3 são apresentados a título indicativo os caudais-tipo a respeitar para os compartimentos de serviço, considerados individualmente, em função do seu volume.

Tabela 3 - Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço (NP 1037-1:2002)

Compartimento		Volume				
		≤ 8 m ³	> 8 m ³ ≤ 11 m ³	> 11 m ³ ≤ 15 m ³	> 15 m ³ ≤ 22 m ³	> 22 m ³ ≤ 30 m ³
Cozinha e outros espaços para instalação de aparelhos a gás		(1)	17 l/s (60 m ³ /h)		25 l/s (90 m ³ /h)	33 l/s (120 m ³ /h)
Instalações sanitárias	Com banheira ou duche	13 l/s (45 m ³ /h)		17 l/s (60 m ³ /h)	25 l/s (90 m ³ /h)	(2)
	Sem banheira nem duche	8 l/s (30 m ³ /h)	13 l/s (45 m ³ /h)	17 l/s (60 m ³ /h)	(2)	(2)
Espaços para a lavandaria		8 l/s (30 m ³ /h)	13 l/s (45 m ³ /h)	17 l/s (60 m ³ /h)	(2)	(2)
<p>(1) Volumes para os quais não é permitida a instalação de aparelhos a gás dos tipos A. Esta montagem é permitida para os aparelhos do tipo B desde que o local seja destinado apenas para alojamento deste (ver, também, a NP 1037-3).</p> <p>(2) Volumes pouco usuais em compartimentos deste tipo em relação aos quais se recomenda o dimensionamento caso a caso tendo em conta as exigências acima referidas.</p>						

Na Tabela 4 são indicados os caudais-tipo a respeitar para os compartimentos principais que integram o mesmo sector de ventilação, em função do respetivo volume total.

Tabela 4 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais (NP 1037-1:2002)

Volume (m ³)	≤ 30	> 30 ≤ 60	> 60 ≤ 90	> 90 ≤ 120	> 120 ≤ 150	> 150 ≤ 180	> 180 ≤ 210	> 210 ≤ 240
Caudal-tipo (l/s)	8	17	25	33	42	50	58	67
(m³/h)	(30)	(60)	(90)	(120)	(150)	(180)	(210)	(240)

2.5.1 Ação do Vento

O vento é causado por diferenças de pressão na atmosfera. O fluxo geral de vento perto da superfície da Terra é submetido a efeitos de camada limite, chamados de camada limite atmosférica, na qual a velocidade do vento é influenciada pela fricção superficial do solo. A variação da velocidade do vento a uma certa altura em terrenos diferentes está ilustrada na Figura 4 (Yang e Croome, 2000).

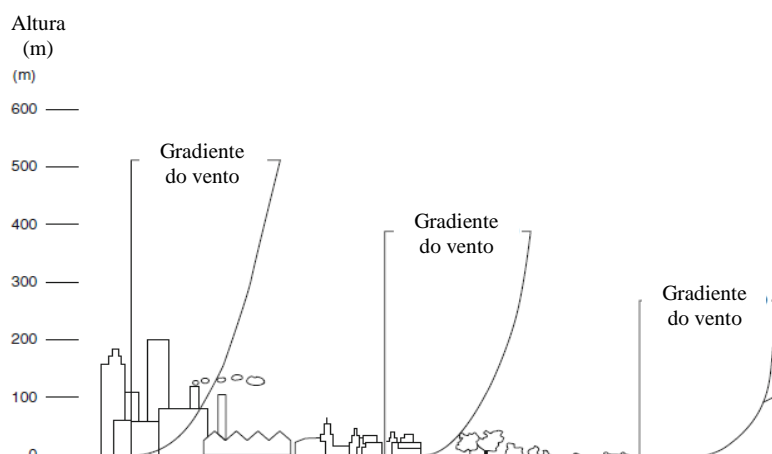


Figura 4 - Variação da velocidade do vento com a altura e condições do terreno (Adaptado de: (Yang e Croome, 2000))

Na ventilação natural, quando o vento incide com uma determinada velocidade num obstáculo, cria um campo de pressões, que podem ser positivas ou negativas, em todas as suas faces. O mesmo acontece quando os obstáculos são os edifícios, em que o vento irá incidir constantemente, causando então, pressões positivas e negativas conforme a orientação do vento e o posicionamento das fachadas, devido à conversão de energia cinética do vento em pressão estática (Peneda, 2013).

Em edifícios, os coeficientes de pressão (C_p) variam com a direção do vento, a topografia, a rugosidade do terreno e os obstáculos vizinhos. Deste modo, para obtenção de resultados precisos e tendo em conta todos estes fatores, recorre-se à utilização do túnel de vento ou a modelos numéricos como os modelos dinâmicos de fluidos computacionais, CFD (*Computational Fluid Dynamics*). A utilização destes modelos só é justificável quando se trata de estudos em edifícios especiais ou para outros casos de estudo (Araújo, 2013).

Importa também referir que, a ação térmica é importante na ventilação natural. Esta ocorre quando existem aberturas a diferentes cotas, permitindo, desta forma, a comunicação entre o interior e o exterior do edifício e a diferença de temperaturas entre duas zonas, levando a uma diferença de pressão (Silva, 2012).

Na Figura 5, pode observar-se um diagrama representativo das pressões, causadas pela ação térmica entre duas aberturas situadas em diferentes cotas (Yang e Croome, 2000).

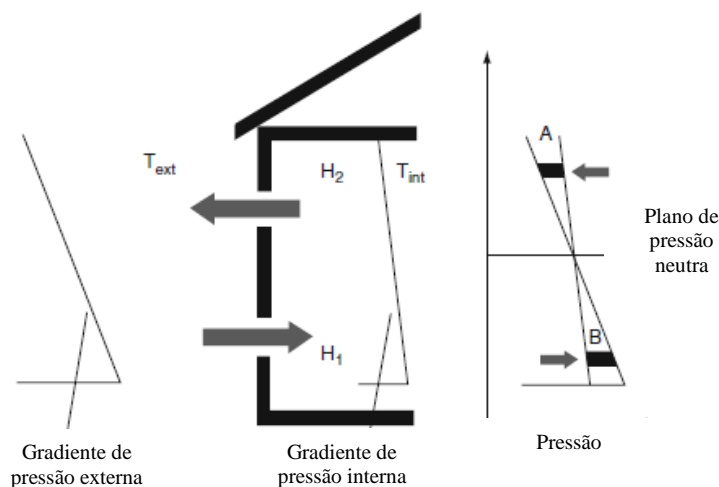


Figura 5 - Distribuição de pressão do vento entre duas aberturas posicionadas verticalmente (adaptado de: (Yang e Croome, 2000))

O fluxo de ar interior de uma habitação difere consoante os valores das temperaturas das zonas. O sentido do movimento das massas de ar é ascendente se a temperatura do ar interior for superior à temperatura do ar exterior, e toma o sentido contrário, descendente, quando a temperatura do ar interior é inferior à temperatura do ar da zona exterior (Silva, 2012). Uma vez que a pressão na saída ou entrada pode ser afetada pelo vento, à medida que o efeito da

ventilação unilateral opera, este é governado, em parte, pela pressão do vento e, em parte, pela forma das aberturas e do plano interno (Yang e Croome, 2000).

2.5.2 Infiltrações

As infiltrações resultam devido à diferença de pressão do ar entre o interior e o exterior do edifício, dando origem à renovação do ar interior, através de pequenas fendas ou fissuras, que permitem a passagem do ar. Estas são consideradas, segundo a norma ASHRAE 62:2001, como parte da ventilação, mas não da ventilação natural.

Em Portugal, em edifícios já construídos, é muito frequente encontrar este tipo de ventilação, através de fendas ou fissuras presentes na sua envolvente, que não é controlada, e pode originar problemas, seja no inverno ou no verão (Ferreira, 2006):

- Inverno – a deficiente ventilação do edifício com a entrada de ar exterior, a uma temperatura mais baixa do que a interior, provoca correntes frias, desconforto dos ocupantes e, no caso de existir aquecimento, aumento do consumo energético;
- Verão – sobreaquecimento dos espaços e diminuição das taxas de ventilação, uma vez que, o gradiente térmico é mais reduzido.

É possível, desde que, em teoria, sejam conhecidos todos os percursos exequíveis de passagem de ar para o interior do edifício, calcular o caudal de infiltrações, dependendo do tipo de abertura existente, podendo ser (Amaral, 2008):

- Frinchas ou fendas (dimensões típicas menores que 10 mm);
- Aberturas (dimensões típicas maiores que 10 mm).

2.5.3 Técnicas de Ventilação Natural

2.5.3.1 Ventilação Unilateral

A ventilação unilateral (Figura 6) ocorre apenas na fachada ventilada do edifício com recurso a pelo menos uma abertura, ou seja, o ar ventilado entra pela mesma abertura em que o ar poluído sai. Normalmente, é aplicada em pequenos espaços e com profundidade reduzida. Um

exemplo deste tipo de ventilação são os quartos de uma habitação, com as janelas abertas de um lado e as portas fechadas do outro. Com uma única abertura no quarto, a principal força motriz no verão é a turbulência do vento, enquanto que, nos casos em que existem mais do que uma abertura, a diferentes alturas, a taxa de ventilação pode ser aumentada pelo efeito de estratificação térmica (Kleiven, 2003). A contribuição da estratificação térmica depende da diferença de temperatura entre o interior e o exterior, a distância vertical entre as aberturas e a área das aberturas. Quanto maior a distância vertical entre as aberturas e maior a diferença de temperatura entre o interior e o exterior, mais forte é o efeito da estratificação. Para este tipo de ventilação recomenda-se que a profundidade do espaço não exceda 2,5 vezes a altura livre da sala, e que não seja usada para salas de reunião, salas de aula ou similar (Kleiven, 2003).



Figura 6 - Exemplo de ventilação unilateral (Kleiven, 2003)

Caso uma das fachadas possua uma única e grande abertura, como por exemplo, uma janela bidirecional (Figura 6), a ventilação natural do edifício será estimulada de forma a induzir o fluxo de ar. Esta grande abertura deverá ser colocada na fachada exposta aos ventos dominantes, para maximizar o efeito do vento na ventilação do edifício (Araújo, 2013).

2.5.3.2 Ventilação Cruzada

A ventilação cruzada (Figura 7) ocorre quando o ar flui entre duas aberturas, em fachadas opostas de um edifício, por intermédio de zonas com diferentes pressões induzidas pelo vento. Ou seja, quando o vento incide na superfície do edifício (barlavento) a pressão é mais elevada do que na zona oposta (sotavento), uma zona com baixa pressão. O ar de ventilação entra e sai através das aberturas existentes nas fachadas, como por exemplo, janelas, condutas ou grelhas.

Este pode passar por vários compartimentos de um edifício, através de portas abertas ou, no caso mais simplificado, através de um único espaço onde o ar entra num lado do barlavento e, sai do lado oposto (sotavento). Como o ar se desloca através de um espaço ocupado (pessoas, equipamentos, entre outros), é possível fazer com que se consiga eliminar o calor e os poluentes até então existentes. Como regra geral, a ventilação cruzada pode ser utilizada eficazmente quando a profundidade da sala corresponde até 5 vezes a altura livre do espaço (Kleiven, 2003).



Figura 7 - Exemplo de ventilação cruzada (Kleiven, 2003)

2.5.3.3 Efeito Chaminé

Qualquer ambiente que apresente carga térmica interna – com a presença de pessoas, equipamentos e/ou iluminação artificial – tende a ter a temperatura do ar interior maior que a do exterior. Quando existem aberturas, o ar exterior mais frio entra e, naturalmente, o interior mais aquecido sobe, criando uma ventilação no ambiente. Ou seja, as trocas de ar no interior dos edifícios, sem recorrer à ventilação mecânica, ocorrem por diferença da pressão do ar. Este fenómeno pode ocorrer por ação do vento ou, também pela diferença de densidade de ar devido à diferença de temperatura (Toledo, 1967).

Assim sendo, o efeito chaminé ocorre quando existe uma variação de temperatura entre o ar interior e o exterior, também conhecido por gradiente térmico. O ar quente é menos denso do que o ar frio, fazendo o primeiro subir relativamente ao segundo. Por esse motivo, numa situação corrente em que o ar interior é mais quente do que o exterior, o ar tem tendência a sair pelas aberturas mais elevadas da habitação, ao contrário do ar frio, que entra pelas aberturas inferiores, como se pode observar na Figura 8 (Peneda, 2013).

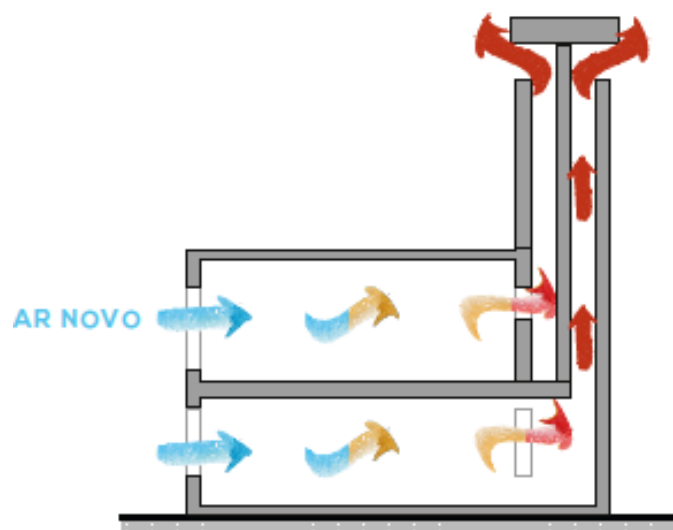


Figura 8 - Imagem representativa do Efeito Chaminé (ADENE, 2011)

A diferença de pressão e o caudal gerado, para além da área das aberturas, dependem diretamente de dois fatores (Peneda, 2013):

- Diferença de temperaturas, interior e exterior, onde podem surgir problemas, principalmente no verão em que as temperaturas exteriores igualam, ou até excedem, as temperaturas interiores;
- A altura do plano de pressão neutra, que depende essencialmente da diferença de cotas da abertura inferior e superior, ou seja, quanto maior for essa diferença, maior será a eficiência deste fenómeno. Este fator é bastante problemático em termos de eficácia para as moradias de piso térreo e habitações do último piso dos edifícios coletivos.

2.6 Exemplos de Ventilação

2.6.1 Arquitetura Vernacular

A arquitetura tradicional vernácula usa recursos passivos, que vão desde a orientação e forma de construção, aberturas adequadamente dimensionadas e orientadas ligadas a formas verticais, benefícios de materiais locais e massa para arrefecimento noturno e a relação de edifícios em contexto, para garantir fluxos de ar efetivos (Yang e Croome, 2000).

A arquitetura vernacular foi concebida com base nas variações ambientais do local como a temperatura, humidade, sol, vento, chuva e tempestades. Em climas onde a temperatura diurna pode ser de cerca de 17°C, os edifícios vernáculos permitem uma variação na temperatura interna de apenas cerca de 4°C. A arquitetura vernacular também se adaptou, de modo a garantir a QAI, utilizando para esse efeito a ventilação natural. Existem várias soluções vernáculas e, nesta dissertação, serão apresentadas três: torres de vento, pátios e iglôs, integrando cada um o poder de condicionamento da ventilação natural, em respostas únicas ao clima local (Yang e Croome, 2000).

2.6.1.1 Torres de Vento

As torres de vento, também chamadas de “bagdirs”, são uma característica distintiva e antiga da arquitetura islâmica. Foram utilizadas há séculos para criar a ventilação natural em edifícios.

A Figura 9 é um exemplo de uma torre de vento, que pode ser encontrada em todo o Médio Oriente e, mais recentemente, também foi incorporada na arquitetura ocidental (Yang e Croome, 2000).

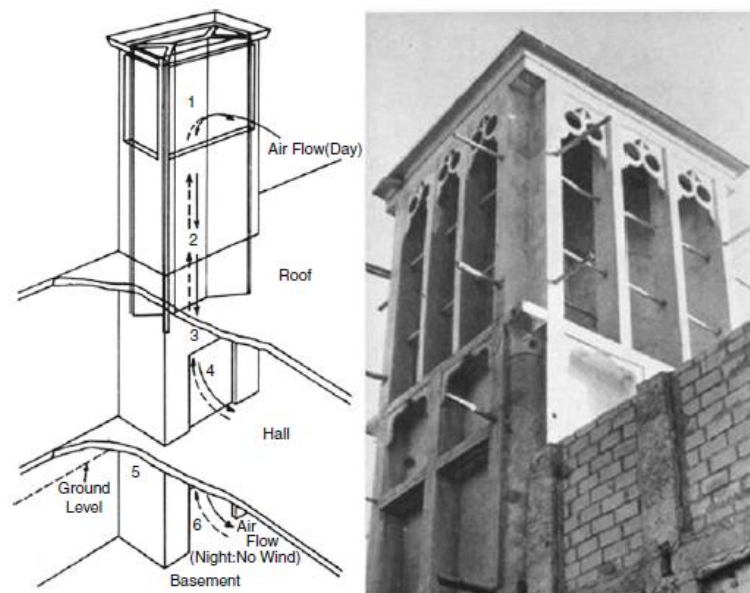


Figura 9 - Bagdir no Dubai (Emirados Árabes Unidos) (Yang e Croome, 2000)

O vento que flui em torno de um edifício causa a separação do fluxo, o que cria uma pressão positiva no lado do barlavento e uma pressão negativa no lado de sotavento do edifício, como explicado anteriormente em “Ação do Vento”. Devido à sua altura, a torre de vento aumenta a pressão positiva no lado do barlavento, direcionado através da torre para o prédio. O fluxo de ar segue os gradientes de pressão dentro da estrutura e sai através de aberturas propositadamente projetadas. O tamanho e a localização das aberturas, como por exemplo, janelas, portas, entre outras, e a distribuição de paredes interiores do edifício têm um grande impacto na ventilação cruzada e na mistura do ar interior (Yang e Croome, 2000).

O principal fator é a estratificação que depende da diferença de temperatura e da altura. Durante o dia, o sol aquece a estrutura que, por sua vez, aquece o ar no seu interior, o que faz com que este suba através da torre de vento, conforme ilustrado na Figura 10. Durante a noite a situação é inversa, ou seja, como a temperatura ambiente é menor, faz com que a estrutura arrefeça, o que levará a uma diminuição da temperatura do ar no interior do edifício, tornando-o mais pesado e fluido. A Figura 10 mostra como as torres de vento podem conseguir arrefecer naturalmente pisos subterrâneos (Yang e Croome, 2000).

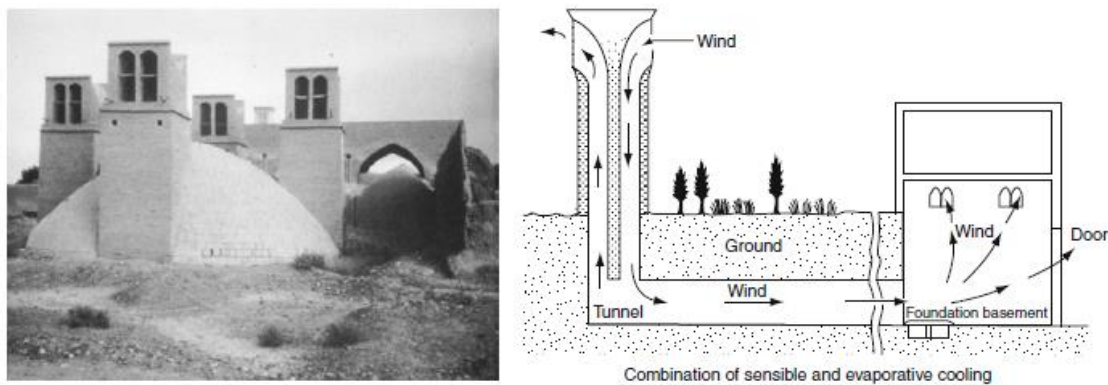


Figura 10 - Torre de vento em Yazd (Irão) para ventilar casas (Yang e Croome, 2000)

2.6.1.2 Pátios

Os pátios são uma das formas de projetos mais antigos para habitações que remontam há milhares de anos, e que aparecem como uma forma distinta em muitas regiões do mundo. Existem vários exemplos na América Latina, China, Médio Oriente, Mediterrâneo e Europa.

Preservar a tipologia básica do pátio, clima local e cultura criou um estilo único para cada região.

Um exemplo disso é o “Courtyard House” (“Siheyuan”) que é uma forma típica da antiga arquitetura chinesa, especialmente no norte da China. Oferece espaço, conforto, silêncio e privacidade. Um “Siheyuan” consiste num retângulo com uma fileira de casas, que fazem fronteira de cada lado ao redor de um pátio, normalmente com uma orientação a sul e com um único portão, geralmente situado no lado sudeste. As suas paredes protegem as casas dos ventos de tempestades, principalmente as tempestades de primavera, pois estas ocorrem frequentemente no norte da China, no deserto de Gobi, na Mongólia. Os beirais profundos das casas permitem que o calor do sol do inverno seja direcionado para os quartos, sendo que também estes conseguem proporcionar sombra refrescante e proteção contra as chuvas de verão.

Todos os quartos ao redor do pátio têm portas e grandes janelas viradas para o pátio e janelas pequenas no alto da parede traseira, de frente para a rua. As coberturas do telhado protegidas fornecem sombra no verão e retêm o calor no inverno. A varanda divide o pátio em grandes e pequenos espaços que estão intimamente conectados, proporcionando um lugar-comum para as pessoas desfrutarem o clima. O pátio pode ser considerado como uma sala de estar ao ar livre contendo jardim com plantas, pedras e flores, para que todos os membros da família possam conviver.

No frio do Norte da China, os pátios são amplos e grandes, de forma a aumentar a exposição à luz solar, e contêm mais áreas abertas dentro das paredes do pátio para a luz do dia, ar fresco, água da chuva para plantas e jardins serem aproveitados. Já no extremo Sul da China, os pátios das casas, conforme ilustrado na Figura 11, são construídos de forma a conseguir um fluxo melhorado de ventilação cruzada, incorporando efeitos de arrefecimento natural. A orientação das casas não é estritamente alinhada norte-sul, mas segue a topologia local das colinas e fácil acesso às fontes de água (Yang e Croome, 2000).



Figura 11 - Esboço de um pátio de uma casa no sul da China (Yang e Croome, 2000)

2.6.1.3 Iglôs

Os Inuit constroem iglôs como abrigos das condições climáticas extremas no Ártico. O iglô, representado na Figura 12, possui um excelente desempenho térmico, mesmo sem recorrer a qualquer equipamento mecânico. A forma hemisférica do iglô oferece a máxima resistência aos ventos de inverno, oriundos de todas as direções, o que, ao mesmo tempo, expõe o mínimo de área de superfície para perdas de calor.

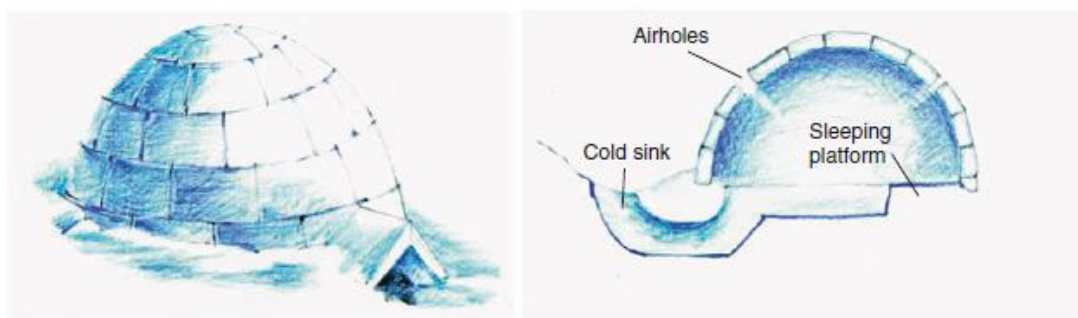


Figura 12 - Exemplo de um Iglô (Yang e Croome, 2000)

A cúpula usa blocos de neve compactados, com 50 cm de espessura, 100 cm de comprimento e 150 mm de largura, que são colocados numa aglomeração contínua com um certo declive. Esta forma hemisférica possui o maior volume com o mínimo de material, para que este possa ser aquecido por uma lâmpada de gordura. Revestida por um esmalte de gelo na superfície interior, a cúpula acabada é reforçada e à prova de vento. A superfície interior também é

revestida com peles de animais de modo a evitar a perda de calor radiante e convectiva entre o piso frio e as paredes. As medições mostraram que, sem fonte de calor além da lâmpada de gordura pequena, as temperaturas internas do ar são mantidas a níveis de 4 a 6°C, com temperaturas externas que podem variar entre -24 e -40°C (Yang e Croome, 2000).

2.6.2 Exemplo de Arrefecimento Usando Ventilação Natural

Uma forma de ventilar naturalmente edifícios é, por exemplo, os tubos enterrados (Figura 13). Estes aproveitam a temperatura do solo, que é relativamente constante, a aproximadamente um metro ou mais abaixo do nível do solo (Gomes, 2010). Desta forma, ao fazer com que o fluxo de ar percorra o subsolo através de tubos enterrados, estas temperaturas podem ser utilizadas para o aquecimento ou arrefecimento do interior dos edifícios.

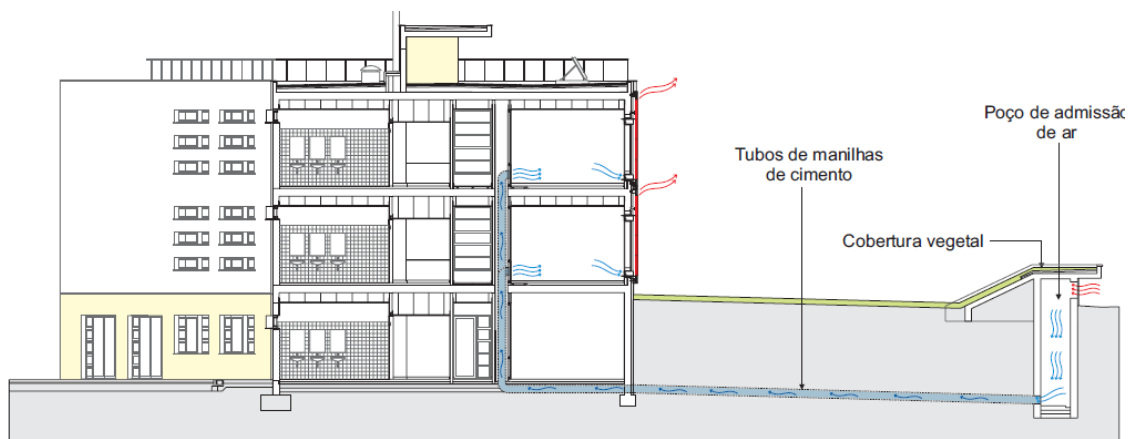


Figura 13 - Esquema do sistema de ventilação do Edifício Solar XXI, Lisboa (Gomes, 2010)

No verão, a temperatura do solo é significativamente menor do que a temperatura diurna do ar, o que fará com que o ar exterior projetado num edifício, através de tubos enterrados seja arrefecido. A escolha dos tubos é de grande importância e deve ter-se em conta se se pretende facilitar, ou não, as trocas de calor entre o ar nos tubos e o solo. Os tubos em cimento são considerados como uma boa opção, visto que, são feitos de um material que possui uma textura porosa dispondo de bons resultados, e também por apresentarem uma boa relação qualidade/preço (Gomes, 2010).

A eficiência dos tubos enterrados varia, com a transferência de calor através do solo adjacente. Isso depende do tipo de solo e do teor de humidade, visto que, estes podem variar ao longo do

ano. Uma outra alternativa para a tubagem de betão, ou até plástico, passa por atrair ar através de uma camada de preenchimento de rocha porosa. Esta técnica é referida como arrefecimento de uma camada de pedra. Importa referir que todas as técnicas que se poderão utilizar têm desafios técnicos significativos associados à sua implementação bem-sucedida (Aynsley, 2007).

2.7 Poluição Urbana, Ruído e Ventilação Natural

Num ambiente urbano, os edifícios e as estradas compõem a forma geométrica básica dos canyons de rua. Há semelhança de um “canyon” natural, que é um desfiladeiro íngreme com lados muito altos e um vale relativamente pequeno, um desfiladeiro urbano possui um estreito espaço de rua limitado por edifícios muito altos. O exemplo de um desfiladeiro urbano é a Magnificent Mile em Chicago, como mostra a Figura 14 (Yang e Croome, 2000).

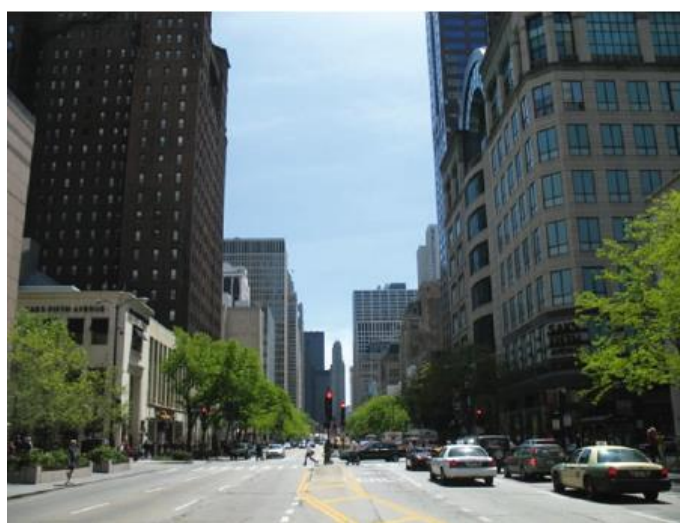


Figura 14 - The Magnificent Mile, Chicago (Yang e Croome, 2000)

Como se pode verificar na Figura 15, o potencial de ventilação natural é seriamente afetado pela redução da velocidade do vento, padrões complicados de dispersão turbulenta, temperaturas ambiente diurnas e noturnas elevadas, devido ao efeito da ilha do calor urbano, e ao aumento dos poluentes exteriores, assim como o nível de ruído (Yang e Croome, 2000).

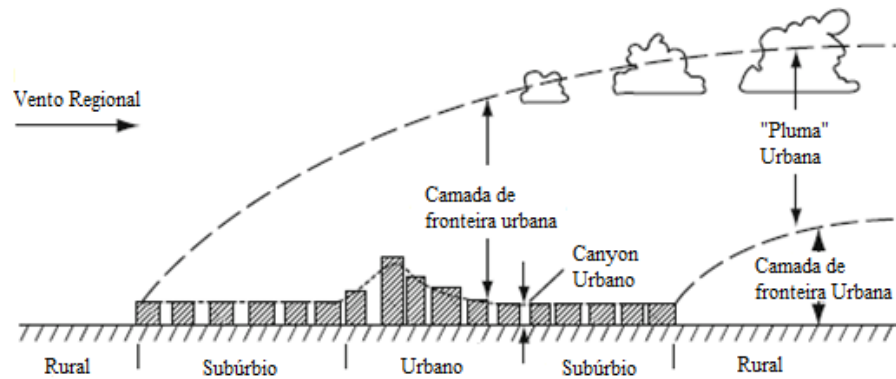


Figura 15 - Corte transversal da atmosfera urbana (Adaptado de: (Yang e Croome, 2000))

Os espaços situados entre os edifícios paralelos formam um meio ideal para escoamentos e recirculação, como se pode verificar na Figura 16. Devido a esse motivo não se deverá instalar qualquer boca de conduta de exaustão que situe abaixo das cotas das coberturas dos edifícios (NP 1037-1:2002).

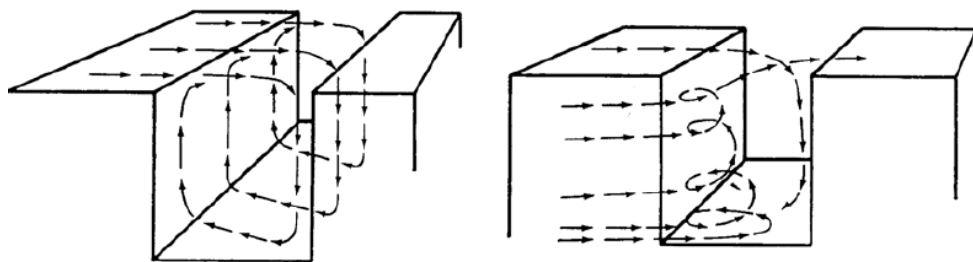


Figura 16 - Padrão de escoamento num desfiladeiro urbano (NP 1037-1:2002)

2.8 Permeabilidade ao Ar

A permeabilidade ao ar tem uma grande relevância na ventilação natural de um edifício, uma vez que, permite a entrada de caudais de ar indesejável através da sua envolvente, ou seja, através de elementos físicos que fazem a separação entre o ambiente interior e o exterior, designados por espaços úteis e não úteis (IPQ, 2002; Araújo, 2013). Segundo a NP 1037-1:2002, a permeabilidade ao ar em juntas fixas pode ser desprezada pelo facto de estas terem uma permeabilidade muito baixa. O mesmo não acontece nas caixilharias e portas exteriores, em que a permeabilidade já é considerável, quando estas se encontram abertas. Deve diminuir-se a permeabilidade desses elementos em função da exposição ao vento, ou seja, quanto maior for a exposição ao vento desses elementos, menor deverá ser a permeabilidade ao ar (Araújo, 2013).

Atualmente, em Portugal, existe, entre os edifícios mais recentes, uma grande quantidade de edifícios que assentam numa estrutura de betão armado com lajes maciças ou aligeiradas. Estes métodos construtivos, ao contrário de pavimentos e vigamentos em madeira de edifícios mais antigos, têm uma permeabilidade bastante reduzida. Nos edifícios mais antigos, em madeira, era possível verificar que estes tinham uma elevada permeabilidade ao ar entre pisos, muito por culpa da degradação dos materiais, o que colocava em causa o conforto dos ocupantes (Araújo, 2013).

Nas portas de patamar a permeabilidade ao ar não deve exceder os $12 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ para uma diferença de pressão de 100 Pa. Nas portas interiores, sempre que estas limitem setores separados de ventilação, devem ter uma permeabilidade não superior a $12 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ para uma diferença de pressão de 100 Pa. Quanto às portas interiores, que constituem a única ligação entre compartimentos do mesmo setor de ventilação, estas devem possuir aberturas permanentes, de maneira a que mesmo estando fechadas minimizem a restrição à circulação do ar. As perdas de carga nessas aberturas não devem ser superiores a 3 Pa (NP 1037-1:2002).

2.8.1 Admissão de Ar

A admissão de ar é fundamental para uma correta e eficiente ventilação dos edifícios, desde que estas admissões sejam bem dimensionadas e implementadas.

Segundo a NP 1037-1:2002, são previstos dois tipos de aberturas de admissão de ar, sendo elas a abertura de admissão de ar em paredes de fachada (que consideram também as aberturas posicionadas nas caixas de estores e outros elementos das fachadas), e a admissão de ar através de condutas. No caso da admissão de ar através das condutas, segundo a NP 1037-1:2002, estas podem ser individuais ou coletivas. Quanto ao dimensionamento das aberturas de admissão de ar através da fachada, é importante referir que terá de ser levada em conta a classe de exposição ao vento. Todas as aberturas de admissão de ar devem ser dimensionadas para caudais-tipo (NP 1037-1:2002).

A norma NP 1037-1:2002 aconselha a que as aberturas sejam com equipamentos antirretorno, visto que, é mais vantajoso. A vantagem, segundo NP 1037-1:2002, é não permitir, por ação do vento, que o fluxo de ar seja invertido (NP 1037-1:2002).

Visto que o objetivo da ventilação é a renovação do ar interior, para que este possa ter uma melhor qualidade, não se pode admitir que a ventilação seja uma fonte de poluição dos espaços interiores (NP 1037-1:2002). Ou seja, as admissões colocadas a cotas mais baixas introduzem poluição nesses mesmos espaços (NP 1037-1:2002). É necessário ter em conta, que um edifício representa um obstáculo ao livre fluxo de vento e, nestas circunstâncias, um fluxo incidente numa fachada divide-se a cerca de 70% da altura desta, gerando uma zona de recirculação abaixo deste nível, como representado na Figura 17 (NP 1037-1:2002). Importa referir que, as zonas I e II, representadas na Figura 17, dizem respeito à rugosidade aerodinâmica do terreno, em que, a rugosidade do tipo I diz respeito aos locais situados no interior de zonas urbanas em que predominem os edifícios de médio e grande porte. Por outro lado, a rugosidade do tipo II é atribuída à generalidade dos restantes locais, nomeadamente às zonas rurais com algum relevo e periferia de zonas urbanas (NP 1037-1: 2002).

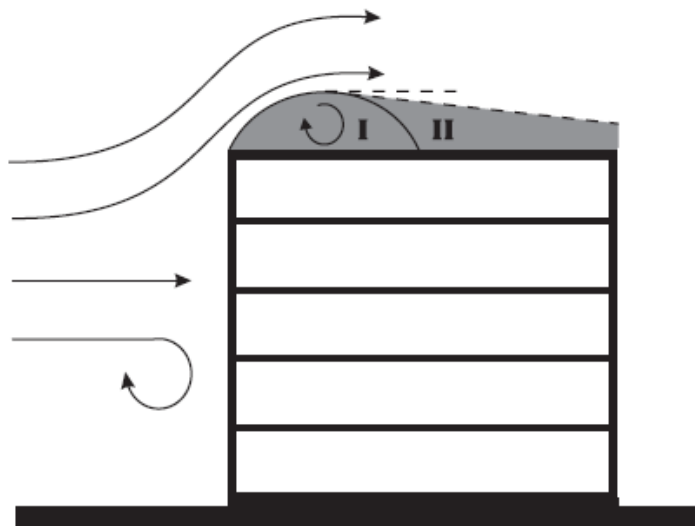


Figura 17 - Repartição do escoamento na fachada frontal de um edifício (NP 1037-1:2002)

De acordo com a norma NP 1037-1:2002, quando os setores a ventilar incluem, simultaneamente, os compartimentos de serviço (caso da cozinha, por exemplo) e compartimentos principais, os segundos devem ter aberturas de admissão de ar, e não pode existir qualquer abertura de admissão de ar no primeiro. No caso de a ventilação ocorrer unicamente num compartimento de serviço, a abertura de admissão de ar deve estar devidamente dimensionada para o caudal de ar a ventilar, para esse compartimento (Clérigo, 2015).

2.8.2 Passagens de Ar Interiores

A área útil das aberturas de passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço é apresentada na Tabela 5, segundo a norma NP 1037-1:2002 (NP 1037-1:2002).

Tabela 5 - Áreas uteis das aberturas de passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço (NP 1037-1:2002)

Área útil	Caudal-tipo
100 cm ²	Até 8 l/s (30 m ³ /h)
200 cm ²	De 8 l/s (30 m ³ /h) até 25 l/s (90 m ³ /h)
250 cm ²	De 25 l/s (90 m ³ /h) até 33 l/s (120 m ³ /h)

Nestas aberturas, as perdas de carga para os caudais-tipo, apresentado na Tabela 5, devem ser na ordem de 1 Pa, para caudais até 60 m³/h. Para caudais superiores não deve ser excedida a perda de carga de 3 Pa (NP 1037-1:2002).

Os valores de caudais apresentados correspondem aos caudais-tipo de entrada nos compartimentos principais e a caudais-tipo de saída em compartimentos de serviço (NP 1037-1:2002).

Aquando a seleção e/ou posicionamento das aberturas ou dispositivos de passagem de ar é necessário indicar as características de atenuação acústica, de acordo com os regulamentos praticados (NP 1037-1:2002). Na Figura 18 estão representados exemplos de possíveis soluções, de forma a promover a passagem de ar (NP 1037-1:2002).

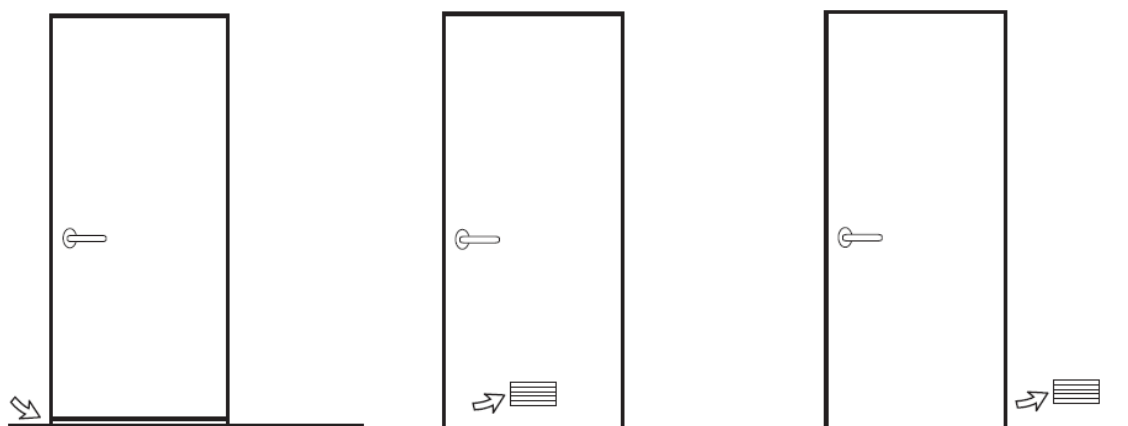


Figura 18 - Folga na porta constituindo passagem de ar interior, grelha aplicada na porta constituindo passagem de ar interior e grelha aplicada na parede constituindo passagem de ar interior (NP 1037-1:2002)

3 METODOLOGIA

3.1 Enquadramento

Esta dissertação teve como objetivo proceder à análise da relação entre a eficiência energética dos edifícios de habitação e as necessidades de renovação do ar interior dos mesmos, com recurso à ventilação natural, de forma a garantir as exigências mínimas da QAI e o conforto dos habitantes.

A análise foi realizada com recurso a um caso de estudo, um edifício de habitação unifamiliar, com características semelhantes às dos edifícios representativos de três épocas construtivas, mais precisamente, edifícios construídos no início dos anos 90, fim dos anos 2000, mais especificamente a partir do ano de 2009 e um edifício novo (de 2017).

Foram definidas três soluções construtivas diferentes, sendo estas soluções características de cada um dos três edifícios em análise, ou seja, definiu-se uma solução construtiva de um edifício construído atualmente, outra solução construtiva para um edifício construído nos anos 2009 e, por fim, um edifício com soluções construtivas dos anos 90. Para cada uma das situações foram também definidos diferentes níveis de isolamento na envolvente exterior, de forma a que fossem respeitados todos os requisitos regulamentares em vigor, na data da sua construção.

O edifício em estudo nesta dissertação é um T2, com características tipo, definidas pela ADENE, para as soluções construtivas adotadas, para diferentes épocas analisadas.

O Edifício A foi o mais recente dos três edifícios em análise. Este representa um edifício tipo de habitação unifamiliar construído em 2017, utilizando soluções construtivas usadas nos dias de hoje, de acordo com os requisitos da regulamentação térmica atualmente em vigor (REH:2013).

O Edifício B foi um edifício de habitação unifamiliar, representativo de um edifício construído no final dos anos 2000, de acordo com a regulamentação em vigor nessa data (RCCTE: 2006).

O último edifício em análise foi o Edifício C, que representa os edifícios dos anos 90, projetado de acordo com o estipulado no RCCTE: 1990.

Depois de caracterizadas as soluções construtivas para os três edifícios, procedeu-se então ao estudo do desempenho termo-energético dos mesmos.

O estudo foi feito com recurso a um programa de simulação dinâmica do comportamento térmico dos edifícios, o DesignBuilder. Com o auxílio deste programa de simulação, foi possível criar simulações realistas, ou seja, simulações capazes de traduzir, de uma forma fiável, os comportamentos dos edifícios em estudo. Desta forma, tornou-se possível fazer uma previsão do comportamento do edifício, para as diferentes realidades temporais, em termos do desempenho energético.

No modelo de simulação, para além das soluções construtivas, foi necessário ter em conta diversos aspetos, como as atividades desenvolvidas nas diferentes zonas da habitação, as aberturas existentes, sejam elas exteriores ou interiores, os ganhos internos, como a iluminação, a ocupação e os equipamentos, os sistemas de climatização, para aquecimento ou para o arrefecimento, o tipo e taxa de ventilação, entre outros aspetos.

Posteriormente, obtiveram-se os resultados das simulações, obtendo-se dados relativos às condições de conforto dos ocupantes, os ganhos solares, os consumos energéticos, entre outros.

Com os resultados obtidos, foi então possível fazer uma análise mais detalhada dos mesmos e, desta forma, encontrar respostas para essas diferenças.

3.2 DesignBuilder

O DesignBuilder é um programa de simulação dinâmica que fornece ferramentas avançadas de modelação, numa interface fácil e intuitiva, para uma avaliação mais próxima da realidade, no que ao comportamento térmico de edifícios diz respeito. É possível encontrar-se uma vasta gama de variáveis que é possível considerar, como por exemplo, as dimensões do edifício em estudo, as características das superfícies, os equipamentos instalados, a localização do edifício (ficheiros climáticos), entre outros aspetos (DesignBuilder, n.d.).

3.2.1 Traçado do Projeto

Trata-se de um dos diversos separadores que é possível encontrar no programa de simulação DesignBuilder. Neste separador é possível criar o modelo de um edifício, ou um conjunto de edifícios, sendo possível escolher as suas dimensões, comprimento, largura e pé-direito, as dimensões das paredes exteriores e interiores, criando desta forma várias zonas destinadas. Também é possível criar, ou retratar, telhados, sejam eles planos ou inclinados, entre outras formas geométricas.

3.2.2 Atividades

Neste separador é possível selecionar a atividade a que se destina o edifício em estudo. Na presente dissertação, irá ser estudado um edifício de habitação. Desse modo, as atividades desenvolvidas serão as comuns num edifício de habitação, como por exemplo, cozinhas, salas de estar e jantar, quartos, instalações sanitárias, entre outros.

Também é possível definir os parâmetros associados aos ocupantes, como a atividade metabólica. No que a ocupação dos habitantes diz respeito, o edifício é do tipo T2, sendo habitado por uma família constituída por 3 pessoas.

Durante a simulação, consideraram-se hábitos ocupacionais expectáveis numa família comum, composta por um agregado familiar de 3 pessoas. Também se teve em consideração as diferentes ocupações do edifício durante os dias úteis e fins-de-semana, pois, numa família comum existem diferentes hábitos nesses dois períodos. Importa referir que a ocupação foi a mesma para todas as simulações realizadas na presente dissertação.

Um aspeto muito importante na eficiência do edifício prende-se com o fato dos ganhos internos devidos à iluminação, ocupação e equipamentos. Os ganhos com os equipamentos também estão presentes no separador atividade, em que se deve quantificar os seus ganhos em W/m^2 , assim como o seu horário de funcionamento. Importa referir que os ganhos internos totais definidos correspondem a $4W/m^2$, de acordo com o definido nas três regulamentações consideradas (RCCTE:1990; RCCTE:2006 e REH:2013).

3.3 Construção

Neste separador introduzem-se os dados relativos aos pormenores das soluções construtivas utilizadas no edifício em causa. Depois de realizada a caracterização dos edifícios, insere-se os materiais das soluções construtivas, com as respetivas espessuras, para os diferentes elementos da envolvente, como é o caso das paredes exteriores, paredes interiores, pavimentos, coberturas, entre outros. Tem ainda um aspeto muito importante que são as infiltrações de ar no edifício, que diferem de acordo com as soluções construtivas utilizadas.

3.4 Aberturas

Para que se possa definir as condições de ventilação natural num edifício, é necessário que este possua aberturas, sejam elas através de portas, janelas ou grelhas de ventilação.

Nas janelas exteriores existem vários aspetos a considerar como o tipo de vidro, as suas dimensões, o fator solar dos envidraçados, o tipo de caixilharia, os sistemas de sombreamento, entre outros.

3.5 HVAC

Neste separador há a possibilidade de selecionar os equipamentos de climatização que irão ser usados, tanto para o aquecimento como para o arrefecimento ambiente, o sistema de AQS a serem utilizados, assim como as definições a utilizar na ventilação.

4 CARATERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Nesta dissertação foi analisado um edifício modelo fictício, ao qual correspondem os três casos de estudo, ou seja, três edifícios de habitação unifamiliar, representativos dos edifícios construídos em diferentes décadas, mais especificamente, no início da década de 90, no final da década de 2000 e um edifício recente (2017), variando apenas as soluções construtivas da envolvente.

Os três casos de estudo correspondem a um edifício de habitação unifamiliar, de tipologia T2 com uma área total de 94 m², sendo esta distribuída por dois pisos. O edifício encontra-se localizado na zona urbana do Porto e está representado na Figura 19.



Figura 19 - Modelação do Edifício em estudo (SketchUp 2017)

Na Tabela 6 são apresentadas as características geométricas dos diferentes compartimentos da habitação.

Tabela 6 - Compartimentos e respetivas áreas dos edifícios em estudo

Compartimento	Área do compartimento (m ²)
Piso 0	
Vestíbulo do Rés-do-Chão	10,0
Sala de Estar	16,5
Instalação sanitária (IS) de Serviço	4,0
Cozinha	11,8
Sala de Jantar	13,0
Piso 1	
Vestíbulo do Piso 1	8,2
Quarto 1	12,3
IS 1	5,4
Quarto 2	8,1
IS 2	4,6

Na Tabela 7 são apresentadas as áreas dos envidraçados, por orientação.

Tabela 7 - Área dos envidraçados, por orientação

Orientação	Área do envidraçado (m ²)
Norte	1,5
Este	2,0
Oeste	8,5
Sul	4,0

Nas Figuras 20 e 21 estão ilustradas representações esquemáticas do edifício, tal como apresentadas no DesignBuilder.

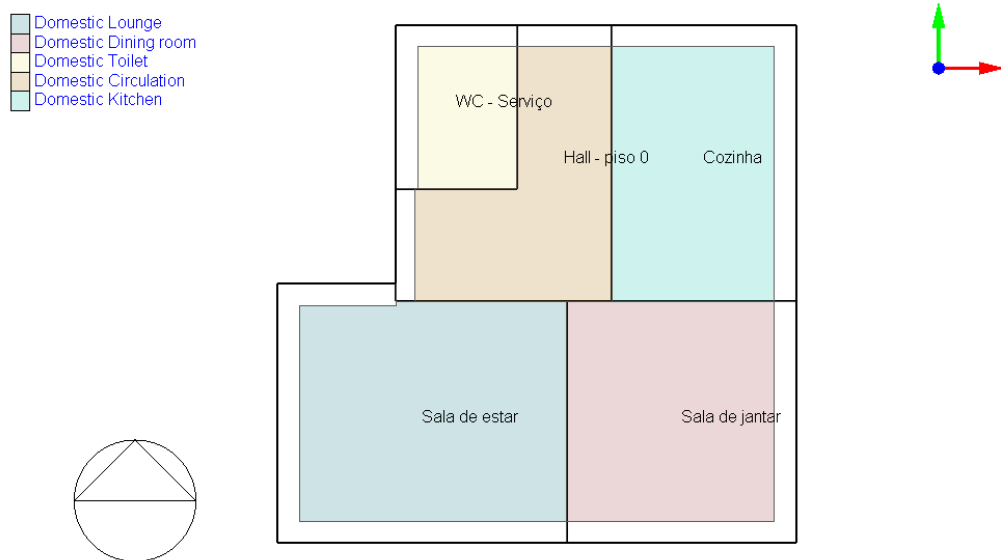


Figura 20 - Representação esquemática do Piso 0

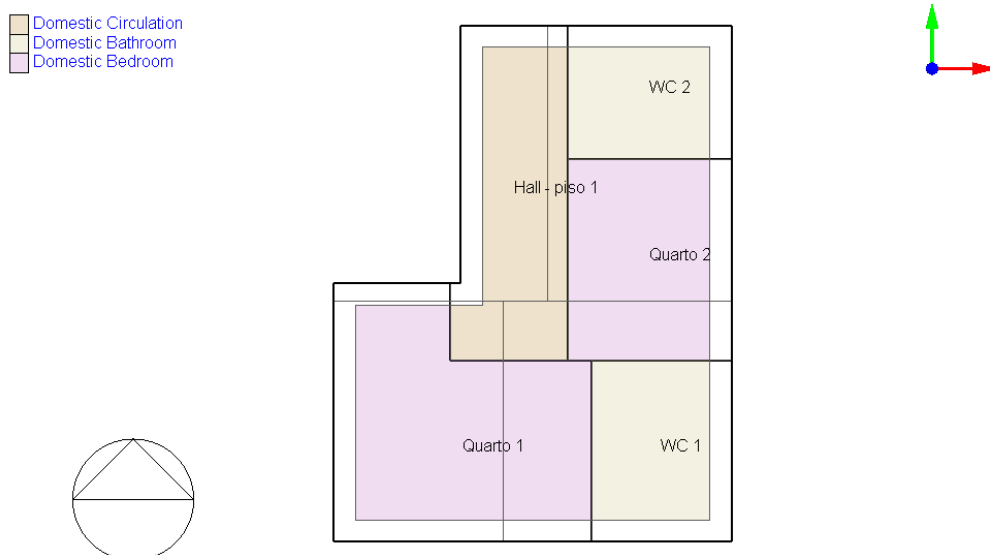


Figura 21 - Representação esquemática do Piso 1

O edifício em análise possui uma área de parede exterior total de 180 m² e uma área de envidraçado total na ordem dos 16 m² (17% de área envidraçada em relação à área de pavimento total (94 m²)).

Para as simulações realizadas no DesignBuilder, foi usado o ficheiro climático do Porto, “PRT_Porto_IWEC.epw”, (obtido na base de dados da ASHARAE - Internacional Weather for Energy Calculation) (DesignBuilder, n.d.).

4.1 Caracterização do Edifício A

O Edifício A representou um edifício novo (2017), com soluções construtivas utilizadas atualmente e com materiais com elevado desempenho, tanto a nível térmico como acústico. Tratou-se de um edifício muito estanque, com taxas de infiltrações residuais, o que permitiu reduzir as infiltrações, não controláveis, e as trocas de energia com o exterior.

Na simulação foi necessário definir, para os diversos compartimentos, as suas utilizações, como por exemplo, cozinha, instalações sanitárias, entre outros, bem como a sua taxa de ocupação, sendo esta pré-definida.

De forma a atingir o conforto térmico, por parte dos ocupantes, foi necessário recorrer a sistemas de climatização, seja para o aquecimento ou para o arrefecimento. Os sistemas de climatização usados no Edifício A foram através de aquecedores elétricos, nos meses mais frios, e o arrefecimento foi feito através de aparelhos de arrefecimento elétricos, nos meses mais quentes.

O aquecimento do Edifício A foi assegurado com recurso à rede elétrica que, de acordo com o REH:2013, possuindo uma potência elétrica menor do que 25 kW por fração autónoma de edifício, sendo este simulado de forma a ser ligado quando se verifique uma temperatura interior inferior a 18°C.

Por outro lado, à semelhança do que aconteceu com o aquecimento, também para o arrefecimento foi usada a rede de eletricidade, recorrendo a aparelhos de arrefecimento elétricos, sendo estes programados para ser ligados quando se verificasse uma temperatura interior superior a 28°C, ao contrário do estipulado pelo REH:2013, que define uma temperatura de 25°C, uma vez que, de acordo com Lambert, com a ajuda da ventilação natural, mesmo para temperaturas superiores a 25°C, prevê-se que os ocupantes considerem o ambiente interior confortável, conforme mostra a Figura 3.

Para a preparação de AQS, foi usado um esquentador a gás natural, como sistema de apoio, e um sistema solar térmico inclinado, com painéis solares inclinados com uma eficiência igual a 0,95. Este encontra-se instalado na cobertura, com um isolamento com 2 cm na tubagem, sendo

este o valor mínimo de isolamento segundo o REH:2013, com o reservatório orientados a sul, com uma inclinação de 30°, com uma área de 2,92 m², de acordo com o REH:2013.

É de destacar também, o uso de painéis solares fotovoltaicos no Edifício A, com um sistema ligado à rede injetando, na rede, toda a energia produzida para o seu consumo, em que estes contribuem significativamente para minimizar as necessidades energéticas verificadas no consumo do edifício. Estes painéis tem uma eficiência energética de 0,95, estando orientados a sul e possuem uma área efetiva na ordem de 2,92m².

Em relação aos sistemas de ventilação utilizados no Edifício A, foi considerada a existência de tubos enterrados. Os tubos enterrados estão a uma profundidade de 3,5 metros, possuindo um raio de 0,25 metros e uma parede com 0,02 metros de espessura.

Por outro lado, existem outras formas de ventilação do edifício, também estas realizadas através da envolvente exterior, seja através das infiltrações, muito baixas no Edifício A, seja através da abertura das janelas, fenómeno que ocorre com mais frequência nos meses mais quentes.

As soluções construtivas adotadas, para as envolventes exteriores do Edifício A, foram definidas e calculados os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial, U. Para o cálculo do U, foi necessário especificar o número de camadas, a sua espessura, entre outros parâmetros e, posteriormente, recorrer-se aos valores do ITE 50, onde estão definidos, para os diferentes materiais, os valores dos coeficientes térmicos, λ (W/m.°C), bem como os valores das resistências térmicas, R [(m².°C)/W].

Para novos edifícios, ou edifícios já existentes sujeitos a grandes intervenções, existem requisitos energéticos que devem ser cumpridos, os quais são regidos pela Portaria n.º 379-A/2015. A partir do dia 1 de janeiro de 2016, entraram em vigor os valores máximos para o coeficiente de transmissão térmica superficial para os elementos da envolvente, U (W/m².° C), como é possível observar na Tabela 8.

Tabela 8 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos de elementos opacos e de vãos envidraçados para o Edifício A, $U_{\text{máx}}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$] (Portaria n.º 379-A/2015)

Valor de U^*	Zona Climática
Cobertura	0,35
Paredes exteriores	0,40
Pavimento	0,35
Janelas exteriores	2,40

* U é o coeficiente de transmissão térmica superficial de uma solução construtiva e refere-se à capacidade que esta tem em conduzir o calor do interior para o exterior da habitação. Quanto menor for este valor melhor será o desempenho energético da solução.

Para a cobertura do Edifício A, foi usada uma cobertura inclinada, sótão não acessível e, para efeito de cálculo do U , considerou-se o desvão fortemente ventilado. Na Tabela 9 é possível observar-se as características da solução construtiva da cobertura ($U = 0,350 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

Tabela 9 - Solução construtiva para a cobertura inclinada do Edifício A

Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica - λ ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)	Resistência térmica - R ($(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$)
Reboco interior (gesso projetado)	0,025	0,300	-
Laje aligeirada em blocos cerâmicos	0,35	-	0,440
Isolamento Poliestireno Extrudido (XPS)	0,080	0,037	-

Na Figura 22, encontra-se representada a solução construtiva da cobertura do Edifício A, com as suas diferentes camadas e espessuras.

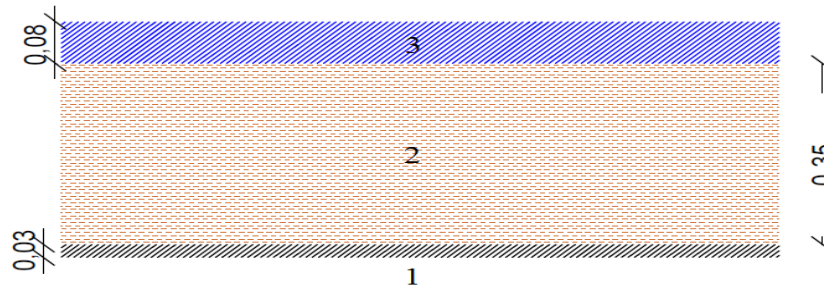


Figura 22 - Solução construtiva da cobertura do Edifício A – laje de separação entre o sótão não habitável e a zona útil

Quanto à solução construtiva da parede exterior, foi utilizada uma parede dupla de tijolo cerâmico vazado, com caixa-de-ar e isolamento, com uma espessura total de 37 cm, como se pode verificar na Tabela 10 ($U = 0,313 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$).

Tabela 10 - Solução construtiva de parede exterior, adotada para o Edifício A

Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica - λ ($\text{W/m}\cdot\text{°C}$)	Resistência térmica - R ($(\text{m}^2\cdot\text{°C})/\text{W}$)
Reboco interior (gesso projetado)	0,020	0,300	-
Tijolo cerâmico vazado	0,150	-	0,390
Isolamento Poliestireno Extrudido (XPS)	0,040	0,037	-
Caixa-de-ar	0,030	0,025	-
Tijolo cerâmico vazado	0,110	-	0,270
Reboco exterior	0,020	1,300	-

Na Figura 23, está representada a solução construtiva da parede exterior usada no Edifício A, com as suas diferentes camadas e respetivas espessuras.

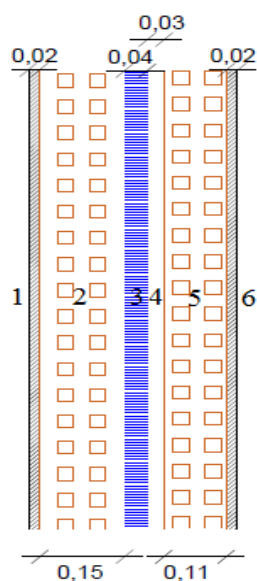


Figura 23 - Solução construtiva da parede exterior, do Edifício A

No que diz respeito ao pavimento ($U = 0,350 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), a solução adotada para esta envolvente exterior foi a solução descrita na Tabela 11.

Tabela 11 - Solução construtiva para o pavimento do Edifício A

Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica - λ ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)	Resistência térmica - R ($(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$)
Revestimento interior em madeira leve	0,030	0,15	-
Betonilha	0,040	1,300	-
Isolamento XPS	0,080	0,037	-
Betão	0,200	2,00	-

Na Figura 24, encontra-se ilustrada a solução construtiva do pavimento do Edifício A, com as suas diferentes camadas e espessuras.

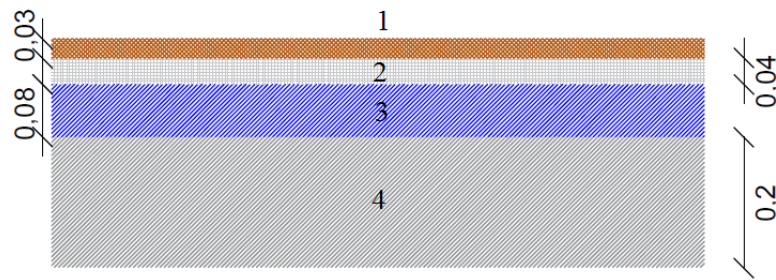


Figura 24 - Solução construtiva do pavimento do Edifício A

Quanto à solução adotada para os vãos envidraçados do Edifício A, estes foram compostos por uma caixilharia em alumínio, com corte térmico, munida com vidros duplos de baixa emissividade, com 6 mm, contendo entre eles uma caixa-de-ar com 3 mm. Esta solução de envidraçado possuiu um fator solar de 0,57 e um valor de U de $2,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, cumprindo os requisitos definidos no regulamento em vigor.

Importa também referir que as janelas usadas foram janelas de correr, compostas por duas folhas, consideradas com uma percentagem de abertura, aquando a simulação, na ordem dos 40%.

O sombreamento das aberturas exteriores foi feito com recurso a persianas exteriores reguláveis, e, aquando a simulação, estas foram utilizadas nos dias em que se torna necessário arrefecer o edifício e também durante as noites, como sistema de oclusão.

4.2 Caracterização do Edifício B

O Edifício B representou um edifício construído a partir de 2009, respeitando o regulamento RCCTE, de 4 de abril de 2006. Na simulação deste, considerou-se que o edifício tem uma taxa de infiltração superior, em comparação com o Edifício A.

À semelhança do que aconteceu com o Edifício A, também o Edifício B foi um edifício de habitação unifamiliar, com um agregado familiar constituído por 3 pessoas, constituído por vários compartimentos, nos quais foram atribuídas várias utilizações como cozinhas, quartos, entre outros, sendo estas pré-definidas pelo simulador dinâmico.

De forma a atingir o conforto térmico, por parte dos ocupantes, foi necessário recorrer a sistemas de climatização, seja para o aquecimento ou para o arrefecimento. Os sistemas de climatização usados no Edifício B foram através de aquecedores elétricos, nos meses mais frios, e o arrefecimento foi feito através de aparelhos de arrefecimento elétricos, nos meses mais quentes.

O aquecimento do Edifício B foi assegurado com recurso à rede elétrica que, de acordo com o RCCTE:2006, possuindo uma potência elétrica é menor do que 25 kW por fração autónoma de edifício, sendo este simulado de forma a ser ligado quando se verificasse uma temperatura interior inferior a 18°C.

Por outro lado, à semelhança do que aconteceu com o aquecimento, também para o arrefecimento foi usada a rede de eletricidade, recorrendo-se a aparelhos de arrefecimento elétricos, sendo estes programados para serem ligados quando se verificasse uma temperatura interior superior a 28°C, ao contrário do estipulado pelo RCCTE:2006, que define uma temperatura de 25°C, uma vez que, de acordo com Lambert, com a ajuda da ventilação natural, mesmo para temperaturas superiores a 25°C, prevê-se que os ocupantes considerem o ambiente interior confortável, conforme mostra a Figura 3.

Para a preparação de AQS, foi usado um esquentador a gás natural, como sistema de apoio, e um sistema solar térmico inclinado, com painéis solares inclinados com uma eficiência igual a 0,95. Este encontra-se instalado na cobertura, com um isolamento com 2 cm na tubagem, sendo este o valor mínimo de isolamento segundo o RCCTE:2006, com o reservatório orientados a sul, com uma inclinação de 30°, com uma área de 2,92 m², de acordo com o RCCTE:2006.

Os sistemas de ventilação usados no Edifício B, à semelhança do que aconteceu no Edifício A, foram realizados com recurso a tubos enterrados. Os tubos enterrados estão a uma profundidade de 3,5 metros, possuindo um raio de 0,25 metros e uma espessura de 0,02 metros.

Por outro lado, existem outras formas de ventilação do edifício, também estas realizadas através da envolvente exterior, seja através das infiltrações, que foram valores já consideráveis no Edifício B, seja através da abertura das janelas, fenómeno que ocorre com mais frequência nos meses mais quentes.

As soluções construtivas adotadas, para as envolventes exteriores do Edifício B, foram definidas e calculados os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial, U. Para o cálculo do U, foi necessário especificar o número de camadas, a sua espessura, entre outros parâmetros e, posteriormente, recorrer-se aos valores do ITE 50, onde estão definidos, para os diferentes materiais, os valores dos coeficientes térmicos, λ (W/m.°C), bem como os valores das resistências térmicas, R [(m².°C)/W].

Para o Edifício B, edifício de habitação unifamiliar construído no ano de 2009, existiram certos requisitos que precisam de ser respeitados, de acordo com o RCCTE de 2006, em que se encontram tabelados valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica, U (W/m².°C), para os elementos da envolvente exterior. Na Tabela 12, é possível verificar-se os valores de referência máximos para o Edifício B.

Tabela 12 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximas de elementos opacos e de vãos envidraçados para o Edifício B, U_{máx} [W/(m².°C)] (RCCTE 2006)

Valor de U*	Zona Climática
	I2
Cobertura	0,45
Paredes exteriores	0,60
Pavimento	0,45
Janelas exteriores	3,30

* U é o coeficiente de transmissão térmica superficial de uma solução construtiva e refere-se à capacidade que esta tem em conduzir o calor do interior para o exterior da habitação. Quanto menor for este valor melhor será o desempenho energético da solução.

Posto isto, para a cobertura do Edifício B, foi usada uma cobertura inclinada, não acessível e, para efeito de cálculo do U, considerou-se fortemente ventilada. Quanto ao sótão, considerou-se não ocupado. Na Tabela 13 é possível observar-se a solução construtiva da cobertura, sendo neste caso plana, devido ao sótão ser não ocupado, e é constituída por três camadas.

Tabela 13 - Solução construtiva para a cobertura inclinada do Edifício B

	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica λ (W/m.°C)	Resistência térmica R [(m ² .°C)/W]
1	Reboco interior (gesso projetado)	0,025	0,300	-
2	Laje aligeirada de blocos cerâmicos	0,330	-	0,44
3	Isolamento XPS	0,060	0,037	-

Assim sendo, utilizando os materiais em cima descritos, com as respetivas espessuras, foi determinado um valor de U de 0,430 W/m².°C, o que, de acordo com a Tabela 12, encontra-se dentro dos valores de referência do regulamento.

Na Figura 25, encontra-se ilustrada a solução construtiva da cobertura do Edifício B, com as suas diferentes camadas e espessuras.

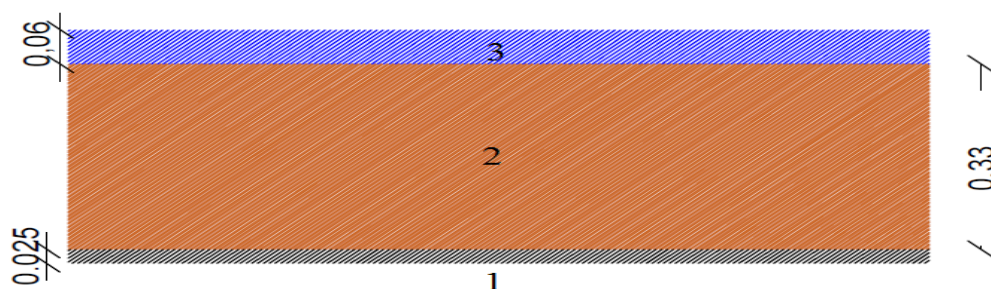


Figura 25 - Solução construtiva da cobertura do Edifício B – laje de separação entre o sótão não habitável e a zona útil

Quanto à solução construtiva da parede exterior, a solução utilizada foi a parede dupla de tijolo cerâmico vazado e isolamento térmico, possuindo uma espessura total de 30 cm, composta por 5 camadas, como se pode verificar na Tabela 14.

Tabela 14 - Solução construtiva para a parede exterior Edifício B

	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica λ (W/m.°C)	Resistência térmica R [(m ² .°C)/W]
1	Reboco interior	0,025	0,300	
2	Tijolo cerâmico vazado	0,110	-	0,27
3	Isolamento XPS	0,030	0,025	-
2	Tijolo cerâmico vazado	0,110	-	0,27
4	Reboco exterior	0,025	1,300	

Posto isto, utilizando os materiais em cima descritos, com as respetivas espessuras, foi determinado um valor de U de 0,600 W/m².°C, o que, de acordo com a Tabela 12, encontra-se dentro dos valores de referência descritos no regulamento.

Na Figura 26, está representada a solução construtiva da parede exterior usada no Edifício B, com as suas diferentes camadas e espessuras.

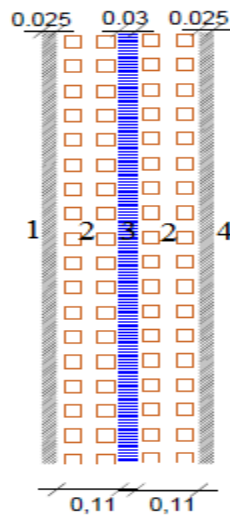


Figura 26 - Solução construtiva da parede exterior, do Edifício B

No que diz respeito ao pavimento do Edifício B, a solução adotada para esta envolvente exterior foi a solução descrita na Tabela 15.

Tabela 15 - Solução construtiva para o pavimento do Edifício B

	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica λ (W/m.°C)	Resistência térmica R [(m ² .°C)/W]
1	Revestimento interior em madeira leve	0,030	0,15	-
2	Betonilha	0,060	1,300	-
3	Isolamento XPS	0,060	0,037	-
4	Betão	0,300	2,00	-

Desta forma, utilizando os materiais em cima descritos, com as respetivas espessuras, foi determinado um valor de U de 0,450 W/m².° C, o que, de acordo com a Tabela 12, encontra-se dentro dos valores de referência mencionados no regulamento.

Na Figura 27, encontra-se ilustrada a solução construtiva do pavimento do Edifício B, com as suas diferentes camadas e espessuras.

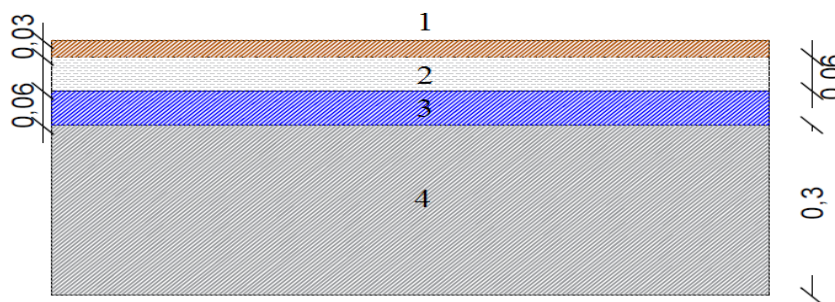


Figura 27 - Solução construtiva do pavimento do Edifício B

Quanto à solução adotada para as janelas do Edifício B, estas foram compostas por uma caixilharia em alumínio, sem corte térmico, munidas com vidros duplos, com 6 mm cada, contendo entre eles uma caixa-de-ar com 3 mm e com um fator solar de 0,50. Esta solução de envidraçado possuiu um U de 3,157 W/m².° C, o que, de acordo com a Tabela 12, encontra-se dentro dos valores de referência descritos no regulamento.

Importa também referir que as janelas utilizadas foram janelas de correr, à semelhança do que aconteceu no Edifício A, compostas por duas folhas, consideradas com uma percentagem de abertura, aquando a simulação, na ordem dos 40%.

Quanto ao sombreamento das aberturas exteriores, janelas, esse foi feito com recurso a persianas reguláveis, situadas no exterior do edifício e, aquando a simulação, estas foram utilizadas nos dias em que se torna necessário arrefecer o edifício, ou seja, nos meses de verão, e também durante as noites.

4.3 Caracterização do Edifício C

O Edifício C foi o mais antigo dos três casos de estudo analisados nesta dissertação, mais precisamente, foi um edifício posterior ao ano de 1991, ano em que entrou em vigor o decreto-lei n.º 40/90, de dia 6 de fevereiro de 1990. Foi o primeiro regulamento, no que ao comportamento térmico dos edifícios, em Portugal, diz respeito. De todos os edifícios em estudo, este foi o que apresenta uma maior taxa de infiltrações pela envolvente.

O Edifício C foi, também ele, um edifício de habitação unifamiliar, com um agregado familiar constituído por 3 pessoas, constituído por vários compartimentos, nos quais foram atribuídos várias utilizações como instalações sanitárias, quartos, entre outros, com a respetiva taxa de ocupação, que foi pré-definida pelo simulador dinâmico.

Sendo este um edifício com taxas de infiltrações muito elevadas, fez com que seja mais difícil atingir o conforto térmico dos seus ocupantes. De forma a tentar maximizar o conforto dos referidos ocupantes, houve a necessidade de recorrer a sistemas de climatização, o mesmo aconteceu nos Edifícios A e B, quer seja com efeito de aquecimento ou para o arrefecimento.

De forma a atingir o conforto térmico, por parte dos ocupantes, foi necessário recorrer a sistemas de climatização, seja para o aquecimento ou para o arrefecimento. Os sistemas de climatização usados no Edifício C foram através de aquecedores elétricos, nos meses mais frios, e o arrefecimento foi feito através de aparelhos de arrefecimento elétricos, nos meses mais quentes.

O aquecimento do Edifício B foi assegurado com recurso à rede elétrica que, de acordo com o RCCTE:1990, possuindo uma potência elétrica menor do que 25 kW por fração autónoma de edifício, sendo este simulado de forma a ser ligado quando se verifica uma temperatura interior inferior a 18°C.

Por outro lado, à semelhança do que aconteceu com o aquecimento, também para o arrefecimento foi usada a rede de eletricidade, recorrendo a um aparelho de arrefecimento elétrico, sendo este programado para ser ligado quando se verificasse uma temperatura interior superior a 28°C, ao contrário do estipulado pelo RCCTE:1990, que define uma temperatura de 25°C, uma vez que, de acordo com Lambert, com a ajuda da ventilação natural, mesmo para temperaturas superiores a 25°C, prevê-se que os ocupantes considerem o ambiente interior confortável, conforme mostra a Figura 3.

Quanto ao sistema de AQS, o aparelho usado foi um esquentador a gás.

Em relação ao sistema de ventilação aplicado no Edifício C, este foi realizado manualmente, com abertura das janelas e as elevadas taxas de infiltrações, através da envolvente exterior.

As soluções construtivas adotadas, para as envolventes exteriores do Edifício B, foram definidas e calculados os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial, U. Para o cálculo do U, foi necessário especificar o número de camadas, a sua espessura, entre outros parâmetros e, posteriormente, recorrer-se aos valores do ITE 50, onde estão definidos, para os diferentes materiais, os valores dos coeficientes térmicos, λ (W/m.°C), bem como os valores das resistências térmicas, R [(m².°C)/W].

Como já referido, o decreto-lei em vigor para este edifício, foi o RCCTE de 1990, em que este define os valores máximos de referência para os coeficientes de transmissão térmica, U (W/m².°C), como se pode verificar na Tabela 16.

Tabela 16 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximas de elementos opacos e de vãos envidraçados para o Edifício C, $U_{\text{máx}}$ [W/(m².°C)] (RCCTE:1990)

Valor de U*	Zona Climática
	I2
Cobertura	1,00
Paredes exteriores	1,60
Pavimento	1,00
Janelas exteriores	-

* U é o coeficiente de transmissão térmica superficial de uma solução construtiva e refere-se à capacidade que esta tem em conduzir o calor do interior para o exterior da habitação. Quanto menor for este valor melhor será o desempenho energético da solução.

Comparando os valores dos coeficientes de transmissão térmica, dos regulamentos de 2006 ou do REH de 2013, com os valores do regulamento de 1990, foi possível verificar-se a enorme discrepância em termos energéticos dos elementos da envolvente.

Posto isto, para a cobertura do Edifício C, foi usada uma cobertura inclinada, não acessível e, para efeito de cálculo do U, considerou-se fortemente ventilada. Quanto ao sótão, considerou-se não ocupado. Na Tabela 17 é possível observar-se a solução construtiva da cobertura, sendo neste caso plana, devido ao sótão ser não ocupado, e é constituída por três camadas.

Tabela 17 - Solução construtiva para a cobertura inclinada do Edifício C

	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica λ (W/m.°C)	Resistência térmica R [(m ² .°C)/W]
1	Reboco interior (gesso projetado)	0,025	0,300	-
2	Laje aligeirada de blocos cerâmicos	0,200	-	0,25
3	Isolamento em XPS	0,020	0,037	-

Assim sendo, utilizando os materiais em cima descritos, com as respetivas espessuras, foi determinado um valor de U de 0,950 W/m².°C, o que, de acordo com a Tabela 16, encontra-se dentro dos valores de referência do regulamento.

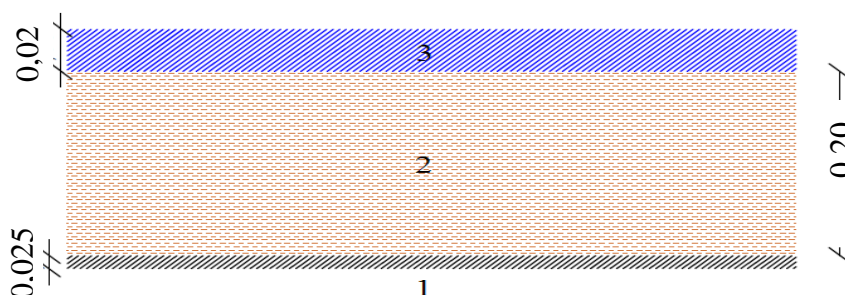


Figura 28 - Solução construtiva da cobertura do Edifício C – laje de separação entre o sótão não habitável e a zona útil

Quanto à solução construtiva da parede exterior, a solução utilizada foi a parede simples de tijolo cerâmico vazado, com reboco interior e exterior, possuindo uma espessura total de 26 cm, composta por 3 camadas, como se pode verificar na Tabela 18.

Tabela 18 - Solução construtiva de parede exterior do Edifício C

	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica λ (W/m.°C)	Resistência térmica R [(m ² .°C)/W]
1	Reboco interior	0,020	0,300	-
2	Tijolo cerâmico vazado	0,220	-	0,52
3	Reboco exterior	0,020	1,300	-

Posto isto, utilizando os materiais em cima descritos, com as respetivas espessuras, foi determinado um valor de U de 1,29 W/m².°C, o que, de acordo com a Tabela 16, encontra-se dentro dos valores de referência descritos no regulamento.

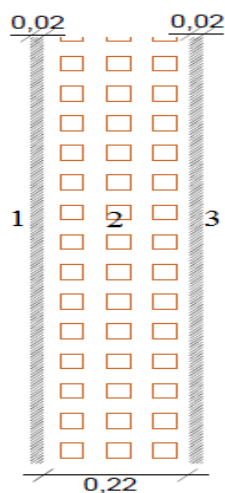


Figura 29 - Solução construtiva da parede exterior, do Edifício C

No que diz respeito ao Edifício C, a solução adotada para o pavimento foi a solução descrita na Tabela 19.

Tabela 19 - Solução construtiva para o pavimento do Edifício C

	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica λ (W/m.°C)	Resistência térmica R [(m ² .°C)/W]
1	Revestimento em ladrilho cerâmico	0,020	1,300	-
2	Betonilha	0,040	1,300	-
3	Isolamento XPS	0,030	0,037	-
4	Betão	0,200	2,000	-

Desta forma, utilizando os materiais em cima descritos, com as respetivas espessuras, foi determinado um valor de U de 0,890 W/m².°C, o que, de acordo com a Tabela 16, encontra-se dentro dos valores de referência mencionados no regulamento.

Na Figura 30, encontra-se ilustrada a solução construtiva do pavimento do Edifício C, com as suas diferentes camadas e espessuras.

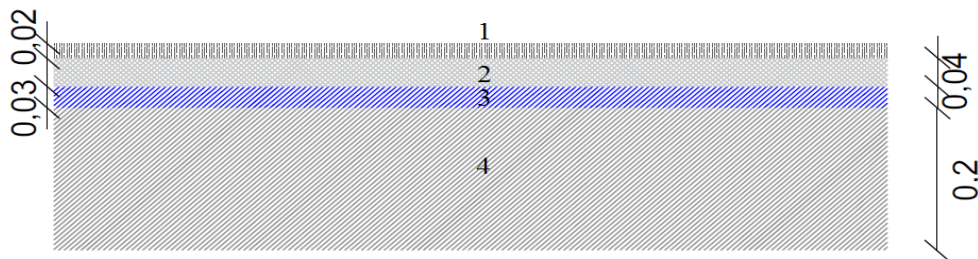


Figura 30 - Solução construtiva do pavimento do Edifício C

No que às janelas diz respeito, no RCCTE de 1990, não existem valores máximos de referência para o coeficiente de transmissão.

Quanto à solução adotada para as janelas do Edifício C, estas foram compostas por uma caixilharia em madeira, munidas com vidros simples, com 6 mm e possuindo um fator térmico de 0,62. Foi uma solução que poderá deixar o edifício com uma eficiência energética muito aquém dos edifícios anteriores, possuindo um valor de U de 5,778 W/m².°C.

Importa também referir que as janelas utilizadas foram janelas de correr, compostas por duas folhas, consideradas com uma percentagem de abertura, aquando a simulação, na ordem dos 40%, à semelhança do que acontece nos outros dois casos de estudo.

Quanto ao sombreamento das aberturas exteriores, janelas, esse foi feito com recurso a persianas reguláveis, situadas no exterior do edifício e, aquando a simulação, estas foram utilizadas nos dias em que se torna necessário arrefecer o edifício e também durante as noites.

5 RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo foram apresentados os resultados das simulações realizadas, através do programa de simulação dinâmica DesignBuilder, para os três edifícios em estudo, assim como, a análise desses mesmos resultados.

A presente dissertação teve como objetivo estudar a influência da ventilação, dos três edifícios em análise, e os seus consumos energéticos, de forma a conseguir manter os ocupantes das habitações em conforto no seu interior. Para o estudo foi necessário recorrer aos diferentes regulamentos térmicos utilizados em Portugal, sendo que, para cada uma das habitações, foi utilizada a legislação em vigor até à data da sua construção.

O Edifício A foi caracterizado como sendo um edifício novo, sendo desta forma, o edifício mais recente das três habitações em estudo. As soluções construtivas da envolvente deste edifício possuem um elevado nível de isolamento, de acordo com o que foi determinado pela ADENE, para edifícios construídos recentemente. Devido ao fato da qualidade da envolvente ser elevada, fez com que este se tornasse bastante estanque, resultando em menores perdas de energia, por radiação, convecção, condução ou evaporação, através da sua envolvente. O regulamento térmico em vigor, aquando a construção do Edifício A, foi o REH:2013, regulamento que está em vigor atualmente. O REH é um regulamento térmico que visa tornar os edifícios de habitação, como é o caso do Edifício A, em habitações com um elevado desempenho energético, dando para isso, destaque ao comportamento energético e à sua eficiência energética. Este também faz referência à política de QAI, considerando-se grande relevância à manutenção dos valores mínimos de caudais de ar novo, num determinado espaço, e dos limites de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior, de maneira a salvaguardar os níveis de proteção de saúde e bem-estar nos seus habitantes. Importa referir que, de forma a otimizar a eficiência energética e, a conseqüente redução de custos, no Edifício A utilizou-se apenas a ventilação natural, com a finalidade de fazer a renovação de ar dos espaços interiores. Posto isto, e de acordo com o REH, o caudal mínimo de ar novo que terá que ser assegurado de forma a conseguir assegurar a QAI foi de $16 \text{ m}^3/(\text{hora.pessoa})$.

Quanto ao Edifício B, este representou uma habitação do ano 2009, sendo que, à semelhança do que aconteceu no Edifício A, também este utilizou soluções construtivas tipo definidas pela

ADENE, com os respetivos níveis de isolamento usados na época da sua construção. Devido ao fato de este edifício usar um nível de isolamento inferior, quando comparado com o Edifício A, resultou numa maior troca de energia, por radiação, através da envolvente, tornando o edifício menos estanque. O regulamento térmico que se encontrava em vigor, aquando a construção do Edifício B, era o RCCTE:2006, ou seja, o segundo regulamento térmico usado em Portugal. Este regulamento foi o antecessor do REH, regulamento utilizado para o Edifício A, sendo este menos exigente com os coeficientes de transmissão térmicos, U, o que originou envolventes com menores níveis de isolamento, como referido anteriormente. Importa também referir que, o RCCTE:2006 foi o regulamento pioneiro, a nível nacional, a destacar a importância da QAI, considerando muito importante a manutenção dos valores mínimos de caudais de ar novo dos compartimentos e dos limites de proteção para a concentração de poluentes do ar interior, de forma a garantir os níveis de proteção da saúde e bem-estar dos seus ocupantes. Para tal, e sendo o Edifício B regido pelo RCCTE:2006, este tem de garantir um caudal mínimo de ar novo de $30 \text{ m}^3/(\text{hora.pessoa})$, de forma a que se consiga assegurar uma QAI aceitável. Foi possível verificar-se que, do Edifício B, que foi regido pelo RCCTE:2006, para o Edifício A, regido pelo REH:2013, os valores dos caudais mínimos de ar novo, necessários para assegurar uma QAI aceitável, quase passou para metade do valor, ou seja, passou dos $30 \text{ m}^3/(\text{hora.pessoa})$ para os $16 \text{ m}^3/(\text{hora.pessoa})$.

O edifício mais antigo dos três edifícios em estudo foi o Edifício C, sendo este representativo dos edifícios do início da década de 1990, mais especificamente, do ano de 1991. O Edifício C foi o que apresentou um nível de isolamento mais baixo nas soluções construtivas da sua envolvente, promovendo desta forma, maiores perdas de energia, por radiação, para a envolvente. Importa também salientar que as soluções construtivas, assim como o nível de isolamento utilizado para a sua envolvente, foram definidas de acordo com o determinado pela ADENE, para a respetiva época construtiva. O regulamento térmico que regeu o Edifício C foi o RCCTE:1990, o primeiro regulamento térmico a nível nacional, em que, pela primeira vez, os aspetos térmicos e energéticos no estudo e projetos de edifícios foram considerados, definindo requisitos mínimos para a envolvente dos mesmos. Mesmo sendo pouco exigente, o RCCTE:1990, encaminhou ao uso do isolamento térmico na construção, tendo este evoluindo até à atualidade. Ao contrário dos regulamentos utilizados no Edifício A e B, mais especificamente, o REH:2013 e o RCCTE:2006, o regulamento em vigor, aquando a construção do Edifício C, o RCCTE:1990, este não faz referência à necessidade de garantir uma QAI, pelo

que não tem nenhuma exigência no que aos caudais mínimos de ar novo diz respeito, sendo que este aspeto só começou a ser levado em conta no RCCTE:2006.

Ainda dentro deste capítulo apresentaram-se resultados, para os três edifícios em estudo, referentes aos ganhos solares, ao conforto dos ocupantes, as perdas pelas envolventes dos edifícios, e os consumos energéticos. Importa ainda referir que, durante as simulações consideraram-se valores constantes, no que diz respeito aos ganhos internos, ou seja, ganhos com a iluminação, ocupação e equipamentos, tendo estes um valor de 4 W/m².

5.1 Ganhos Solares

Os ganhos solares são um aspeto muito importante a ter em conta, uma vez que, estes podem ser bastante benéficos ou prejudiciais, no que toca à eficiência energética dos edifícios de habitação. Importa referir que a orientação e posição do edifício foi rigorosamente igual para as simulações dos diferentes edifícios, assim como a área dos envidraçados e dimensões das caixilharias.

Na Figura 31, estão representados os resultados das simulações, para os três edifícios em estudo, relativos aos ganhos solares.



Figura 31 - Ganhos solares mensais dos três edifícios em estudo

Com base nos resultados obtidos, e como previsível, os meses de verão são os que possuem valores mais elevados, para os três edifícios, pois a exposição solar é maior nesse período do ano, mesmo apesar das técnicas de sombreamento aplicadas nas janelas.

Fazendo uma análise mais cuidada, foi possível observar-se que existe uma grande diferença, ao nível dos ganhos solares, do Edifício B para os Edifícios A e C, diferença essa que foi mais destacada nos meses de verão. A explicação encontrada para esse fenómeno, prende-se com a escolha dos envidraçados para o Edifício B, pois estes possuem um fator solar mais baixo do que os demais, com um fator solar com cerca de 0,50, quando comparado com o fator solar do Edifício A (0,57) ou o Edifício C (0,62), o que originou com que a luz solar não conseguisse atravessar o envidraçado, não provocando o sobreaquecimento do mesmo, nos meses mais quentes. Esta solução de envidraçado do Edifício B foi em muito superior à dos Edifícios A e C nos meses de verão, uma vez que, ao ganhar menos energia solar, a necessidade de arrefecimento dos mesmos foi menor, logo a necessidade de consumo energético para o arrefecimento, que por sua vez, irá ser menor. Por outro lado, essa solução foi mais prejudicial nos meses de inverno, uma vez que, ao obter menos ganhos solares resultou num consumo mais elevado de energia para o aquecimento dos espaços habitacionais, quando comparado com os Edifícios A e C.

5.2 Conforto

O conforto dos ocupantes deve ser uma preocupação constante quando se projeta edifícios de habitação, uma vez que, as pessoas passam grande parte do seu tempo no seu interior. Para que esse conforto seja atingido, foi necessário ter em conta a temperatura interior das habitações, a temperatura operacional, assim como a humidade relativa.

Na Figura 32, estão apresentados os resultados obtidos das simulações, para os três edifícios em análise, referentes à temperatura interior das habitações.

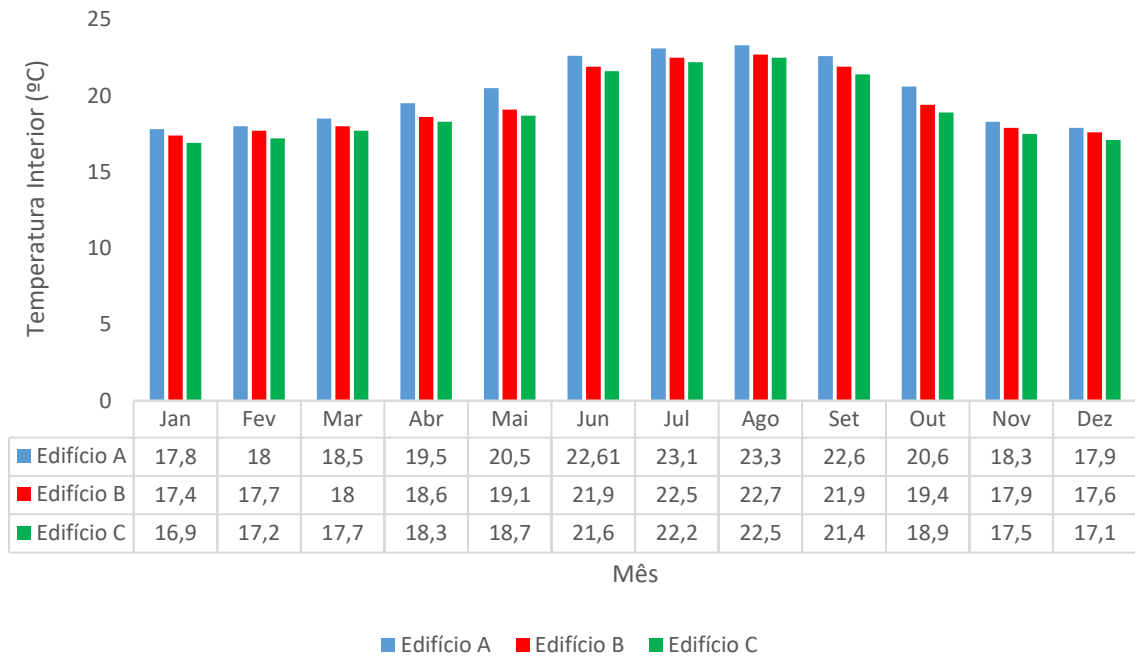


Figura 32 - Valores mensais da temperatura ambiente no interior dos três edifícios em estudo

Analisando a Figura 32, foi possível verificar que o edifício que tem as temperaturas ambiente interiores mais elevadas foi o Edifício A, como seria de esperar, isto devido ao facto de, as soluções construtivas serem melhores termicamente, pois estas têm de respeitar o regulamento em vigor, o REH de 2013.

Como já referido anteriormente, os três edifícios foram climatizados. A referida climatização, para os três edifícios, era acionada quando os valores das temperaturas eram inferiores a 18°C, nos meses mais frios, e quando a temperatura era superior a 28°C, nos meses de verão.

Posto isto, o Edifício A apresentou as temperaturas mais baixas nos meses de janeiro e dezembro, com uma temperatura interior aproximadamente de 18°C. Por outro lado, as temperaturas interiores máximas foram registadas nos meses de julho e agosto, tendo esse valor estar próximo dos 23°C e, visto que o intervalo no qual os ocupantes se encontram confortáveis está entre os 20°C e os 25°C, foi possível verificar-se que os ocupantes estão dentro das temperaturas de conforto.

Quanto ao Edifício B, as temperaturas mínimas registadas nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, em que estes registaram temperaturas interiores com aproximadamente 18°C, ou seja, a temperatura mínima da habitação climatizada. Por outro lado, as temperaturas

interiores mais elevadas foram nos meses de julho e agosto, sendo estas cerca de 22°C e, visto que o intervalo no qual os ocupantes se encontram confortáveis está entre os 20°C e os 25°C, foi possível verificar-se que os ocupantes estão dentro das temperaturas de conforto.

Já no Edifício C, e analisando a Figura 32, foi possível verificar-se que as temperaturas mais baixas estão situadas nos 18°C, a temperatura mínima de climatização, estando presente em quase meio ano, mais especificamente em cinco meses (janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro). Quanto às temperaturas interiores máximas verificadas no Edifício C, tiveram presentes nos meses de julho e agosto, sendo estas na ordem dos 22°C.

Na Figura 33, estão apresentados os valores das temperaturas operativas para os três casos de estudo. Importa referir que, a temperatura operativa tem em consideração as trocas de energia, por radiação e, devido a esse fato, a qualidade térmica da envolvente, para os três edifícios em análise, foi considerada.

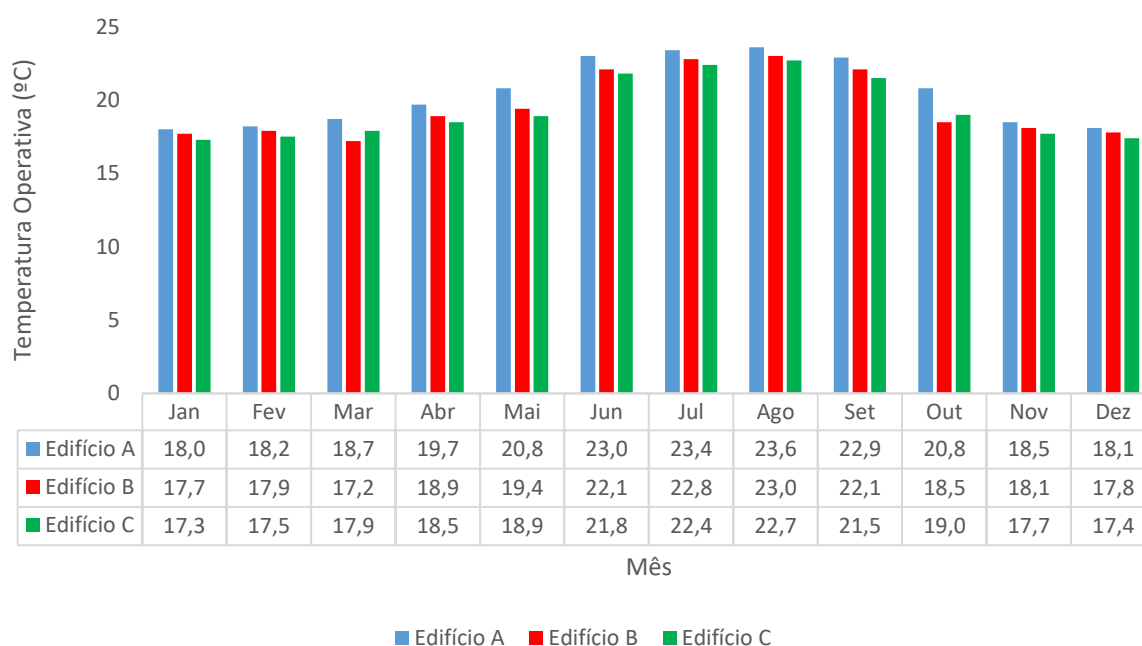


Figura 33 - Valores mensais da temperatura operativa dos três edifícios em estudo

Analisando a Figura 33 foi possível verificar que, o edifício que obteve as temperaturas operativas interiores mais elevadas foi o Edifício A, como seria de esperar, isto devido ao facto de este apresentar uma envolvente com maior qualidade térmica, de modo a cumprir os requisitos mais rigorosos, em termos de regulamentação energética, do REH de 2013. Existe

uma diferença notável, no que às soluções construtivas, nos três edifícios, diz respeito. Um exemplo disso foi o coeficiente de transmissão térmica superficial, U , da parede exterior do Edifício A foi de cerca de 48% menor do que o U da parede exterior do Edifício B, sendo que essa diferença foi mais considerável quando comparada com o Edifício C, ou seja, cerca de 76% menor.

Importa referir que, devido ao fato de se usar o mesmo sistema de climatização para os três edifícios, isto fez com que as temperaturas fossem muito similares e, um exemplo disso é a Figura 32. Foi possível verificar-se que, o Edifício C foi o que apresentou uma menor temperatura operativa, isto devido ao fato de ser no Edifício C que ocorrem mais trocas de energia, por radiação, com a envolvente, por este se encontrar com um menor nível de isolamento térmico. Por exemplo, quando se compara as temperaturas ambientes interiores do Edifício C, com as suas temperaturas operativas, para os meses de janeiro e agosto, meses com temperatura mais baixa e mais elevada, respetivamente, verificou-se que as temperaturas operativas foram superiores em cerca de 1%, para os dois meses em questão. Foi também possível verificar-se, na Figura 33, que os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro foram os meses que apresentam as temperaturas operativas mais baixas, sendo estas cerca de 18°C, temperaturas mínimas das habitações climatizadas. Por outro lado, os meses mais quentes são os meses de julho e agosto, com temperaturas operativas na ordem dos 22°C.

O Edifício A foi o que apresentou os resultados, relativos às temperaturas operativas, mais elevados. Esses resultados podem ser explicados pelo fato de, o Edifício A possuir as soluções construtivas, das envolventes, com maior qualidade térmica, o que dificulta as trocas de energia por radiação. Posto isto, e analisando a Figura 33, o Edifício A apresentou a temperatura operativa mais baixa no mês de janeiro, com cerca de 18°C, temperatura mínima devido à climatização. Por outro lado, as temperaturas operativas interiores máximas foram registadas nos meses de julho e agosto, com cerca de 23°C.

Quanto ao Edifício B, este apresentou menores trocas de energia por radiação através da envolvente, em comparação com o Edifício C, isto pelo fato de, o Edifício B ter um nível de isolamento mais elevado nas soluções construtivas utilizadas pela sua envolvente, o que lhe conferiu uma maior estanquidade. Por outro lado, quando se compara o Edifício B com o Edifício A, o comportamento foi o oposto do caso anterior, ou seja, devido ao Edifício A possuir um nível de estanquidade superior ao do Edifício B, este permitiu que houvesse menos trocas

de energia, por radiação, com a envolvente. Resta ainda referir que, as temperaturas mais baixas foram registadas nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro, com temperaturas operativas na ordem dos 18°C, temperatura mínima do edifício climatizado. Por outro lado, as temperaturas operativas interiores mais elevadas foram registadas nos meses de julho e agosto, sendo estas na ordem dos 22°C.

Quando se aborda o tema de conforto térmico, não é possível obter conclusões apenas com os valores da temperatura operativa no interior das habitações, pois a humidade relativa é, também ela, muito importante para o conforto dos habitantes. Esses valores, referentes à humidade relativa, devem ser limitados aos valores de referência, ou seja, valores entre os 40 e 60%, isto numa situação ideal, podendo chegar a um intervalo de 30 e 70% sem que provoque desconforto nos ocupantes.

Na Figura 34, é possível observar-se os resultados obtidos, referentes à humidade relativa, das simulações realizadas, para os três edifícios em análise.

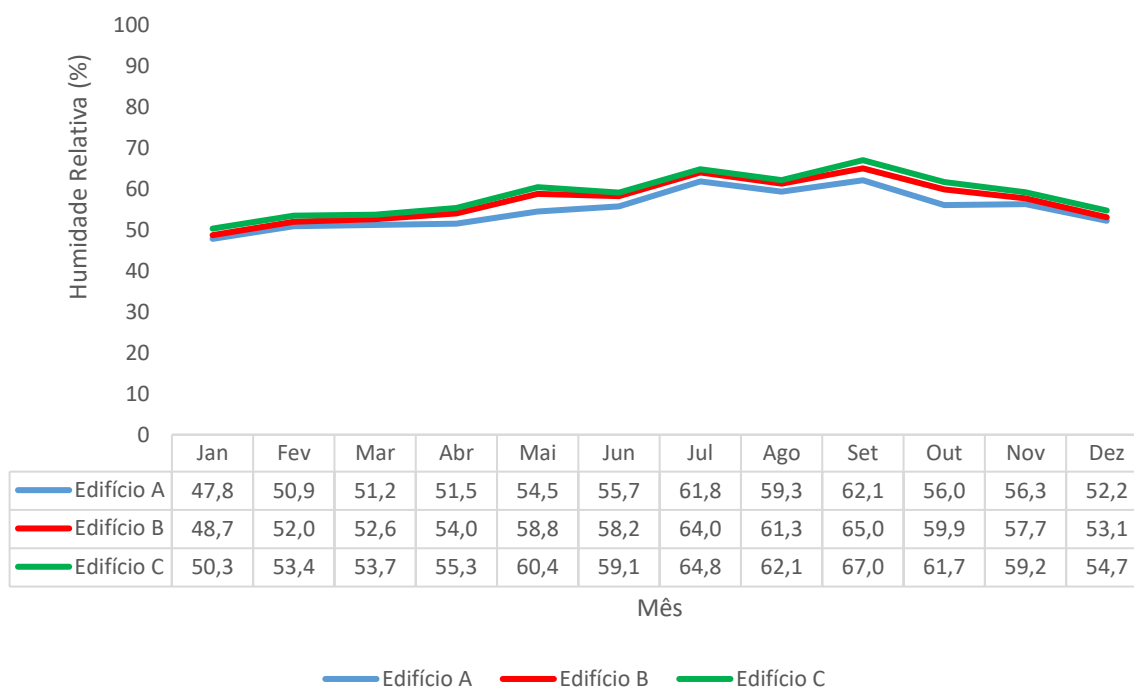


Figura 34 - Valores obtidos referentes à humidade relativa, para os três edifícios em estudo

Analisando a Figura 34, foi possível verificar que os maiores valores registados, para os três casos de estudo, foram obtidos nos meses mais quentes, ao invés dos meses mais frios, o que seria mais espectacular. Isso acontece devido ao facto de, nos meses de inverno ser utilizado o aquecimento, o que resulta num decréscimo da humidade relativa. Por outro lado, os meses onde se registaram os valores mais elevados de humidade relativa foram os meses mais quentes. Esta situação pode ser explicada devido ao facto de as janelas estarem abertas por maiores períodos de tempo, com a finalidade de renovar o ar viciado do interior das habitações por ar novo.

Com base nos resultados anteriores, foi possível obter os resultados de conforto, por parte dos ocupantes da habitação, através do Voto Médio Previsto, PMV (*Predicted Mean Vote*), como se pode verificar na Figura 35.

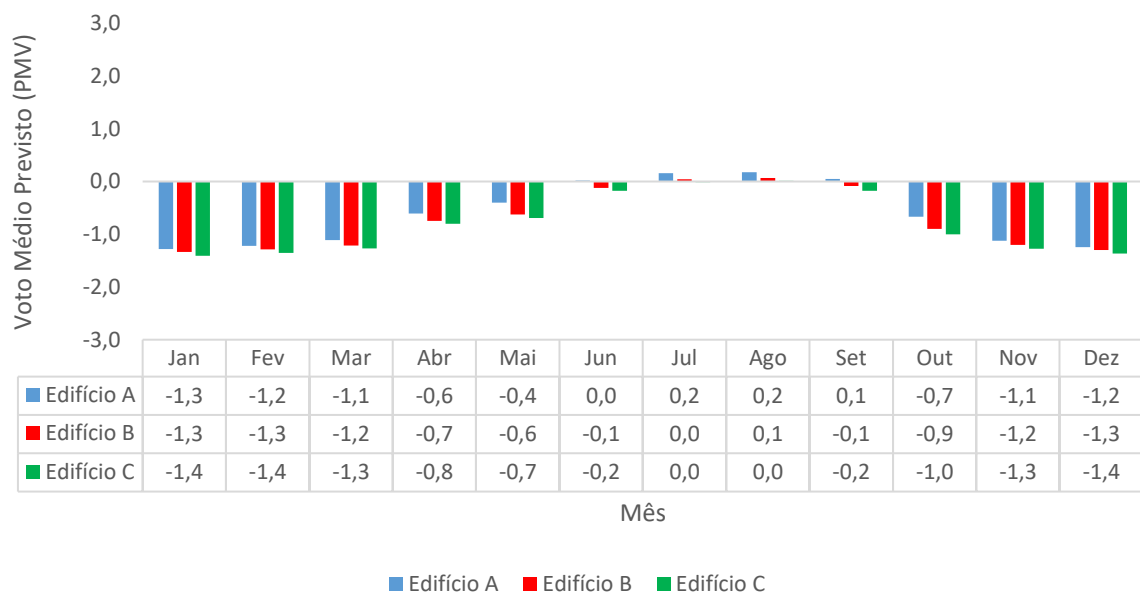


Figura 35 - Valores mensais, referentes ao PMV, para os três edifícios em análise

Analisando a Figura 35, foi possível verificar-se que, os ocupantes estiveram numa situação de conforto nos meses de Abril a outubro, pois os seus valores encontram-se situados entre -1 e 1. Todos os restantes meses apresentaram valores que provocaram desconforto térmico nos ocupantes, sendo que esse desconforto deveu-se ao facto de, em grande parte, se utilizar uma temperatura ambiente mínima de 18°C, valor mínimo adotado para os três edifícios climatizados, ao invés dos 20°C, como definido para o limite inferior de conforto para situações de atividade sedentária. Essa situação fez com que os ocupantes sentissem um ligeiro

desconforto, pois os valores encontravam-se compreendidos entre o -2 e -1, sentindo um ambiente ligeiramente frio.

5.3 Ventilação Natural

A ventilação natural foi o único método usado para a ventilação dos edifícios simulados. É fundamental que estes tenham um desempenho adequado, pois têm a função de renovar o ar dos diversos compartimentos de um edifício. O objetivo desta ventilação é remover o ar viciado, ou melhor dizendo, poluído, por ar exterior com melhor qualidade e, desta forma, melhorar a percepção dos ocupantes e, claro, melhorar a QAI.

Nas simulações realizadas, com recurso ao DesignBuilder, para os três edifícios em estudo, usaram-se as taxas de renovações mínimas de ventilação de $0,4 \text{ h}^{-1}$, para os meses de inverno, o que significa que o volume de ar do espaço é renovado 0,4 vezes numa hora, e de $0,6 \text{ h}^{-1}$, para os meses de verão, o que significa que o volume de ar do espaço é renovado 0,6 vezes numa hora. Posto isto, pelo fato de os três edifícios em estudo possuírem cerca de $253,8 \text{ m}^3$, quer dizer que, nos meses de inverno, no mínimo, devem ser renovados cerca de $101,5 \text{ m}^3$ por hora, correspondendo a 28,2 l/s. Por outro lado, nos meses de verão, terão que ser renovados, no mínimo, cerca de $152,2 \text{ m}^3$ por hora, o que corresponde a 42,3 l/s.

Devido ao fato dos três edifícios serem de épocas completamente distintas, com exigências regulamentares diferentes, as soluções construtivas das suas envolventes foram, também elas, diferentes, sendo estas definidas pelas soluções-tipo descritas pela ADENE. Uma das diferenças mais notáveis, dos diferentes regulamentos térmicos aplicados aos edifícios em estudo, prende-se com os diferentes valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial (U) que, desde 1990, ano do primeiro regulamento térmico a entrar em vigor em Portugal, têm sido cada vez mais baixos, o que resultou numa melhoria significativa das suas envolventes. Um exemplo claro dessa situação, para as paredes exteriores, o valor do U, no regulamento de 1990, tinha um valor máximo de $1,6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para $0,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, valor do regulamento atualmente em vigor, o REH:2013, valor esse que é cerca de 4 vezes inferior. Posto isto, com os valores de U a baixarem gradualmente, nos diversos regulamentos implementados a nível nacional, fez com que os edifícios se tornassem cada vez mais estanques, dificultando, desta forma, as trocas de

energia entre o interior e o exterior da habitação, fazendo com que as taxas de ventilações indesejadas, ou seja, as infiltrações, diminuíssem.

O Edifício A foi o que apresentou a envolvente mais estanque, dos três edifícios em análise, pois este foi regido pelo REH:2013, ou seja, o regulamento atualmente em vigor e com os valores de U máximos mais baixos, utilizando, para o efeito, elevados níveis de isolamento térmico. Devido a esse fato, o Edifício A foi o que obteve os valores de infiltrações, através da sua envolvente, mais baixos, dificultando, desta forma, a renovação do ar interior. A ventilação do Edifício A foi realizada através do método de tubos enterrados, o que permitiu que o ar no interior dos compartimentos dos edifícios fosse renovado sem existir a necessidade de abrir janelas, que eventualmente poderiam deixar os ocupantes desconfortáveis com as possíveis correntes de ar, e claro, através das infiltrações da envolvente exterior, apesar desta ser bastante reduzida. Utilizando este sistema, os ocupantes podem controlar mais facilmente as aberturas de injeção de ar e minimizar o desconforto com as aberturas das janelas, nos meses mais frios. Quanto aos meses de verão, os métodos de ventilação utilizados para esses períodos foram os tubos enterrados, à semelhança do que acontecia nos meses de inverno, com o acréscimo da ventilação proveniente das aberturas das janelas, e claro, das infiltrações, apesar de reduzidas. A elevada estanquidade verificada no Edifício A, para além de dificultar as renovações de ar interior, dificulta também a garantia da QAI que, de acordo com o estipulado no REH:2013, o caudal mínimo de ar novo deve ser na ordem dos $16 \text{ m}^3/(\text{hora.pessoa})$, o que corresponde a cerca de 4,4 l/s por pessoa. Como a tipologia do Edifício A foi um T2, existindo três pessoas a viver no edifício, o que quer dizer que, para que a QAI seja assegurada foi necessário uma taxa de ventilação de $48 \text{ m}^3/\text{hora}$, o que significa que, em cada compartimento, devem ser renovados cerca de 13,3 l/s.

Quanto ao Edifício B, este foi um edifício que foi regido pelo RCCTE:2006, regulamento que se encontrava em vigor à data da sua construção e, devido a esse fato, a sua envolvente apresenta um valor de U ligeiramente mais elevado do que o Edifício A, por exemplo, cerca de 1,5 vezes maior no caso das paredes exteriores. Devido a esse fato, um maior valor de U resultou numa maior troca de energia entre o interior e o exterior, através da sua envolvente, verificando-se uma taxa de infiltração superior à do Edifício A. Essa admissão de ar indesejado foi benéfica, por um lado, visto que ajudou na renovação de ar interior, e conseqüente melhoria da QAI mas, por outro lado, foi prejudicial quando se fala em eficiência energética, pois não conseguiu reter a energia no seu interior. A ventilação do Edifício B foi realizada através do método de tubos

enterrados, à semelhança do que aconteceu no Edifício A, o que permitiu que o ar no interior dos compartimentos dos edifícios fosse renovado sem existir a necessidade de abrir janelas que, eventualmente, poderiam deixar os ocupantes desconfortáveis com as possíveis correntes de ar, e claro, através das infiltrações da envolvente exterior. Utilizando este sistema, os ocupantes podem controlar mais facilmente as aberturas de injeção de ar e minimizar o desconforto com as aberturas das janelas, nos meses mais frios. Quanto aos meses de verão, os métodos de ventilação utilizados para esses períodos foram os tubos enterrados, à semelhança do que acontecia nos meses de inverno, com o acréscimo da ventilação proveniente das aberturas das janelas, e claro, das infiltrações. De acordo com o definido pelo RCCTE:2006, foi necessário usar um caudal de ar novo de ventilação mínimo de $30 \text{ m}^3/(\text{hora.pessoa})$, correspondendo a 8,3 l/s por pessoa, com o intuito de assegurar a QAI, ou seja, praticamente o dobro do que estipulado pelo atual regulamento, o REH:2013. À semelhança do que aconteceu no Edifício A, no Edifício B também se verificou que se tratava de um T2, existindo 3 pessoas a habitar no Edifício B, o que resulta num caudal mínimo de $90 \text{ m}^3/\text{hora}$, correspondendo a, no mínimo, a 25 l/s, com a finalidade de assegurar a QAI.

Para o Edifício C, o mais antigo dos edifícios em estudo, este foi o que apresentou a envolvente com pior qualidade térmica, pois foi regido pelo RCCTE:1990. A baixa qualidade da envolvente deveu-se ao fato de os valores máximos permitidos para o U, pelo RCCTE:1990, serem bastante elevados, o que promoveu excessivas trocas de energia entre o interior e o exterior, assim como uma maior taxa de infiltrações, através da sua envolvente. A admissão de ar não desejado, ou seja, as infiltrações, ajudam, por um lado, a renovar o ar no seu interior, promovendo a entrada de ar novo vindo do exterior e removendo o ar poluído, assim como assegurar a QAI mas, por outro lado, tornou-se prejudicial na eficiência energética, mais especificamente, na climatização do mesmo. Quanto à ventilação do Edifício C, essa foi efetuada recorrendo-se à abertura de janelas e, claro, através das suas elevadas taxas de infiltrações. Ainda no regulamento, este não faz qualquer referência ao caudal de ventilação mínimo com a finalidade de assegurar a QAI.

Na Figura 36, estão representados os resultados referentes às perdas mensais de energia devido às infiltrações, para cada um dos três edifícios em estudo.

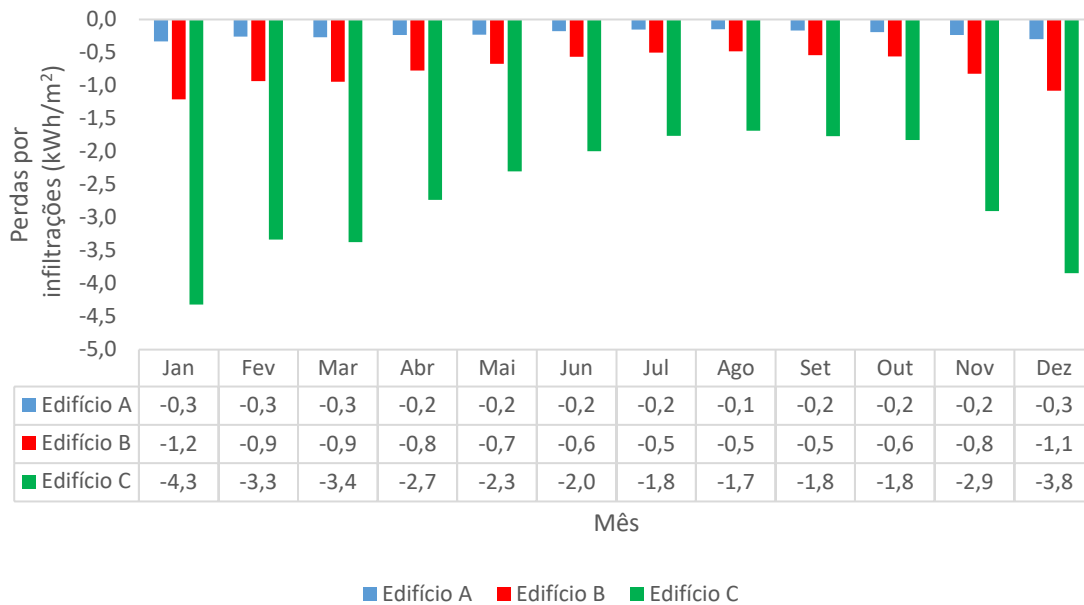


Figura 36 - Perdas de energia por infiltração, para os três edifícios em análise

Como se pode verificar pela Figura 36, o Edifício C foi o que obteve as maiores perdas por infiltrações pela sua envolvente, como já seria de esperar, visto que, foi o que apresentou a envolvente com menor qualidade térmica. Por outro lado, o Edifício A foi o que registou as menores perdas por infiltrações, isto devido à elevada estanquidade da sua envolvente exterior, apresentando valores constantes e residuais. Os meses em que se verificaram os maiores valores com as perdas por infiltrações foram os meses de janeiro e dezembro, para os três edifícios em análise.

Quanto ao Edifício A este foi o que apresentou as menores perdas por infiltrações, dos três edifícios em análise, como já referido anteriormente. Os valores das referidas perdas por infiltrações, ao longo do ano, foram pouco significativas, sendo estas na ordem dos 0,2 kWh/m².

Por outro lado, os valores registados para o Edifício B foram mais expressivos, quando comparados com as perdas relativas ao Edifício A. Esse acréscimo de perdas deveu-se ao fato da estanquidade da envolvente do Edifício B ser menor do que a do Edifício A, promovendo, desta forma, mais infiltrações. Os maiores valores registaram-se nos meses de inverno, sendo os meses de janeiro e dezembro os que apresentaram maiores perdas por infiltrações, com valores na ordem dos 1,2 kWh/m² e 1,1 kWh/m², respetivamente. Quanto aos meses de verão, os valores foram mais baixos, praticamente para metade, sendo que os meses em que se

verificaram as menores perdas por infiltrações foram os meses de julho, agosto e setembro, obtendo-se um valor na ordem dos 0,5 kWh/m².

Quanto ao Edifício C, este foi o que apresentou os piores resultados, em termos de infiltrações, registando valores exorbitantes quando comparados com os do Edifício A e o Edifício B. Há semelhança do que acontece com os Edifícios A e B, também o Edifício C obteve as maiores perdas de energia nos meses de janeiro e dezembro, com valores na ordem dos 4,3 kWh/m² e 3,8 kWh/m², respetivamente. Comparando estes valores com os valores obtidos nos outros dois edifícios em análise, é possível verificar-se que, as perdas por infiltrações no Edifício C foram cerca de 72% superiores em comparação com o Edifício B e cerca de 92% superiores quando comparado com o Edifício A. Posto isto, foi possível verificar-se que, o Edifício C obteve um desempenho que ficou muito aquém, quando comparado com os demais edifícios, pois a sua envolvente foi a menos estanque.

Na Figura 37, estão representados os resultados referentes às perdas anuais de energia devido às infiltrações, para cada um dos três edifícios em estudo.

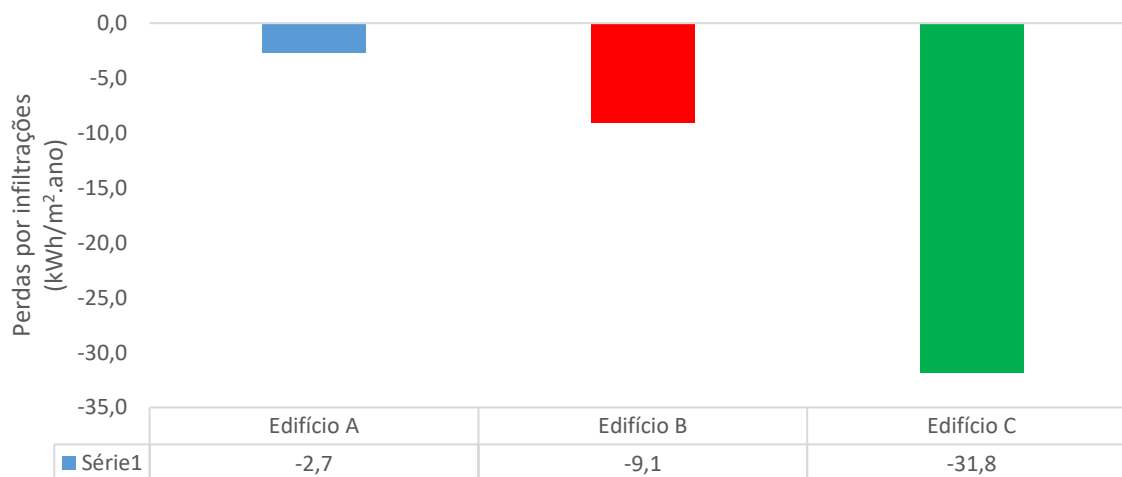


Figura 37 - Perdas anuais de energia por infiltrações, para os três edifícios de habitação

Como se pode verificar pela Figura 37, e ao encontro dos resultados anteriormente obtidos, o Edifício C foi o que obteve mais infiltrações, resultando numa perda anual em cerca de 31 kWh/m².ano, ao passo que, no Edifício B as referidas perdas foram bastante menores, cerca de 9,1 kWh/m².ano, ou seja, cerca de 71% mais baixas. Por último, o Edifício A foi o mais estanque

dos três em análise, cerca de 2,7 kWh/m².ano, cerca de menos 92% de perdas por infiltrações do que o Edifício C.

Na Figura 38, estão representados os resultados mensais referentes às perdas de energia por ventilação, para os três edifícios em estudo.

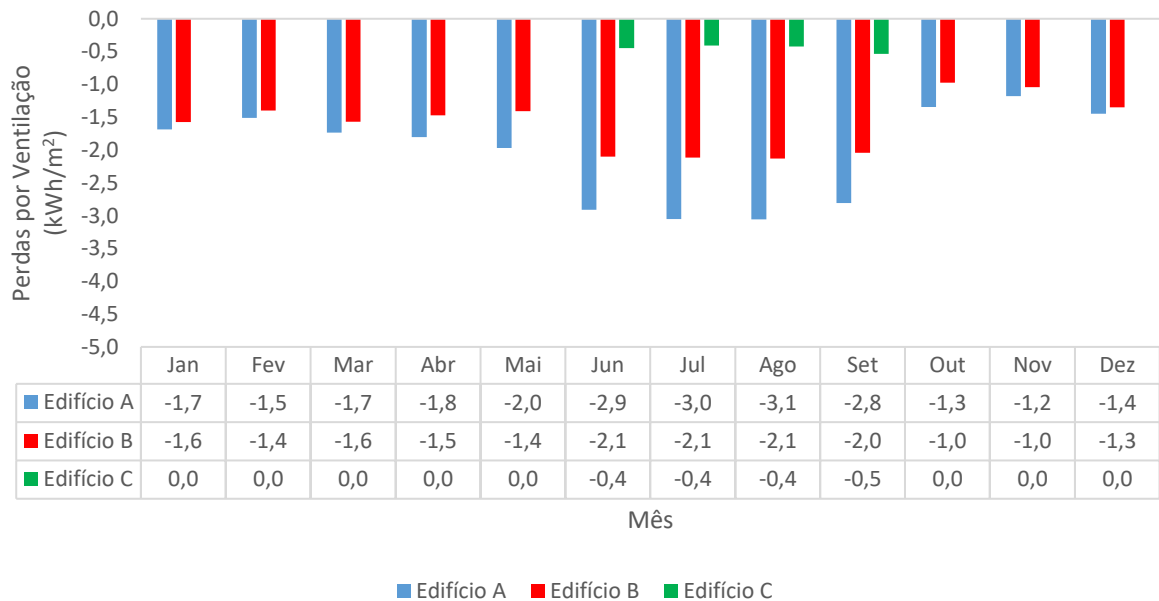


Figura 38 - Perdas de energia por ventilação, para os três edifícios em estudo

Na Figura 38, foi possível observar-se que o Edifício A foi o que registou as maiores perdas de energia por ventilação, sendo que os meses em que se registaram as perdas mais elevadas foram os meses de verão, como já seria de esperar, visto que, foi o período do ano em que as janelas se encontram abertas por mais tempo, promovendo, desta forma, maiores perdas de energia.

Quanto ao Edifício A este foi o que obteve as maiores perdas por ventilação, como já referido anteriormente, sendo os meses de julho e agosto os mais críticos, registando valores na ordem dos 3,0 kWh/m² e 3,1 kWh/m², respetivamente. Como a envolvente do Edifício A foi a mais estanque, dos três edifícios em análise, já seria de esperar que os valores referentes às perdas de energia, através da ventilação, fossem as mais elevadas, uma vez que, esta foi a única forma de permitir trocas de energia entre o interior e o exterior da habitação. Os valores destas perdas foram maiores no verão do que no inverno devido ao fato de as janelas se encontrarem abertas por maiores períodos de tempo, o que ajudou a promover as referidas perdas por ventilação.

Por outro lado, nos meses de inverno, verificou-se uma diminuição dessas perdas, sendo o mês de novembro o que obteve as menores perdas por ventilação, cerca de 1,2 kWh/m².

Os valores das perdas por ventilação, no Edifício B, foram ligeiramente mais baixas quando comparadas com os valores do Edifício A, sendo essa diferença mais notável nos meses de verão, junho, julho e agosto, em que os valores foram cerca de 0,7 vezes superiores. Quanto aos meses de inverno, os valores obtidos para o Edifício B foram muito similares aos valores registados para o Edifício A.

Quanto ao Edifício C, este foi o que registou as menores perdas por ventilação, uma vez que, como a sua envolvente foi a menos estanque dos três edifícios em estudo, com uma diferença considerável, permitiu que as perdas de energia fossem mais generalizadas, ou seja, as perdas de energia desta habitação foram distribuídas pelas paredes exteriores, janelas, coberturas, pavimentos, o que fez com que se registassem valores mais baixos quando se refere às perdas por ventilação. Por outro lado, o edifício mais estanque, ou seja, o Edifício A, foi o que obteve as perdas por ventilação mais elevadas, uma vez que, como a sua envolvente praticamente não permite perdas de energia, ou foram perdas muito baixas, as perdas por ventilação foram as mais destacadas, sendo concentradas somente nas perdas por ventilação. As maiores perdas por ventilação registaram-se nos meses de verão, sendo o mês mais crítico o mês de setembro, tendo-se registado uma perda de cerca de 0,5 kWh/m².

Na Figura 39, estão representados os resultados anuais referentes às perdas de energia por ventilação, para os três edifícios em estudo.

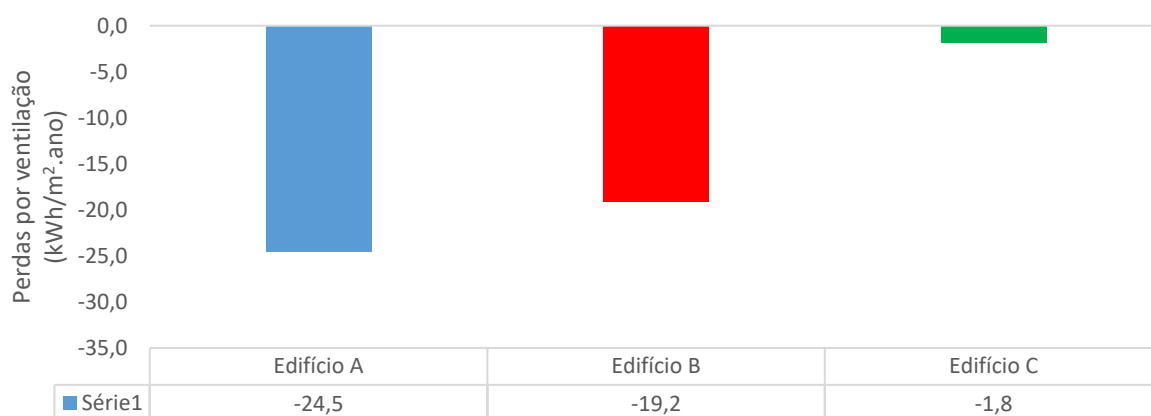


Figura 39 - Perdas anuais de energia por ventilação, para os três edifícios

Com base nos resultados obtidos na Figura 39, o que se verificou foi que o Edifício A foi o que obteve as perdas mais elevadas, com cerca de 24,5 kWh/m².ano, valor ligeiramente superior ao Edifício B, com uma perda na ordem dos 19,2 kWh/m².ano, ou seja, cerca de 22% mais elevado. No que ao Edifício C diz respeito, as perdas registadas foram bastante mais baixas, com cerca de 1,8 kWh/m².ano, ou seja, valor cerca de 93% mais baixo.

5.5. Perdas e Ganhos pela Envolvente

Uma parte das perdas ou ganhos de energia ocorrem através da envolvente exterior, dependendo, claro, da qualidade das soluções construtivas desses mesmos elementos. Os resultados, a seguir apresentados, dizem respeito às perdas ou ganhos de energia, através da envolvente, para cada um dos três edifícios em análise.

Na Figura 40, estão representados os resultados referentes às perdas de calor, através das paredes exteriores, para os três edifícios em estudo.

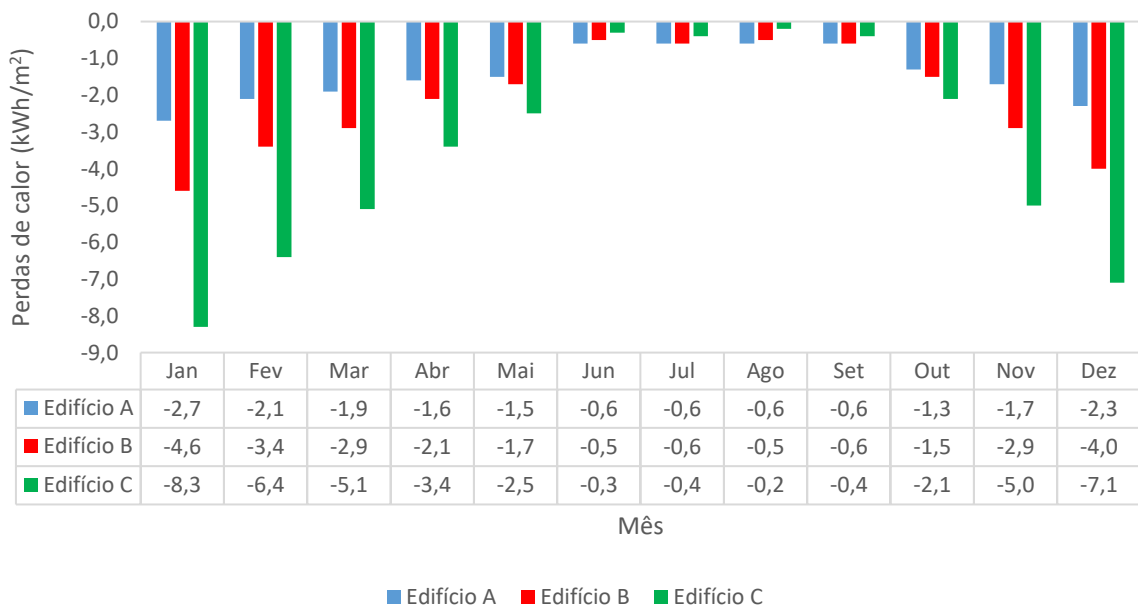


Figura 40 - Perdas de calor através das paredes exteriores para os três edifícios em estudo

Na Figura 40 foi possível observar-se que, existe uma grande diferença, nas perdas de energia pelas paredes exteriores, para os três edifícios em estudo. Em geral, as maiores perdas de energia, através das paredes exteriores, aconteceram nos meses de inverno, como espectável,

com especial atenção para os meses de janeiro, fevereiro e dezembro, onde esses valores se destacaram para as diferentes soluções construtivas de paredes exteriores.

Comparando os três edifícios em análise, foi possível verificar-se que o edifício com um nível de isolamento mais elevado, ou seja, o Edifício A, foi o que possuiu as menores perdas através das paredes exteriores. Em contrapartida, o edifício com os níveis de isolamento térmico mais baixos, ou seja, o Edifício C, foi o que registou os valores mais elevados, no que às perdas de calor diz respeito.

Posto isto, a parede exterior que apresentou o melhor desempenho foi, como seria expectável, a do Edifício A. Esta obteve as maiores perdas de energia nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro, em que, as referidas perdas foram superiores a 2 kWh/m^2 , obtendo-se $2,7 \text{ kWh/m}^2$, $2,1 \text{ kWh/m}^2$ e $2,3 \text{ kWh/m}^2$, respetivamente. Em sentido inverso, nos meses de verão, as perdas foram muito mais baixas, obtendo-se valores próximos de $0,6 \text{ kWh/m}^2$, nos meses de julho e agosto e, por essa razão, de verão o calor permanece no interior do edifício, resultando numa maior necessidade energética para o arrefecimento e numa menor necessidade energética para o aquecimento nos meses de inverno.

Quanto ao Edifício B, as perdas de energia foram muito superiores às verificadas no Edifício A, para os meses de inverno, diferença essa que se foi diluindo à medida que as temperaturas exteriores foram aumentando. À semelhança do que aconteceu no Edifício A, os meses mais críticos foram os meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro, com $4,6 \text{ kWh/m}^2$, $3,4 \text{ kWh/m}^2$ e 4 kWh/m^2 , respetivamente. De destacar que nos meses de julho, agosto e setembro verificou-se uma perda de energia menor do que no Edifício A, mesmo apesar dessa diferença ser diminuta.

Quanto à solução construtiva da parede exterior, do Edifício C, esta foi a que apresentou as maiores perdas de energia, perdas essas que chegaram mesmo a ser 3 vezes superiores quando comparadas com as perdas registadas no Edifício A, o que revelou uma fragilidade, da solução construtiva no Edifício C, em reter a energia no seu interior.

Na Figura 41, estão representados os ganhos e perdas através dos envidraçados, para os três casos de estudo.

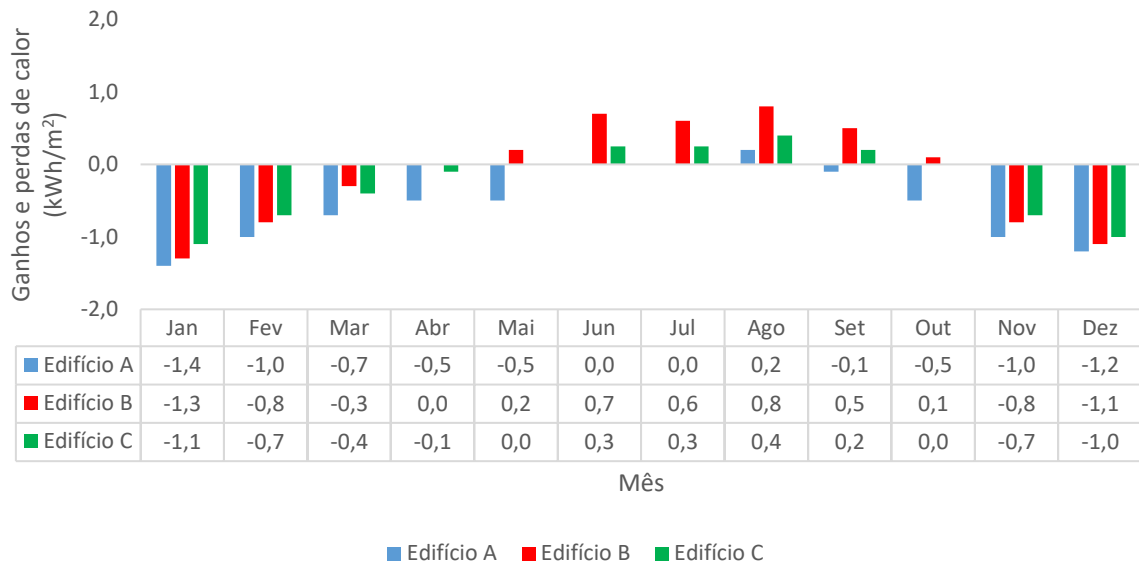


Figura 41 - Resultados dos ganhos e perdas de energia através dos envidraçados

Comparando os três edifícios em estudo, foi possível verificar-se que, nos meses mais frios, os envidraçados que apresentaram as maiores perdas, foram os envidraçados do Edifício A. Em situação oposta, nos meses de verão, o que se verificou foi que, os envidraçados do Edifício B obtiveram os maiores ganhos.

Posto isto, e analisando os resultados da Figura 41, foi possível observar-se que, ao contrário do que seria expectável, os envidraçados do Edifício A foram os que apresentaram piores resultados, a nível de perdas pelos envidraçados. Apesar das janelas do Edifício A serem compostas por caixilharia em alumínio com corte térmico, utilizar vidro duplo, entre outros aspetos, esta solução apresentou, em praticamente todo o ano, uma perda elevada de energia, sendo o mês de agosto o único que contrariou essa tendência. Também foi no Edifício A que se verificaram as perdas mais elevadas, estando as mesmas situadas nos meses de inverno, mais especificamente nos meses de janeiro e dezembro, com uma perda de 1,4 kWh/m² e 1,2 kWh/m², respetivamente.

Quanto ao Edifício B, este apresentou perdas mais significativas nos meses de janeiro e dezembro, sendo de 1,3 kWh/m² e 1,1 kWh/m², situação que foi invertida nos meses de verão, em que se verificaram ganhos nos meses de junho, julho, agosto e setembro, sendo 0,7 kWh/m², 0,6 kWh/m², 0,8 kWh/m² e 0,5 kWh/m², respetivamente.

Nos envidraçados do Edifício C, a situação foi semelhante, sendo que os meses mais críticos em que se verificaram os maiores ganhos foram os meses de janeiro e dezembro, com 1,1 kWh/m² e 1 kWh/m², respetivamente. Por outro lado, os meses de junho, julho, agosto e setembro obtiveram um ganho energético de 0,3 kWh/m², 0,3 kWh/m², 0,4 kWh/m² e 0,2 kWh/m², respetivamente.

Na Figura 42, estão representados os ganhos e perdas que ocorreram através da cobertura, para os três casos de estudo.

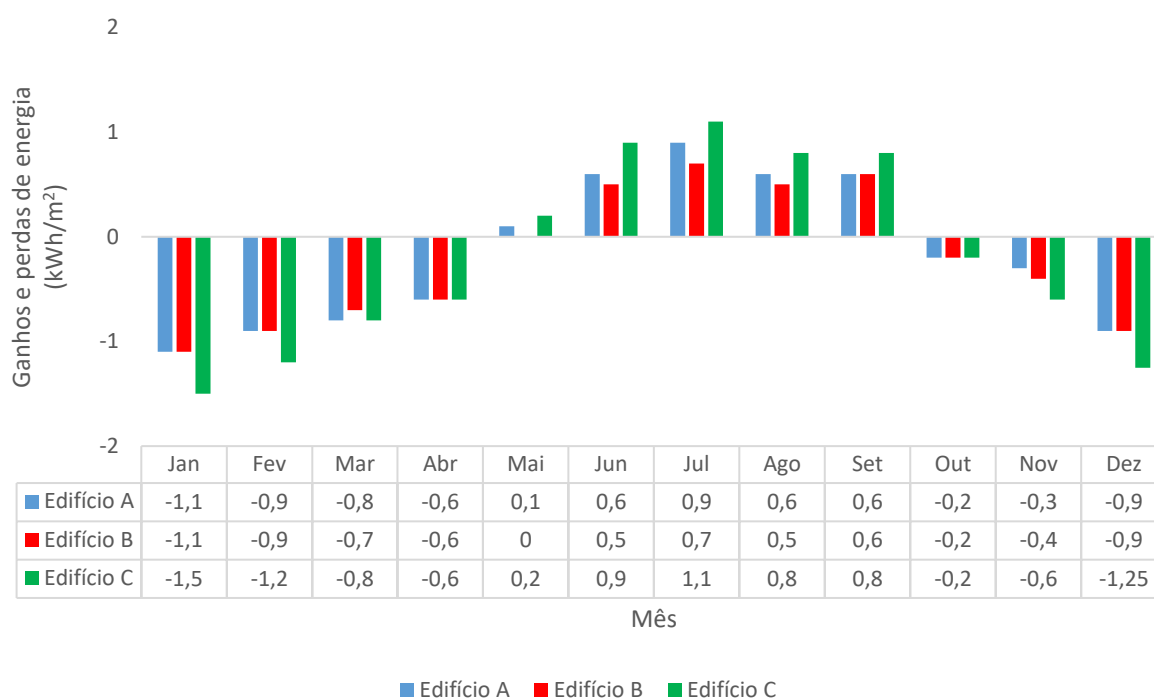


Figura 42 - Resultados dos ganhos e perdas de energia, através de cobertura, para os três edifícios em estudo

Com base nos resultados da Figura 42, foi possível verificar-se que a solução construtiva de cobertura do Edifício C foi a que apresentou perdas mais elevadas, que ocorreram durante o inverno, mas também, foi o que obteve maiores ganhos no verão, o que fez aumentar a amplitude térmica do edifício em causa, contribuindo, desta forma, para um consumo mais elevado de energia para a sua climatização. Os referidos ganhos e perdas elevadas de energia, através da cobertura do Edifício C, foram resultado do baixo nível de isolamento implementado na sua solução construtiva, o que resultou em valores muito divergentes, quando comparados com as soluções construtivas de coberturas no Edifício A e B.

Quanto ao Edifício A, este foi o que apresentou os níveis de isolamento mais elevados, o que lhe conferiu uma estanquidade aceitável, resultando em menores trocas de energia, por radiação, com a sua envolvente. Este obteve as perdas de energia mais elevadas nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro, meses em que é expectável uma temperatura exterior mais baixa, com valores de 1,1 kWh/m², 0,9 kWh/m² e 0,9 kWh/m², respetivamente. Quanto aos ganhos registados, o mês em que esse valor foi mais elevado foi no mês de julho, 0,9 kWh/m².

No Edifício B, os resultados foram bastante similares aos do Edifício A, apesar dos níveis de isolamento serem um pouco menores, registando o valor de perda máximo no mês de janeiro, 1,1 kWh/m², e o ganho máximo no mês de julho, 0,7 kWh/m².

Quanto ao Edifício C, este foi o que obteve piores resultados. O fraco desempenho desta envolvente do Edifício C, pode ser explicado pelo fato de os níveis de isolamento térmico serem mais baixos dos três edifícios em análise. Esse baixo nível de isolamento térmico resultou numa elevada troca de energia, através de radiação, com a cobertura do Edifício C, sendo esta incapaz de reter a energia no seu interior. Ainda na Figura 38, verificou-se que a maior perda foi registada no mês de janeiro, com um valor na ordem dos 1,5 kWh/m², e um ganho máximo, registado no mês de julho, com cerca de 1,1 kWh/m².

Na Figura 43, estão representadas as perdas, através do pavimento, para os três casos de estudo.

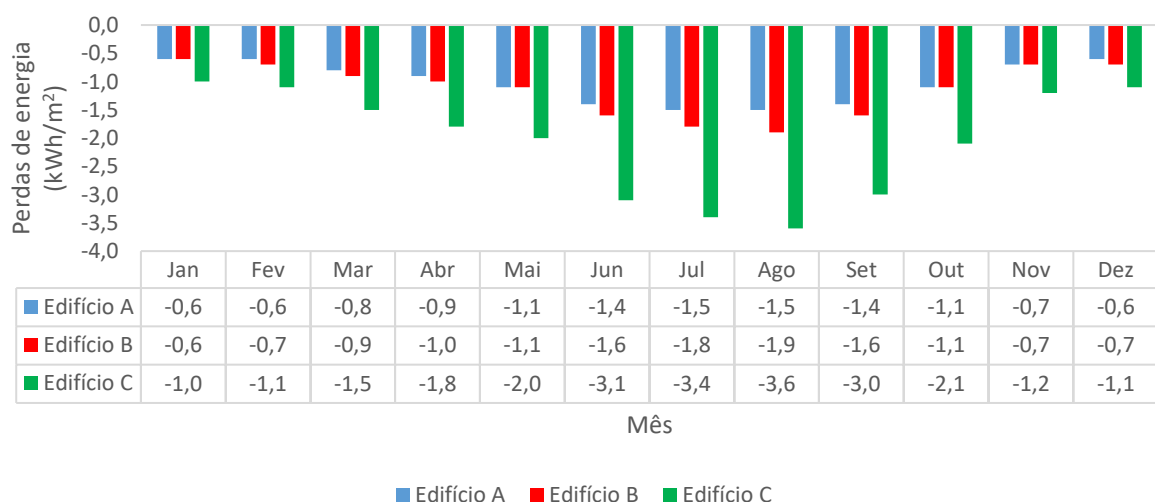


Figura 43 - Resultados das perdas de energia através do pavimento para os três edifícios em estudo

Com base nos resultados apresentados na Figura 43, foi possível constatar-se que, a solução construtiva, de pavimento do Edifício C, foi a que apresentou perdas mais elevadas, quando comparadas com as dos Edifícios A e B. Essas perdas podem ser explicadas pelo fato de, a solução construtiva de pavimento do Edifício C, foi a que apresentou um nível de isolamento mais baixo, permitindo desta forma, uma maior troca de energia, por radiação, com a sua envolvente. Importa referir que os valores apresentados pelo Edifício C, na Figura 39, foram bastante elevados, quando comparados com os Edifícios A e B, quase o dobro.

Quanto ao Edifício A, este apresentou as menores perdas de energia ao longo do ano, conferindo-lhe uma maior estanquidade, retendo, desta forma, mais energia no seu interior. A referida retenção deveu-se ao fato de os níveis de isolamento térmico serem os mais elevados dos três edifícios em estudo, de forma a estar de acordo com o regulamento em vigor na época da sua construção, REH:2013. As perdas mais críticas tiveram lugar nos meses de verão, mais especificamente, nos meses de junho, julho, agosto e setembro, com valores de 1,4 kWh/m², 1,5 kWh/m², 1,5 kWh/m² e 1,4 kWh/m², respetivamente.

No Edifício B, o comportamento foi bastante similar ao do Edifício A, apresentando perdas um pouco superiores, explicadas pelo fato de o nível de isolamento térmico ser um pouco inferior, sendo o mês de agosto onde se verificou a maior perda, 1,9 kWh/m².

Quanto ao Edifício C, este foi o que apresentou perdas mais elevadas, o que revela perfeitamente a incapacidade da solução construtiva em conseguir reter a energia no seu interior, pelas razões referidas anteriormente. Exemplo disso foi, no mês de agosto, onde a perda de energia tomou valores a rondar os 3,6 kWh/m², sendo essa perda superior em cerca de 2,33 vezes, relativamente ao Edifício A e 1,90 vezes relativamente ao Edifício B.

5.6. Consumos Energéticos

Os consumos energéticos dos edifícios em análise destinam-se, na sua maioria, ao aquecimento dos espaços interiores das habitações. Apesar desses consumos, também se pode verificar que existem gastos com o arrefecimento das habitações, entre outros. Também foi feita referência aos sistemas utilizados para reduzir a fatura energética, como por exemplo, sistemas solares

térmicos, painéis solares fotovoltaicos conectados à rede, sistemas de sombreamentos, entre outros.

Na Figura 44 estão representados os consumos energéticos para aquecimento, para os três edifícios.

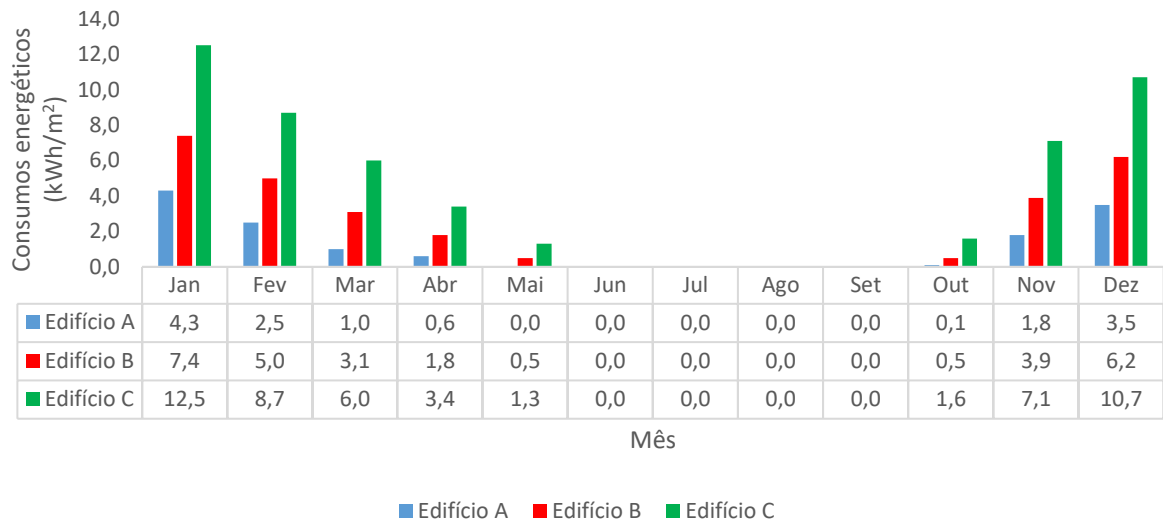


Figura 44 - Consumos mensais com o aquecimento para os três edifícios

Como se pode facilmente verificar, os consumos mais elevados para o aquecimento foram no Edifício C, com valores significativamente maiores, ou seja, no mês de janeiro, por exemplo, o consumo de energia, para o aquecimento do Edifício C, foi cerca de 41% superior ao Edifício B e cerca de 66% superior ao Edifício A. O maior consumo registou-se no mês de janeiro, com o Edifício C a ter um consumo mensal de cerca de 12,5 kWh/m², e Edifício A e o Edifício B, 4,3 kWh/m² e 7,4 kWh/m², respetivamente.

O Edifício A foi o que teve um menor consumo mensal de energia para o aquecimento. Os resultados obtidos deveram-se, essencialmente, ao elevado nível de isolamento, que tornou a sua envolvente mais estanque, promovendo a menores trocas de energia, por radiação, na envolvente, o que fez com que, o Edifício A conseguisse conservar a energia no seu interior, necessitando, desta forma, de menos energia para o seu aquecimento.

No Edifício B o consumo energético mensal, para o aquecimento, foi superior ao registado no Edifício A, sendo quase o dobro do consumo. Essa maior necessidade energética, para o

aquecimento, deveu-se ao facto das taxas de infiltrações serem maiores no Edifício B do que no Edifício A, provocando, desta forma, um maior esforço para o aquecimento do ar interior da habitação. Essa situação pode também ser explicada pela diferença de qualidade térmica da sua envolvente, U, assim como as perdas através das mesmas, entre outros aspetos. Os únicos meses em que não se recorreram frequentemente ao aquecimento foram os meses de junho, julho, agosto e setembro.

O Edifício C foi o que obteve os consumos mensais, para o aquecimento, mais elevados, como já referido anteriormente. O consumo elevado de energia, com o aquecimento, deveu-se ao fato das elevadas taxas de infiltrações do edifício, assim como as características da sua envolvente, resultando em elevadas perdas, o que levou a uma maior quantidade de energia para combater essas elevadas perdas de calor.

Na Figura 45 estão ilustrados os consumos anuais, referentes ao aquecimento, para os três casos em estudo.

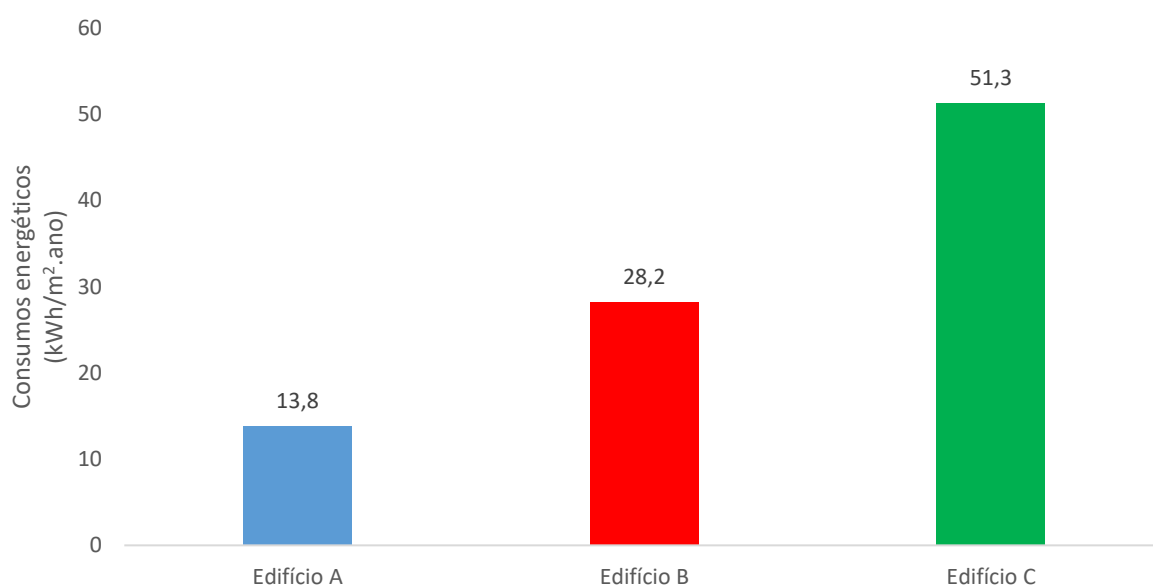


Figura 45 - Consumos energéticos anuais referentes ao aquecimento para os três edifícios em estudo

Apesar do aquecimento dos edifícios representar grande parte do consumo de energia dos edifícios, também existiram consumos de energia para o arrefecimento, apesar de estes apresentarem valores muito mais baixos, como se pode observar na Figura 46.

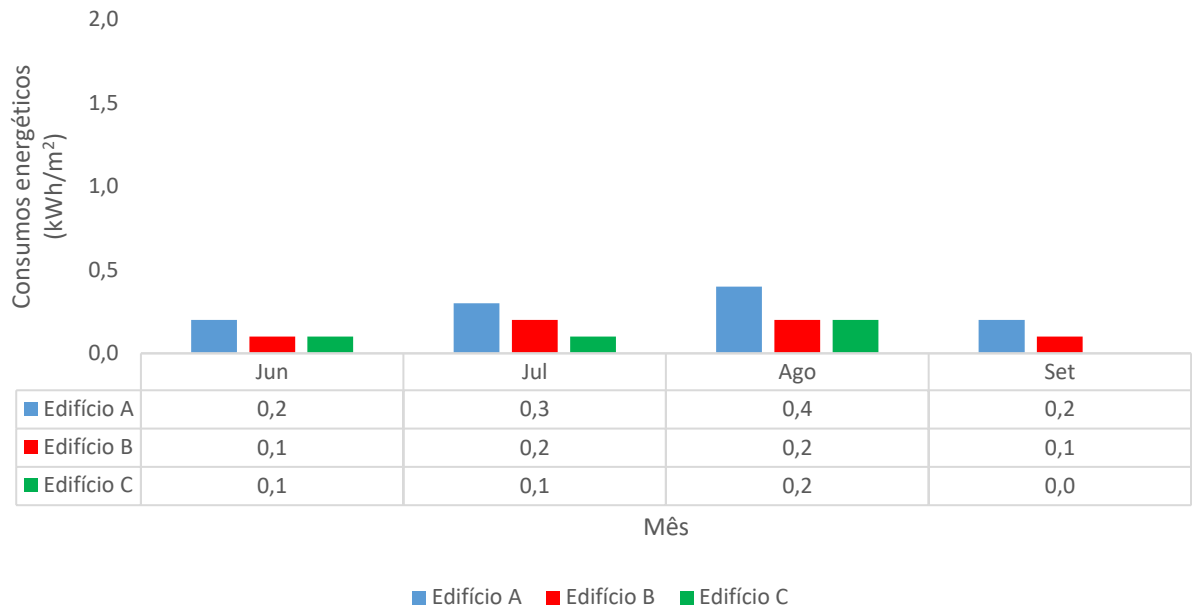


Figura 46 - Consumos energéticos mensais para o arrefecimento dos edifícios em estudo

Como se pode verificar na Figura 46, os consumos com o arrefecimento foram bastante baixos, podendo mesmo considerar-se desprezáveis, quando comparados com os consumos relativos ao aquecimento. No entanto, foi possível destacar-se que, o Edifício A foi o que apresentou um maior consumo energético para o arrefecimento, que pode ser explicado pelo fato de possuir o maior nível de isolamento, o que fez com que existissem menos trocas de energia, por radiação, com a envolvente. O que no inverno era benéfico para o Edifício A, como a retenção da energia no seu interior, o que levou a menores gastos energéticos com o aquecimento, tornou-se prejudicial no verão, precisando de um maior consumo para o arrefecimento, obtendo o seu valor máximo em agosto, cerca de 0,4 kWh/m².

Quanto aos valores dos consumos energéticos, para o arrefecimento, os Edifícios B e C apresentaram valores muito similares, obtendo o seu valor máximo no mês de agosto, com cerca de 0,2 kWh/m².

Na Figura 47 estão representados os resultados dos consumos energéticos totais anuais para o arrefecimento dos edifícios em estudo.

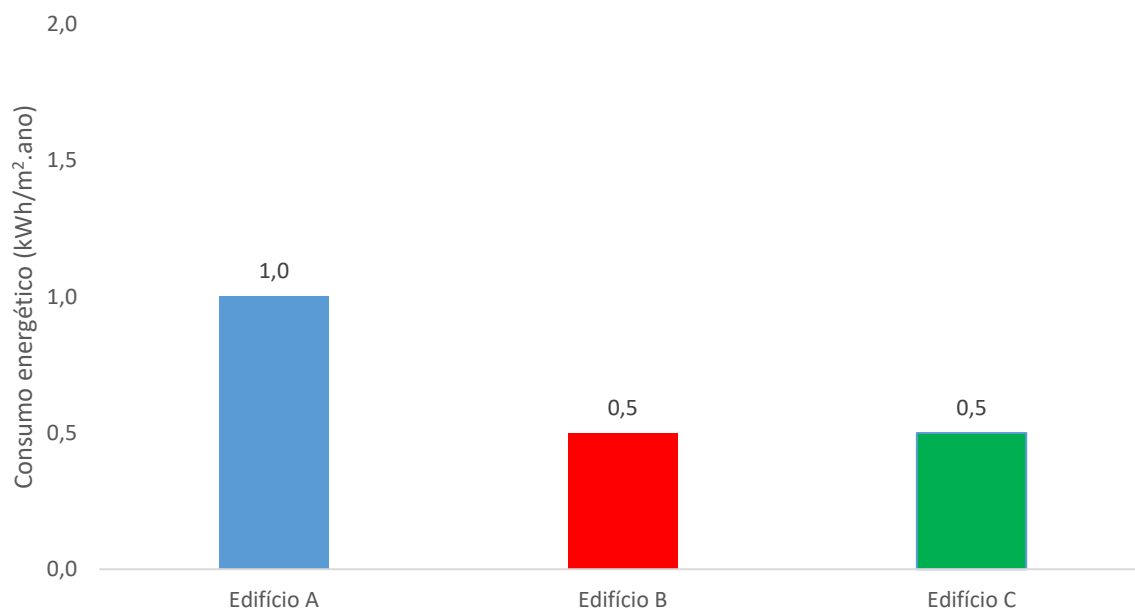


Figura 47 - Consumos anuais totais de energia para o arrefecimento para os três edifícios em análise

Como se pode observar na Figura 47, os consumos energéticos anuais, para o arrefecimento das habitações, do Edifício A foi o dobro dos consumos energéticos referentes aos Edifícios B e C. Isto deveu-se ao fato de o valor de U, para o Edifício A, ser menor para os elementos da sua envolvente, resultando, desta forma, em perdas inferiores, assim como o fato dos ganhos solares nos meses de verão serem bastante elevados no Edifício A.

Na Figura 48 estão apresentados os resultados referentes à utilização de eletricidade, referentes ao Edifício A. Os dados são referentes à utilização da eletricidade para a iluminação e equipamentos, incluindo eletrodomésticos, entretenimento (computadores, televisões) e climatização.

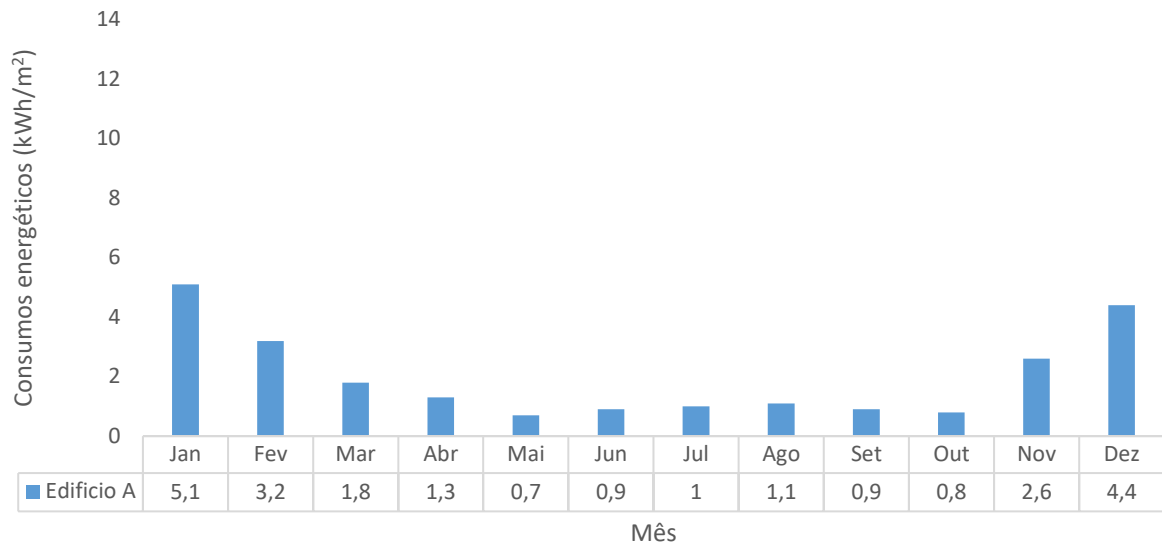


Figura 48 - Consumos mensais de eletricidade para o Edifício A

Como se pode verificar na Figura 48, o maior consumo de eletricidade, no Edifício A, foi registado no mês de janeiro, com cerca de 5,1 kWh/m², seguido do mês de novembro, com 4,4 kWh/m². Esses consumos elevados de eletricidade deveram-se ao fato de existir uma maior necessidade de consumo para o aquecimento do edifício, com a finalidade de proporcionar conforto aos seus ocupantes. Por outro lado, os menores consumo de eletricidade, para o Edifício A, foram registados nos meses de maio e outubro, com 0,7 e 0,8 kWh/m², respetivamente. Importa referir que o consumo anual de eletricidade do Edifício A foi de 23,7 kWh/m².ano.

Na Figura 49 estão apresentados os resultados referentes à utilização de eletricidade, referentes ao Edifício B. Os dados são referentes à utilização da eletricidade para a iluminação e equipamentos, incluindo eletrodomésticos, entretenimento (computadores, televisões) e climatização.

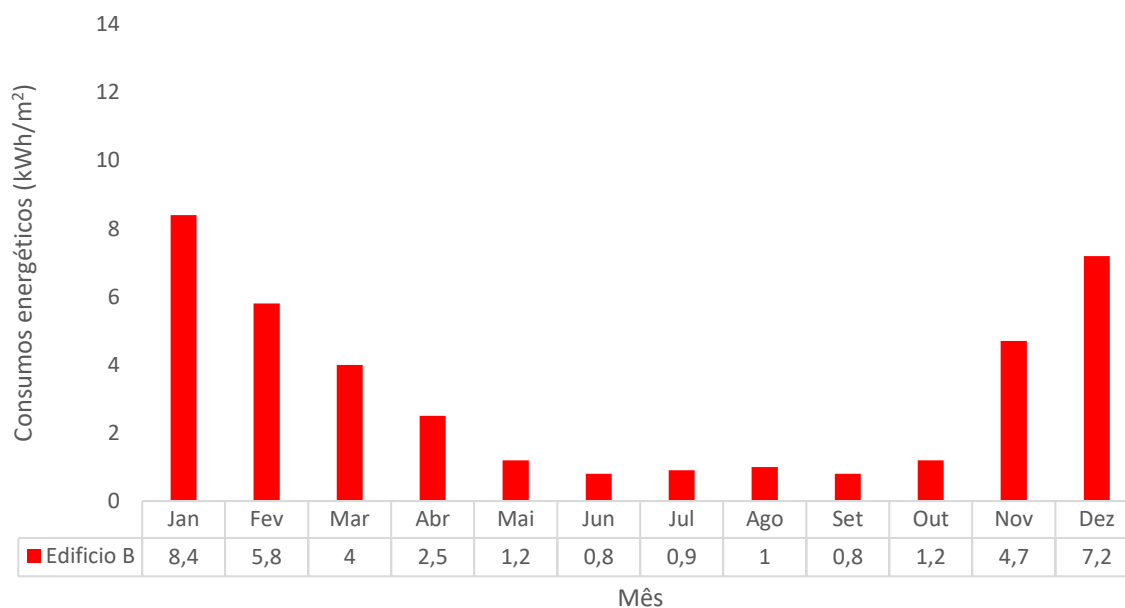


Figura 49 - Consumos mensais de eletricidade para o Edifício B

Como se pode verificar na Figura 49, o maior consumo de eletricidade foi registado no mês de janeiro, com cerca de 8,4 kWh/m², seguido do mês de novembro, com 7,2 kWh/m². Os referidos consumos foram superiores nesses períodos devido ao fato de existir a necessidade de recorrer à climatização, com a finalidade de assegurar o conforto térmico aos seus ocupantes. A qualidade térmica da envolvente do Edifício B também foi um fator importante pois, quanto mais estanque for a sua envolvente, menores perdas de energia, por radiação, aconteceram. No entanto, os valores apresentados já são consideráveis, o que poderá levar a uma necessidade de aumentar os níveis de isolamento na envolvente da habitação. Por outro lado, os menores consumo de eletricidade, para o Edifício B, foram registados nos meses de junho e setembro, com 0,8 kWh/m². Importa referir que o consumo anual de eletricidade do Edifício A foi de 38,2 kWh/m².ano.

Na Figura 50 estão apresentados os resultados referentes à utilização de eletricidade, referentes ao Edifício C. Os dados são referentes à utilização da eletricidade para a iluminação e equipamentos, incluindo eletrodomésticos, entretenimento (computadores, televisões) e climatização.

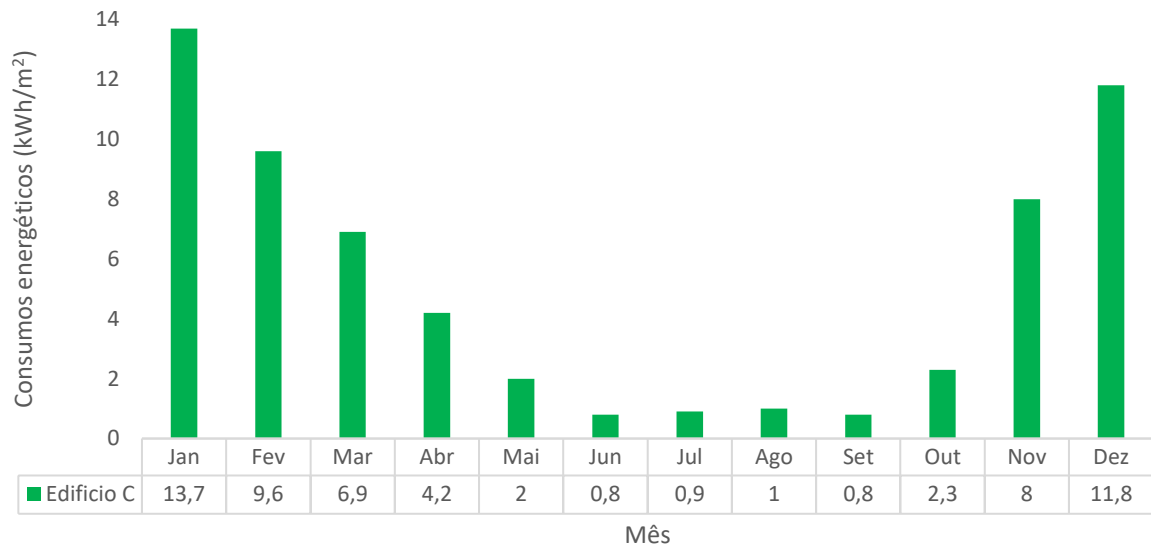


Figura 50 - Consumos mensais de eletricidade para o Edifício C

Como se pode verificar na Figura 50, o maior consumo de eletricidade foi registado no mês de janeiro, com cerca de 13,7 kWh/m², seguido do mês de novembro, com 11,8 kWh/m². Esse consumo exorbitante de eletricidade deveu-se, em grande parte, à necessidade de aquecimento nos meses de inverno. Sendo o Edifício C o edifício com o menor nível de isolamento, levou a uma menor qualidade da sua envolvente, permitindo que houvesse elevadas trocas de energia com a sua envolvente, assim como infiltrações em excesso, levando a uma maior dificuldade em aquecer os espaços interiores. Por outro lado, os menores consumo de eletricidade, para o Edifício A, foram registados nos meses de junho e setembro, com 0,8 kWh/m². Importa referir que o consumo anual de eletricidade do Edifício A foi de 62,2 kWh/m².ano.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusão

A presente dissertação teve como objetivo comparar a influência da ventilação nas necessidades energéticas de três edifícios de habitação unifamiliares. Assim sendo, foram simulados, com recurso ao programa de simulação dinâmica, DesignBuilder, três edifícios de habitação unifamiliar, A, B e C, sendo estes de diferentes décadas. Importa referir que, os edifícios de habitação, mencionados anteriormente, possuíram a mesma planta, ocupação, utilização, entre outros aspetos, de maneira a facilitar a comparação dos resultados obtidos. Quanto aos edifícios em estudo, o que diferiu entre eles foram as soluções construtivas utilizadas, em cada um deles, para a sua envolvente, visto que são de diferentes décadas. Estes edifícios têm requisitos diferentes, em função da regulamentação térmica em vigor na década construtiva que representam, sendo as características dos Edifícios A, B e C, definidas de acordo com o estipulado pelo REH:2013, o RCCTE:2006 e RCCTE:1990, respetivamente.

O Edifício A, sendo este o mais recente dos edifícios em análise, representou os edifícios construídos a partir de 2016 e, devido a esse fato, foi o que apresentou soluções construtivas mais eficazes, do ponto de vista térmico, resultado de um elevado nível de isolamento da sua envolvente, de acordo com o REH.

Quanto ao Edifício B, este representou os edifícios construídos entre 2009 e 2015, ou seja, um edifício regido pelo RCCTE:2006, e apresentou uma envolvente menos estanque, quando comparado com o Edifício A, devido à qualidade térmica deste ser inferior, promovendo, desta forma, uma maior troca de energia entre o interior e o exterior, verificando-se mais infiltrações através da sua envolvente.

Por último, o Edifício C, sendo este o mais antigo dos três edifícios em estudo, representou os edifícios construídos entre 1991 e 2008, regido pelo RCCTE:1990. Este foi o que apresentou os menores níveis de isolamento, resultando, desta forma, em maiores trocas de energia, por radiação, através da sua envolvente, assim como uma maior taxa de infiltrações.

Posto isto, e depois de simulados os três edifícios em análise, com recurso ao programa de simulação dinâmica, DesignBuilder, obtiveram-se resultados relativos aos ganhos solares, à ventilação, aos ganhos e perdas através da envolvente e aos consumos energéticos.

Quanto aos resultados obtidos, relativos aos parâmetros de conforto, o que se verificou foi que, de uma forma global, os ocupantes das três habitações em estudo estiveram em conforto térmico nos meses de abril a outubro. Essa situação pode ser explicada devido ao fato de usar-se, na climatização, uma temperatura mínima interior de 18°C, ao invés dos 20°C como definido para o limite inferior de conforto para situações de atividade sedentária. Ainda assim, o edifício que proporcionou melhores condições de conforto aos seus ocupantes foi o Edifício A, como já seria de prever, devido às maiores exigências energéticas presentes no REH:2013, apresentando a temperatura operativa mais elevada, ao longo do ano, cerca de 18°C nos meses de inverno, valor mínimo imposto na simulação para a climatização, e cerca de 22°C para os meses de verão, assim como os melhores resultados no que à humidade relativa diz respeito, obtendo-se valores compreendidos entre os 40 e 60%. Por outro lado, o edifício com pior desempenho, em termos de conforto, foi o Edifício C, como já seria expectável, visto que este foi regido pelo regulamento menos exigente do ponto de vista térmico, o RCCTE:1990.

Quanto aos resultados relativos à ventilação dos edifícios, foram usadas, para os três edifícios, uma taxa de renovação horária (Rph) de 0,4 h⁻¹ para os meses de inverno, o que significa que o volume de ar do espaço é renovado 0,4 vezes numa hora, e de 0,6 h⁻¹ para os meses de verão, o que significa que o volume de ar do espaço é renovado 0,6 vezes numa hora. Posto isto, como a taxa de ventilação usada foi igual para os três edifícios, o que diferiu foram as taxas de infiltrações, dependendo apenas das soluções construtivas utilizadas, para cada um dos edifícios. O Edifício A foi o que obteve uma taxa de ventilação menor, isto devido ao fato de a sua envolvente ser a mais estanque, dos três edifícios em estudo, contando com uma elevada qualidade térmica da sua envolvente, podendo, desta forma, comprometer a QAI. Por outro lado, o edifício com uma maior taxa de ventilação foi o Edifício C, resultado de este ter usado soluções construtivas com baixos níveis de isolamento, promovendo, desta forma, uma maior troca de energia entre o interior e o exterior.

Por último, avaliaram-se as necessidades energéticas dos três edifícios em análise. A conclusão que se obteve do estudo deste parâmetro foi que, a maior quantidade de energia consumida foi destinada ao aquecimento das habitações, conclusão essa que é possível constatar pela diferença

de consumos nas estações de verão e inverno. Comparando os três edifícios, aquele que obteve o melhor desempenho, ou seja, o edifício que necessitou de menos energia para conseguir manter a sua funcionalidade e conforto, foi o Edifício A. Por outro lado, o Edifício C foi o que apresentou os piores resultados, ou seja, foi o que precisou de uma maior quantidade de energia para assegurar a funcionalidade e conforto dos seus ocupantes, mais especificamente, um acréscimo de energia em cerca de 28%, quando comparado com o Edifício A.

Posto isto, a conclusão final que se pode obter desta dissertação é que, ao longo dos anos, em Portugal, está a tentar-se ao máximo reduzir o consumo energético na área da construção civil. A prova disso está presente nas várias atualizações dos regulamentos térmicos, desde o início dos anos 90, com o RCCTE:1990 até aos dias de hoje, com o REH:2013, sendo que estes estão cada vez mais exigentes. Nesta dissertação verificou-se, por exemplo, os diferentes valores dos coeficientes de transmissão térmicos, U , nos regulamentos apresentados e, desde 1990, altura em que foi publicado o primeiro regulamento térmico em Portugal, até aos dias de hoje, esses valores desceram consideravelmente. A título de exemplo, os valores de U para as paredes exteriores, no RCCTE:1990, eram cerca de 4 vezes superiores do que o U para as paredes exteriores, do REH:2013, o que explica a elevada importância do isolamento térmico na eficiência energética dos edifícios. Isso originou a que os edifícios débeis e com necessidades energéticas elevadas, como o caso do Edifício C, pudessem tornar-se em edifícios com necessidades energéticas muito mais reduzidas, como foi o caso do Edifício A. Também em termos de ventilação, existe uma grande necessidade de ventilação dos espaços interiores das habitações, de forma a que o ar no interior das habitações possa ser renovado por ar novo, com vista a melhorar a QAI, aspeto que se tornou relevante aquando a entrada em vigor do RCCTE:2006.

6.2 Trabalhos Futuros

Seria também interessante realizar as simulações efetuadas nesta dissertação para outro tipo de edifícios, por exemplo, edifícios multifamiliares, ou até mesmo edifícios de serviço. Fazer um estudo com o objetivo de reduzir o impacto da ventilação, avaliando, para o efeito, diferentes tipos de sistemas de ventilação natural, mecânica (centralizada e descentralizada, com recuperação de calor) e mista. Outro objetivo de estudo poderia ser a avaliação de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, de forma a cobrir as necessidades de ventilação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE, “Perguntas & Respostas sobre o RCCTE”, 2008. Consultado em: 18/07/2017. [online]. Disponível em: http://www.koelho2000.com/index_ficheiros/Downloads/P&R/PRRCCTE.pdf

ADENE, Metodologia de avaliação da qualidade do ar interior em edifícios de comércio e serviços no âmbito da Portaria 353-A/2013, 2015.

Amaral, M., “Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação”, Tese de Doutoramento Submetida a FEUP, Porto, 2008.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE 55, 2004.

Amorim, D., Silva, S., Almeida, M., Definição de estratégias de ventilação natural para assegurar a qualidade do ar interior de um edifício, Universidade do Minho, 2014.

Araújo, A., “Avaliação da taxa de renovação de ar de edifícios de habitação”, Tese de Mestrado Submetida à Universidade do Minho, 2013.

ASHRAE Standard 62.1-2010: ventilation for acceptable indoor air quality. Edtion ed. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.

Awbi, H., Basic concepts for natural ventilation of buildings, University of Reading, 2010.

Blyussen, P., “Towards an integrative approach of improving indoor air quality. Building and Environment”, 2009.

CEN - European Committee for Standardization. EN 13779. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. Brussel, 2006.

CEN - European Committee for Standardization. EN 15251. In Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussel, 2007.

Clérigo, V., “Ventilação Mista em Edifícios de Habitação”, Tese de Mestrado Submetida ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015.

Decreto-Lei n.º 118/13, Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), de 20 de agosto (Portaria n.º 349-B/2013), 2013.

Decreto-Lei n.º 40/1990, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 6 de fevereiro, Diário da Republica, I Serie, Lisboa, 1990.

Decreto-Lei n.º 80/2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 4 de abril, Diário da Republica, I Serie-A, Lisboa, 2006.

DesignBuilder. DesignBuilder Software Homepage. 2007. Disponível em: <http://www.designbuilder.co.uk>. Consultado em: 01/09/2017.

ecoEDPa, “O que é a eficiência energética? - Impactes da energia no ambiente”, n.d.. Disponível em: <http://www.eco.edp.pt>. Consultado em: 08/09/2017.

EPBD – Directive 2002/91/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (EPBD), 2010.

EPBD – Diretiva 2002/91/CE do parlamento europeu e do conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios, 2002.

Ferreira, P., “Sistemas de Ventilação Híbridos em Edifícios - Análise Energética Resultante da Implementação de Sistemas de Ventilação Inovativos”, Tese de Mestrado Submetida à FEUP, 2006.

Gomes, R., “Estudo e Conceção de Sistemas de Ventilação Natural em Edifícios de Habitação”, Tese de Mestrado Submetida à Universidade da Madeira, 2010.

Instruel, “Ventilação”, n.d.. Disponível em: <http://www.instruel.pt/pdf/ventilacao.pdf>. Consultado em:08/09/2017.

Jerónimo, R., “Avaliação do Desempenho Higrotérmico e do Conforto de Edifícios Rurais Reabilitados”, Tese de Doutoramento Submetida à FEUP, 2014.

Kleiven, T., “Natural Ventilation in Buildings”, Norwegian University of Science and Technology Faculty of Architecture, 2003.

Laboratório Nacional Engenharia Civil, “Coeficiente de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios”, ITE-50, 2006. [online]. Disponível em: http://www.koelho2000.com/index_ficheiros/Downloads/Tabela%20Materiais/ITE50.pdf. Consultado em: 22/09/2017.

Lambert, J., Natural Ventilation – Capabilities and Limitations (comfort and energy efficiency in domestic dwellings), 2008.

LQAI, Laboratório da Qualidade do Ar Interior, “Qualidade do ar interior”, n.d.. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~lqai/lqai_info02.html. Consultado em:09/09/2017.

LusoSol, “Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril Aprova o (RCCTE)”, 2015. [online]. Disponível em: http://www.lusosol.com/dl_80-2006.htm. Consultado em: 18/08/2017.

M. Peneda, M., “Recomendações Para o Projeto de Sistemas de Ventilação Mista em Edifícios de Habitação”, Tese de Mestrado Submetida à Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2013.

Martins, J., “Projeto de Ventilação de Edifícios de Habitação Coletiva”, Tese de Mestrado Submetida à FEUP, 2016.

Mendell, M. Nonspecific symptoms in office workers - a review and summary of the epidemiologic literature Indoor Air-International Journal of Indoor Air Quality and Climate, 1994.

- Menzies e Bourbeau, “Building-related illnesses”. *New England Journal of Medicine*, 1997.
- NP 1037-1: 2002 - ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural, Monte da Caparica: IPQ, 2002.
- Portugal. Instituto Português da Qualidade (2002) - Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás - Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural, 2002.
- R. Aynsley, “Natural Ventilation in Passive Design”, BEDP Environment design guide 2007.
- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), Portaria n.º 349 - A/2015.
- Rostron, J., *Sick Building Syndrome - Concepts, Issues and Practice*. Abingdon, UK: E&FN Spon, 1998.
- Sacht, H., Bragança, L., Almeida, M., Caram, R., Different module placements in a modular façade system for natural ventilation, 2015.
- Seppanen O, Fisk W, Summary of human responses to ventilation. *Indoor Air*, 2004.
- Seppanen, O. and Fisk, W., Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance or health. In *Proceedings of the Proceedings of 9 th International conference on Indoor Air Quality and Climate*, Beijing, 2005.
- Silva, P., “Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE”, Tese de Mestrado Submetida à Universidade do Minho, 2006.
- Silva, S., “Qualidade do Ambiente Interior de Edifícios”, Universidade do Minho. Guimarães, 2011.
- Toledo, E., “Ventilação Natural dos Edifícios”, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 1967.

Wargocki e Wyon, The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children, 2007.

Woods, Guia práctico de la ventilación. Barcelona: Blume, 1970.

Yang e Croome, Department of Civil and Building Engineering, Loughborough University, Leicestershire, UK, School of Construction Management and Engineering, University of Reading, Reading, UK, “Natural Ventilation in Built Environment”, 2000.