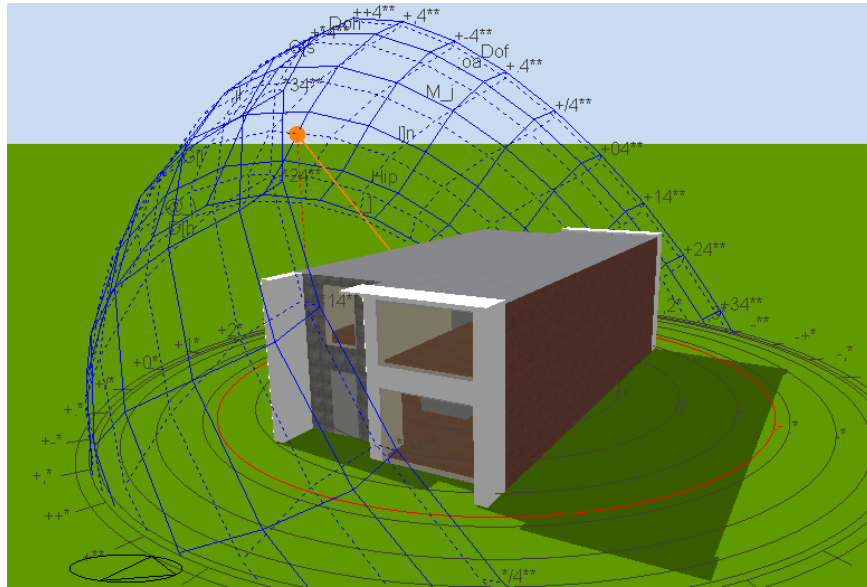




ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica



Estudo e Simulação do Comportamento Térmico e Energético de um Edifício

ANA MIGUEL VIEIRA DA ROSA
(Licenciada em Engenharia das Energias Renováveis e Ambiente)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Professora Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Júri:

Presidente: Professor Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais:

Professor Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

Professora Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Dezembro de 2019



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

Estudo e Simulação do Comportamento Térmico e Energético de um Edifício

ANA MIGUEL VIEIRA DA ROSA
(Licenciada em Engenharia das Energias Renováveis e Ambiente)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Professora Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Júri:

Presidente: Professor Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais:

Professor Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

Professora Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Dezembro de 2019

RESUMO

A forma como gerimos os recursos energéticos da Terra e o seu impacto nela é cada vez mais um factor determinante nas soluções construtivas dos edifícios. Neste trabalho é apresentada a análise térmica de um edifício habitacional utilizando dois *softwares* distintos, o *Hourly Analysis Program* e o *EnergyPlus* (através da interface *DesignBuilder*).

Inicialmente foi feito o dimensionamento de um possível sistema de climatização para a habitação e posteriormente foi feita uma análise mais detalhada do comportamento do edifício a nível de requisitos de climatização da habitação ao longo do ano, principais agentes responsáveis por este comportamento e a nível de conforto térmico e visual.

Obtiveram-se valores próximos entre os dois *softwares*, apresentando ambos uma potência necessária de arrefecimento superior à de aquecimento.

Dos resultados foi verificada a importância das janelas nas trocas de calor com o exterior e conseqüentemente a importância da utilização de persianas de forma a controlar a magnitude dos ganhos solares de maneira diferente nos meses de Verão (inibi-los) e nos meses de Inverno (fomentá-los).

O conforto térmico da habitação foi analisado para cada divisória, tendo-se verificado bons níveis de conforto tendo em conta as temperaturas de climatização definidas assim como os níveis de actividade considerados.

A nível de conforto visual foi verificado o bom comportamento da habitação, com valores de iluminância dentro dos valores estabelecidos como aceitáveis, tendo em conta os horários de ocupação da mesma.

Palavras chave: Comportamento Térmico, *Hourly Analysis Program*, *DesignBuilder*, *EnergyPlus*, Simulação Dinâmica, Edifício Habitacional

ABSTRACT

The way we manage Nature's energy resources and its impact on the Earth is more and more a deciding factor on the various approaches applied to the construction of buildings. This work presents the analysis of the thermal behavior of a residential building using two different software's: Hourly Analysis Program and EnergyPlus (through DesignBuilder).

The sizing of a possible air conditioning system was first performed and was followed by a more detailed analysis of the behavior of the building in terms of its requirements for conditioning throughout the year, main factors responsible for its behavior, as well as thermal and visual comfort.

The results obtained with the two software's showed close agreement, with both obtaining a higher required load capacity for cooling than for heating.

The results showed the importance of the windows on the heat exchanges with the outsider air and, consequently, the importance of selecting shading systems to control the magnitude of the solar gains (blocking them during the summer and allowing them during the winter)

The thermal comfort was inspected for each of the house divisions and its analysis showed acceptable levels of comfort, taking in consideration the temperature set points and the levels of activity that were assumed. In terms of visual comfort, its analysis also showed that the house has good natural lighting for the type of occupation that was considered.

Keywords: Thermal behavior, *Hourly Analysis Program*, *DesignBuilder*, *EnergyPlus*, Building performance simulation, Residential building

AGRADECIMENTOS

Este Trabalho de Final de Mestrado representa o terminar de uma etapa que se veio a revelar mais exigente do que estava à espera.

Quero agradecer à Professora Cláudia Casaca por ter aceitado ser minha orientadora, por toda a motivação que me deu durante toda esta fase e por me ajudar nos bloqueios.

Quero também agradecer ao Professor João Cardoso pelo conhecimento transmitido e ajuda com os softwares.

Aos meus colegas da *France Air Portugal* por toda a força, paciência e compreensão que tiveram comigo.

A todos os meus amigos por terem ouvido os meus desabafos.

À minha família, por todo o incentivo e apoio que me deram.

Ao Simão Rodrigues, por ser incansável comigo e me fazer sorrir todos os dias.

ÍNDICE

<i>RESUMO</i>	<i>i</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>iii</i>
<i>AGRADECIMENTOS</i>	<i>v</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	<i>ix</i>
<i>ÍNDICE DE TABELAS</i>	<i>xiii</i>
<i>ÍNDICE DE EQUAÇÕES</i>	<i>xv</i>
<i>ABREVIATURAS</i>	<i>xvii</i>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Objectivos	5
1.3 Organização e estrutura do documento	5
2 COMPORTAMENTO TÉRMICO E ENERGÉTICO NOS EDIFÍCIOS	7
2.1 Processos de transferência de calor	7
2.1.1 Condução	8
2.1.2 Convecção	9
2.1.3 Radiação	11
2.2 Coeficiente de transmissão térmica	13
2.3 Ganhos nos edifícios	17
2.3.1 Radiação solar	18
2.3.2 Actividade humana	20
2.3.3 Equipamentos	21
2.4 Conforto	23
2.4.1 Conforto térmico.....	23
2.4.2 Conforto visual	26
2.5 Simulação dinâmica de edifícios	27
2.5.1 Hourly Analysis Program	29
2.5.2 DesignBuilder/EnergyPlus	33
3 CASO DE ESTUDO	37
3.1 Caracterização do Edifício	37

3.2	Zona Climática.....	40
3.3	Caracterização dos elementos da envolvente	42
3.4	Ocupação	49
3.5	Equipamentos.....	52
4	SIMULAÇÕES	55
4.1	Hourly Analysis Program	55
4.2	<i>EnergyPlus</i> e <i>DesignBuilder</i>	59
4.3	Resultados das simulações.....	61
4.3.1	HAP	62
4.3.2	DesignBuilder/EnergyPlus	65
5	CONCLUSÕES	79
	BIBLIOGRAFIA	83
	ANEXOS	87

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1 CONSUMO ENERGÉTICO GLOBAL ENTRE 1995 E 2016 [1].	1
FIGURA 1-2 CONTRIBUIÇÃO DOS VÁRIOS SECTORES PARA O CONSUMO DE ENERGIA ELÉCTRICA EM PORTUGAL, NO ANO DE 2017 [3].	2
FIGURA 1-3 – DIVISÃO DE CONSUMOS ELÉCTRICOS RESIDENCIAIS PARA PORTUGAL POR UTILIZAÇÃO FINAL [4].	3
FIGURA 1-4 - TERRAÇO VERDE NA FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN EM LISBOA.	4
FIGURA 1-5 - COBERTURA DAS INSTALAÇÕES DE UM EDIFÍCIO DE SERVIÇOS EM PORTUGAL [10].	4
FIGURA 2-1 -REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM SISTEMA E SUA VIZINHANÇA.	7
FIGURA 2-2 – DESENVOLVIMENTO DO COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO AO LONGO DE UMA SUPERFÍCIE (IMAGEM ADAPTADA DE [13]).	11
FIGURA 2-3 – TRANSMISSÃO DE CALOR UNIDIMENSIONAL POR CONDUÇÃO [13].	13
FIGURA 2-4 - PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR NUMA PAREDE.	15
FIGURA 2-5 – GANHOS EXTERNOS E INTERNOS NUM EDIFÍCIO.	17
FIGURA 2-6 - RADIAÇÃO NA ATMOSFERA (ADAPTADO DE [16]).	18
FIGURA 2-7 - TRAJECTOS SOLARES PARA OS SOLSTÍCIOS DE VERÃO E INVERNO (ADAPTADO DE [16]).	18
FIGURA 2-8 - ÂNGULOS SOLARES (EM CIMA) E AMPLITUDE DA EXPOSIÇÃO SOLAR (EM BAIXO) PARA UMA JANELA VIRADA A SUL NUMA CASA SITUADA NO HEMISFÉRIO NORTE (ADAPTADO DE [16]).	19
FIGURA 2-9 - INTERACÇÃO TÉRMICA DO CORPO HUMANO COM O MEIO AMBIENTE (IMAGEM ADAPTADA DE [19]).	20
FIGURA 2-10 - DIAGRAMA REPRESENTATIVO DAS CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA NECESSÁRIAS PARA EXISTIR CONFORTO TÉRMICO (ADAPTADO DE [22]).	23
FIGURA 2-11 - PPD EM FUNÇÃO DO PMV (RETIRADO DE [24]).	25
FIGURA 2-12 - PRINCIPAIS ELEMENTOS NA SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS.	27
FIGURA 2-13 – PAINEL INICIAL DO SOFTWARE HAP.	28
FIGURA 2-14 -VISTA GERAL DA INTERFACE DO SOFTWARE HAP.	30
FIGURA 2-15 - VISTA GERAL DO DESIGNBUILDER.	32
FIGURA 2-16 - INTERFACE DE UTILIZAÇÃO DO DESIGNBUILDER.	33
FIGURA 2-17 – INTRODUÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO NO DB.	33
FIGURA 2-18 - HIERARQUIA DE DADOS NO DESIGNBUILDER.	35
FIGURA 3-1 - PISO 0, PISO 1 E COBERTURA DO EDIFÍCIO EM ESTUDO.	37
FIGURA 3-2 - CORTE TRANSVERSAL DA HABITAÇÃO.	38
FIGURA 3-3 - CORTE LONGITUDINAL DA HABITAÇÃO.	38
FIGURA 3-4 - REPRESENTAÇÃO DO EDIFÍCIO EM ESTUDO, ALÇADO ESTE.	39
FIGURA 3-5 – INTERFACE DO PROGRAMA PARA OBTENÇÃO DOS DADOS CLIMÁTICOS DE REFERÊNCIA PARA LISBOA [44].	40
FIGURA 3-6 - PORTUGAL CONTINENTAL. ZONAS CLIMÁTICAS DE INVERNO E VERÃO RESPECTIVAMENTE [45].	41
FIGURA 3-7 - PERFIL ANUAL DE TEMPERATURA EM LISBOA (DADOS DE [44]).	41

FIGURA 3-8 – PERFIL ANUAL DE VELOCIDADE E DIRECÇÃO DO VENTO EM LISBOA (DADOS DE [44]).	42
FIGURA 3-9 - PERFIL ANUAL DE RADIAÇÃO SOLAR (DIRECTA E DIFUSA) EM LISBOA (DADOS DE [44]).	42
FIGURA 3-10 - TIPO DE PAREDE DOS PISOS 0 (ESQUERDA) E 1 (DIREITA). (VERMELHO: PAREDE EXTERIOR; AZUL: PAREDE EM CONTACTO COM EDIFÍCIO ADJACENTE; CASTANHO: PAREDE EXTERIOR C/BASALTO)	43
FIGURA 3-11 – ESQUEMÁTICO DA COMPOSIÇÃO DA PAREDE EXTERIOR SEM BASALTO.	44
FIGURA 3-12 – ESQUEMÁTICO DA COMPOSIÇÃO DA PAREDE EXTERIOR COM BASALTO	44
FIGURA 3-13 – ESQUEMÁTICO DA COMPOSIÇÃO DA PAREDE ADJACENTE A EDIFÍCIO	46
FIGURA 3-14 – ESQUEMÁTICO DA COMPOSIÇÃO DA PAREDE INTERIOR.	46
FIGURA 3-15 – ESQUEMÁTICO DA COMPOSIÇÃO DA COBERTURA.	47
FIGURA 3-16 – ESQUEMÁTICO DA COMPOSIÇÃO DO PAVIMENTO.	47
FIGURA 3-17 - PERFIL DAS JANELAS.	48
FIGURA 3-18 - PERFIL DE ACTIVIDADE CONSIDERADO PARA A COZINHA.	49
FIGURA 3-19 - PERFIL DE ACTIVIDADE CONSIDERADO PARA A SALA DE ESTAR.	50
FIGURA 3-20 - PERFIL DE ACTIVIDADE CONSIDERADO PARA A SALA DE JANTAR.	50
FIGURA 3-21 - PERFIL DE ACTIVIDADE CONSIDERADO PARA O QUARTO A.	51
FIGURA 3-22 - PERFIL DE ACTIVIDADE CONSIDERADO PARA OS QUARTOS B, C E D.	51
FIGURA 3-23 - PERFIL DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO.	52
FIGURA 4-1 - INTRODUÇÃO DOS ESPAÇOS DO EDIFÍCIO HABITACIONAL NO HAP.	56
FIGURA 4-2 – DEFINIÇÃO DE SOMBREAMENTO EXTERIOR NO HAP.	56
FIGURA 4-3 – ASSOCIAÇÃO DE SOMBREAMENTO A JANELAS NO HAP.	56
FIGURA 4-4 - TEMPERATURA DO ESPAÇO NÃO CLIMATIZADO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DO AR EXTERIOR.	57
FIGURA 4-5 – ASSOCIAÇÃO DE DIVISÕES À ZONA CLIMATIZADA NO HAP.	58
FIGURA 4-6 – DEFINIÇÃO DE TEMPERATURAS DE CLIMATIZAÇÃO.	58
FIGURA 4-7 - MODELO TRIDIMENSIONAL - DESIGNBUILDER - PISO 0.	59
FIGURA 4-8 - MODELO TRIDIMENSIONAL - DESIGNBUILDER - PISO 1.	59
FIGURA 4-9 - DEFINIÇÃO DAS ENVOLVENTES EXTERIORES NO DESIGNBUILDER.	59
FIGURA 4-10 – DEFINIÇÃO DAS ENVOLVENTES INTERIORES NO DESIGNBUILDER.	60
FIGURA 4-11 – PERFIL DE FUNCIONAMENTO DAS PERSIANAS NO VERÃO	60
FIGURA 4-12 - PERFIL DE FUNCIONAMENTO DAS PERSIANAS NO INVERNO.	61
FIGURA 4-13 – DEFINIÇÃO DE SETPOINTS DE TEMPERATURA PARA CLIMATIZAÇÃO NO DESIGNBUILDER.	61
FIGURA 4-14 – DIVISÃO DE CARGAS DE ARREFECIMENTO POR ESPAÇO, SEGUNDO O HAP.	63
FIGURA 4-15 – DIVISÃO DE CARGAS DE AQUECIMENTO POR ESPAÇO, SEGUNDO O HAP.	63
FIGURA 4-16 - CONSUMOS MENSIS PARA CLIMATIZAÇÃO OBTIDOS PELO HAP.	63
FIGURA 4-17 - DIVISÃO DE CONSUMO ANUAL DE ENERGIA ELÉCTRICA DIVIDIDO POR CATEGORIAS	64
FIGURA 4-18 – DIVISÃO DE CARGAS DE ARREFECIMENTO POR ESPAÇO, SEGUNDO O DESIGNBUILDER/ENERGYPLUS.	66
FIGURA 4-19 – DIVISÃO DE CARGAS DE AQUECIMENTO POR ESPAÇO, SEGUNDO O DESIGNBUILDER/ENERGYPLUS.	66

FIGURA 4-20 - COMPARAÇÃO DE CONSUMO MENSAL ELÉCTRICO PARA CLIMATIZAÇÃO DO EDIFÍCIO FORNECIDO PELO HAP E EP.	66
FIGURA 4-21 – DISTRIBUIÇÃO DE PERDAS PELA ENVOLVENTE EXTERIOR POR TIPO DE ENVOLVENTE.	67
FIGURA 4-22 – CONSUMOS ELÉCTRICOS MENSAIS PARA CLIMATIZAÇÃO DA HABITAÇÃO CONSIDERANDO AS PERSIANAS SEMPRE ABERTAS OU SEMPRE FECHADAS.	68
FIGURA 4-23 - EXPOSIÇÃO SOLAR DA VERTENTE ESTE DO EDIFÍCIO ÀS 16:00 DE 21 DE JULHO.	69
FIGURA 4-24 - EXPOSIÇÃO SOLAR DA VERTENTE ESTE DO EDIFÍCIO ÀS 16:00 DE 21 DE DEZEMBRO.....	69
FIGURA 4-25 – DADOS CLIMÁTICOS E MÉTRICAS DE CONFORTO DAS SALAS E COZINHA NA SEMANA DE PROJECTO DE VERÃO DO EP.	69
FIGURA 4-26 - DADOS CLIMÁTICOS E MÉTRICAS DE CONFORTO DO QUARTO B NA SEMANA DE PROJECTO DE VERÃO DO EP.	70
FIGURA 4-27 - DADOS CLIMÁTICOS E MÉTRICAS DE CONFORTO DAS SALAS E COZINHA NA SEMANA DE PROJECTO DE INVERNO DO EP.	71
FIGURA 4-28 - DADOS CLIMÁTICOS E MÉTRICAS DE CONFORTO DO QUARTO B NA SEMANA DE PROJECTO DE INVERNO DO EP.	72
FIGURA 4-29 - VALOR DE SDA PARA O PISO 0, COM UM VALOR MÍNIMO DE 100 LUX.	73
FIGURA 4-30 - VALOR DE ASE NO PISO 0 COM UM LIMITE MÁXIMO DE 2000 LUX.....	73
FIGURA 4-31 - VALOR DE UDI NO PISO 0 PARA UM INTERVALO COMPREENDIDO ENTRE 100 E 2000 LUX. ..	74
FIGURA 4-32 – VALOR DE SDA (EM PERCENTAGEM) PARA O PISO 1, COM UM VALOR MÍNIMO DE 100 LUX. 74	
FIGURA 4-33 - VALOR DE ASE NO PISO 1 COM UM LIMITE MÁXIMO DE 2000 LUX.....	75
FIGURA 4-34 - VALOR DE UDI NO PISO 1 PARA UM INTERVALO COMPREENDIDO ENTRE 100 E 2000 LUX. ..	75
FIGURA 4-35 - DIVISÃO DE GANHOS SOLARES PELAS VÁRIAS ÁREAS DA HABITAÇÃO.	76
FIGURA 4-36 – COMPARAÇÃO DE GANHOS SOLARES E PERDAS ATRAVÉS DAS JANELAS NO EDIFÍCIO COM JANELAS MODIFICADAS E ORIGINAIS.	77
FIGURA 4-37 – CARGAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO DO EDIFÍCIO COM E SEM JANELAS MODIFICADAS NO PISO 0.	77
FIGURA 4-38 -- CARGAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO DO EDIFÍCIO COM E SEM JANELAS MODIFICADAS NO PISO 0 E QUARTOS B E C.	78

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2-1 - NÍVEL DO METABOLISMO EM FUNÇÃO DA ACTIVIDADE DESENVOLVIDA [20].	21
TABELA 2-2 - ESCALA DE CONFORTO TÉRMICO (ESCALA DE SETE PONTOS DA ASHRAE).	24
TABELA 3-1 - LISTA DE ESPAÇOS DO EDIFÍCIO EM ESTUDO.	39
TABELA 3-2 - COEFICIENTES GLOBAIS DE CONDUÇÃO TÉRMICA AS ENVOLVENTES DO EDIFÍCIO.	44
TABELA 3-3 - COMPOSIÇÃO DA PAREDE EXTERIOR SEM BASALTO.	45
TABELA 3-4 - COMPOSIÇÃO DA PAREDE EXTERIOR COM BASALTO.	45
TABELA 3-5 - COMPOSIÇÃO DA PAREDE EXTERIOR EM CONTACTO COM EDIFÍCIO ADJACENTE.	46
TABELA 3-6 - COMPOSIÇÃO DA PAREDE INTERIOR.	46
TABELA 3-7 - COMPOSIÇÃO DA COBERTURA.	47
TABELA 3-8 - COMPOSIÇÃO DO PAVIMENTO.	48
TABELA 3-9 – CARACTERIZAÇÃO DAS JANELAS.	49
TABELA 3-10 – CONSIDERAÇÕES EM TERMOS DE TIPO DE ACTIVIDADE E NÚMERO DE PESSOAS POR ÁREA.	52
TABELA 3-11 - POTÊNCIA DA ILUMINAÇÃO INSTALADA POR CADA DIVISÃO DO EDIFÍCIO.	53
TABELA 4-1 - PIORES CENÁRIOS UTILIZADOS PARA DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO NO HAP.	62
TABELA 4-2 - VALORES DE POTÊNCIA DE ARREFECIMENTO E AQUECIMENTO NECESSÁRIOS PARA A CLIMATIZAÇÃO DA HABITAÇÃO SEGUNDO O DESIGNBUILDER/ENERGYPLUS.	65

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 2-1 – FLUXO DE CALOR POR CONDUÇÃO.....	8
EQUAÇÃO 2-2 - FLUXO DE CALOR POR CONVECÇÃO.....	10
EQUAÇÃO 2-3 – FLUXO DE CALOR POR CONDUÇÃO ENTRE UMA SUPERFÍCIE E UM FLUIDO, JUNTO À MESMA.	10
EQUAÇÃO 2-4 – DEFINIÇÃO DO COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO.....	10
EQUAÇÃO 2-5 – CALOR EMITIDO POR UMA SUPERFÍCIE.....	12
EQUAÇÃO 2-6 – TROCA RADIATIVA ENTRE DOIS CORPOS.....	12
EQUAÇÃO 2-7 – CONDUÇÃO DE CALOR ATRAVÉS DE UMA PLACA.....	13
EQUAÇÃO 2-8 – CÁLCULO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE UM DETERMINADO MATERIAL.....	14
EQUAÇÃO 2-9 – TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR ATRAVÉS DE UMA PLACA.....	14
EQUAÇÃO 2-10 – FLUXO DE CALOR ENTRE DOIS MEIOS.....	15
EQUAÇÃO 2-11 - COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISSÃO TÉRMICA.....	15
EQUAÇÃO 2-12 – FLUXO DE CALOR ENTRE DOIS MEIOS UTILIZANDO O COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISSÃO TÉRMICA.....	15
EQUAÇÃO 2-13 – RESISTÊNCIA TÉRMICA DE UMA SUPERFÍCIE CONSIDERANDO EFEITOS DE CONVECÇÃO E RADIÇÃO.....	16
EQUAÇÃO 2-14 – RESISTÊNCIA TÉRMICA DE UMA PAREDE COMPOSTA, CONSIDERANDO RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS.....	16
EQUAÇÃO 2-15 – COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISSÃO DE CALOR DE UMA PAREDE COMPOSTA.....	16
EQUAÇÃO 2-16 – CÁLCULO DE GANHOS TÉRMICOS DE EQUIPAMENTO.....	22
EQUAÇÃO 2-17 – APROXIMAÇÃO DE CALOR SENSÍVEL DEVIDO A EQUIPAMENTOS NUMA HABITAÇÃO SEGUNDO A ASHRAE.....	22
EQUAÇÃO 2-18 - – APROXIMAÇÃO DE CALOR LATENTE DEVIDO A EQUIPAMENTOS NUMA HABITAÇÃO SEGUNDO A ASHRAE.....	22
EQUAÇÃO 2-19 – CÁLCULO DE PMV.....	25
EQUAÇÃO 2-20 – CÁLCULO DO PERCENTAGE OF PEOPLE DISSATISFIED.....	25

ABREVIATURAS

ADENE	Agência para a Energia
AQS	Águas Quentes Sanitárias
ASE	<i>Annual Sun Exposure</i> (Exposição Anual Solar)
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
AIE	Agência Internacional de Energia
BLAST	<i>Building Loads Analysis and System Thermodynamics</i>
DB	<i>DesignBuilder</i>
DOE	Departamento de Energia Norte-Americano
EP	<i>EnergyPlus</i>
HAP	<i>Hourly Analysis Program</i>
ITE50	Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios
LBNL	Laboratório Nacional de Lawrence Berkeley
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
NRH	Número de Renovações Hora
PPD	<i>Percentage of People Dissatisfied</i> (Percentagem de Pessoas insatisfeitas)
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> (Voto Médio Estimado)
QAI	Qualidade do Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
REH	Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
SDA	<i>Spatial Daylight Autonomy</i>
SST	Sistema Solar Térmico
UDI	<i>Useful Daylight Illuminance</i>
UE	União Europeia

1 INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo serão abordados tópicos fundamentais para introduzir a temática, integrando-a no trabalho desenvolvido. De forma a contextualizar, é efectuado um enquadramento do trabalho. Posteriormente são apresentados os objectivos desenvolvidos ao longo desta dissertação e a respectiva estrutura do documento apresentado.

1.1 Enquadramento do tema

Encontramo-nos numa época onde a sensibilidade do impacto no ser humano sobre o planeta se encontra constantemente a aumentar. Particularmente no que diz respeito às emissões produzidas pelos combustíveis fósseis consumidos para satisfazer as necessidades energéticas globais. Estas necessidades têm vindo a aumentar ao longo dos últimos anos, como se pode observar na Figura 1-1 que apresenta os valores de consumo de energia final no mundo, entre 1995 e 2016 [1].

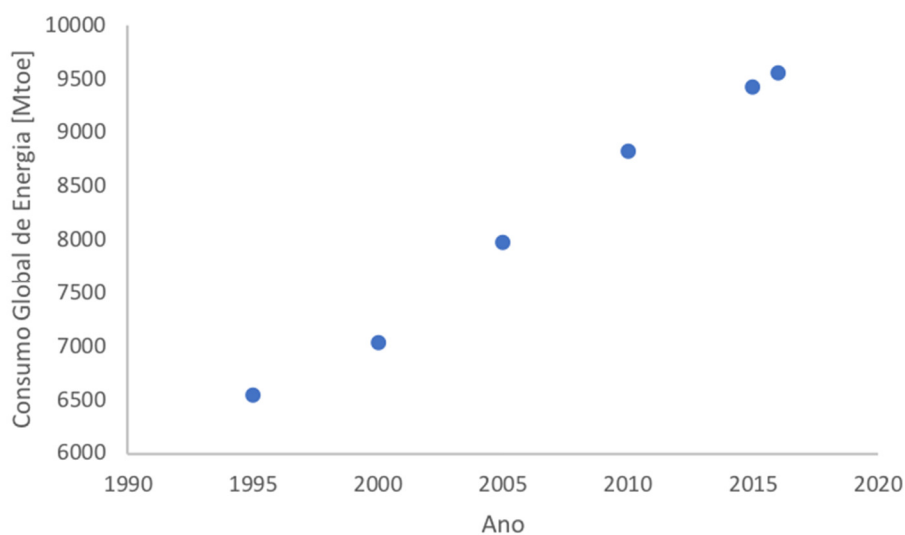


Figura 1-1 Consumo energético global entre 1995 e 2016 [1].

Neste sentido, é de extrema importância, de um ponto de vista ambiental, conseguir uma redução das emissões, relativamente aos valores actuais. Para tal, é importante caracterizar estes consumos. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), na

União Europeia (UE), os edifícios e a sua utilização foram responsáveis por cerca de 30% do consumo energético global em 2017 [2]. Este consumo sofreu um aumento de 20% entre 2000 e 2017 motivado principalmente por uma maior procura de conforto, aumento da população e alterações climáticas [2].

A Figura 1-2 apresenta, para o mesmo ano de 2017, a contribuição relativa de vários sectores para o consumo de energia eléctrica em Portugal, segundo dados da PORDATA [3]. Pode identificar-se o sector doméstico como o segundo maior consumidor de energia eléctrica (após a indústria), apresentando uma considerável fatia de 26% do consumo total. Estes 26% correspondem a um consumo anual de 12562 GWh [3].

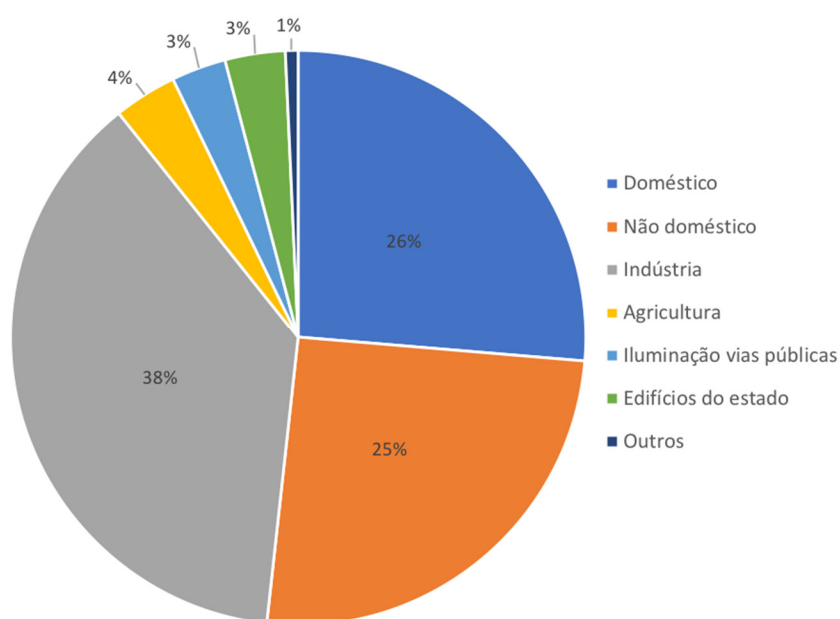


Figura 1-2 Contribuição dos vários sectores para o consumo de energia eléctrica em Portugal, no ano de 2017 [3].

O consumo doméstico é composto em parte por aquecimento ou arrefecimento das habitações, com pode ser observado na Figura 1-3, onde é apresentada a divisão dos consumos eléctricos residenciais, por utilização final, para Portugal [4]. Observa-se que o aquecimento e arrefecimento dos espaços são responsáveis por cerca de 35% do consumo total (eléctrico).

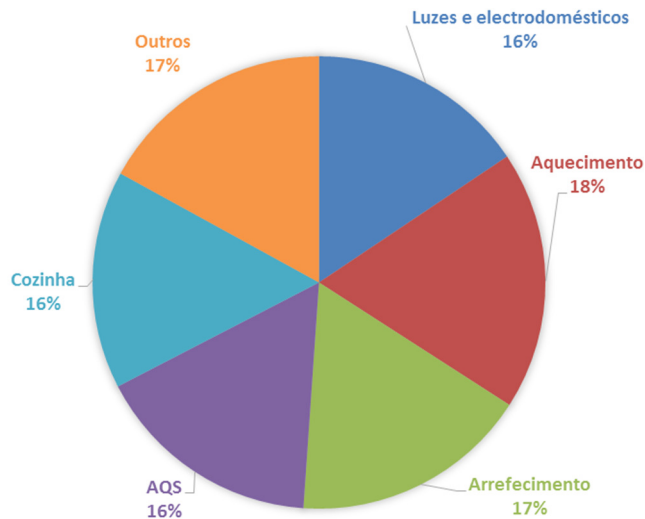


Figura 1-3 – Divisão de consumos eléctricos residenciais para Portugal por utilização final [4].

Segundo a Agência para a Energia (ADENE), os consumidores gastam em média cerca de 112 euros mensais com a energia (electricidade e gás) e água utilizadas na habitação [5]. A electricidade é a fonte de energia que implica a maior despesa, seguindo-se, com pouca diferença entre si, o gás [5]. Este valor é bastante significativo, tendo em conta o salário mínimo e médio praticados em Portugal (600 e 943€, respectivamente [6]).

Tendo em conta o peso do aquecimento e arrefecimento das habitações no consumo energético doméstico, uma medida possível de redução de consumos, que traria benefícios a nível ambiental, mas também a nível social e económico seria o aumento da eficiência dos edifícios.

Esta procura por maior eficiência de edifícios tem levado aos profissionais de diferentes áreas a estudar e a implementar soluções que se traduzam não só num menor consumo energético, mas também num maior conforto [7].

Um exemplo de uma solução são os terraços verdes (ver Figura 1-4), sendo esta uma alternativa viável e sustentável face às coberturas tradicionais, melhorando as características térmicas. Este tipo de cobertura proporciona um ambiente muito mais fresco face às tradicionais, mantendo o edifício protegido de temperaturas extremas, especialmente no Verão [8].



Figura 1-4 - Terraço verde na Fundação Calouste Gulbenkian em Lisboa.

Outra solução para melhorar o comportamento térmico dos edifícios e a sua eficiência energética consiste na aplicação de painéis fotovoltaicos nas suas envolventes [9] (ver Figura 1-5).



Figura 1-5 - Cobertura das instalações de um edifício de serviços em Portugal [10].

Uma área que tem possibilitado o estudo da eficiência energética de edifícios, assim como a definição de estratégias e configurações que permitem alcançar uma redução da mesma é a análise dinâmica de edifícios. Esta análise consiste na simulação de um edifício utilizando modelos computacionais e matemáticos baseados em princípios básicos das leis da física e práticas da engenharia [11]. Através desta é possível estudar, de uma maneira rápida e eficiente, um grande número de configurações e orientações de um edifício de modo a verificar quais as que permitem alcançar o objectivo de minimização dos consumos necessários para a sua utilização, com um determinado nível de conforto [12].

1.2 Objectivos

A presente dissertação tem como principal objectivo, a aplicação de ferramentas de simulação dinâmica para o estudo térmico e energético de um edifício.

Para tal, são definidos os seguintes objectivos intermédios, que podem ser divididos em três partes:

- **Pesquisa teórica**
 1. Investigar todos os factores intervenientes no comportamento térmico de um edifício;
 2. Pesquisar formas de caracterizar a performance do edifício, não só a nível energético mas também de conforto para os seus habitantes;
 3. Analisar várias ferramentas de simulação existentes e, após selecção das ferramentas a utilizar, aprofundar os conhecimentos da sua utilização;
- **Modelação do edifício**
 4. Caracterizar o edifício em termos de localização e envolvente;
 5. Criação de um modelo simplificado representativo do edifício;
 6. Introdução dos dados do modelo nos *softwares* de simulação a fim de criação do modelo do edifício;
- **Simulação e análise de resultados**
 7. Análise dos modelos criados para dimensionamento de equipamento de climatização;
 8. Simulação dinâmica do modelo para estudar e caracterizar o comportamento térmico do edifício;
 9. Comparar as ferramentas através dos seus resultados.

1.3 Organização e estrutura do documento

O presente trabalho está organizado em 5 capítulos.

No primeiro capítulo é feita uma introdução do trabalho e o enquadramento numa vertente global enquadrando o trabalho final de mestrado em temas fundamentais como é o caso da eficiência energética e as alterações climáticas. São apresentados também os objectivos do presente trabalho.

O segundo capítulo é dedicado a uma explicação teórica dos Fenómenos de Transmissão de Calor possíveis de acontecer, exemplificando para os que ocorrem nos edifícios. São também apresentados os vários agentes de ganhos térmicos num edifício é introduzido o tema do conforto (térmico e visual). O capítulo termina com uma apresentação do tema da simulação dinâmica de edifícios onde são apresentadas as duas ferramentas utilizadas no trabalho.

No terceiro capítulo é descrito o caso de estudo, nomeadamente é apresentada a estrutura arquitectónica do edifício, a zona climática onde este se encontra, a descrição detalhada da sua envolvente exterior e as características da ocupação da habitação e equipamentos nela contidos.

No quarto capítulo são primeiramente apresentados os métodos e considerações tomadas na criação dos modelos do edifício nas duas ferramentas. Segue-se a apresentação dos resultados das simulações dos modelos acompanhada de uma análise em detalhe dos resultados apresentados.

Por fim, no último e quinto capítulo são feitas as sínteses finais dos resultados obtidos e são apresentadas conclusões retiradas do presente trabalho.

2 COMPORTAMENTO TÉRMICO E ENERGÉTICO NOS EDIFÍCIOS

Como foi mencionado no capítulo anterior, construir edifícios energeticamente eficientes é extremamente importante, quer a nível ambiental, económico, social ou político. A análise do comportamento térmico dos edifícios permite não só obter uma melhor compreensão dos mecanismos de perdas energéticas do mesmo, mas também definir abordagens para minimizar estas perdas. Esta análise assenta principalmente em fenómenos de transferência de energia, sobre a forma de massa e calor.

Este capítulo aborda alguns conceitos teóricos necessários para uma melhor compreensão dos fenómenos analisados neste trabalho.

São, inicialmente, e de uma forma geral, apresentados os vários processos de transferência de calor: condução, convecção e radiação. Posteriormente, estes conceitos são enquadrados no âmbito da análise do comportamento térmico de edifícios. Por último, é feita uma apresentação do conceito de conforto térmico, dos factores que o influenciam e dos modelos usados para o avaliar.

2.1 Processos de transferência de calor

É importante para qualquer análise, conseguir descrever precisamente o que se quer estudar. No caso de análises termodinâmicas, o termo sistema é precisamente utilizado para identificar o objecto da análise. O sistema é então definido como aquilo que se quer estudar, que pode ir desde uma pequena secção de um permutador de calor até a um edifício, ou mesmo um planeta inteiro. Um sistema encontra-se separado da região que o envolve (vizinhança) através de uma fronteira. Todas as transferências de energia entre o sistema e a sua vizinhança ocorrem através desta. A Figura 2-1 representa esquematicamente um sistema e a sua vizinhança.

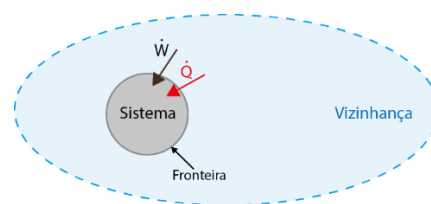


Figura 2-1 -Representação esquemática de um sistema e sua vizinhança.

Quando há uma diferença de temperatura entre um sistema não isolado e a sua vizinhança existe transferência de energia sob a forma de calor.

A energia pode ser transmitida através de interações de um sistema para a sua vizinhança através de trabalho e/ou calor, sendo que, para o trabalho final de mestrado desenvolvido, a parcela de calor é a única a considerar. A transferência de calor (energia térmica) corresponde à fracção da energia interna de um corpo que pode ser transferida devido à existência de um gradiente térmico – diferentes temperaturas em diferentes pontos - de forma a atingir-se um equilíbrio. Esta transferência de calor ocorre no sentido de zonas de temperatura superior para zonas com temperatura mais baixa e pode dar-se por condução, convecção e radiação [13].

São apresentados de seguida os processos associados à transmissão de calor.

2.1.1 Condução

A condução é um processo que pode ser visto como a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para as menos energéticas através das interações (moleculares e atómicas) entre partículas.

As temperaturas mais altas estão associadas à energia molecular mais alta, e esta, quando em contacto com outras moléculas de energia molecular mais baixa irá originar uma transferência de energia da zona de temperatura mais alta para a zona de temperatura mais baixa [13].

Na presença de um gradiente térmico de temperatura, a transferência de energia sob a forma de calor deve então ocorrer na direcção da diminuição deste mesmo gradiente, podendo o fluxo de calor por condução numa direcção x ser definido através da expressão diferencial unidimensional da Lei de Fourier (ver Equação 2-1),

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (2-1)$$

onde:

q''_x	– Fluxo de calor por condução	$[W/m^2]$
k	– Condutividade térmica do material	$[W/mK]$;
T	– Temperatura	$[K]$;
dT/dx	– Gradiente de temperatura na direcção x	$[K/m]$.

O sinal negativo na Equação 2-1 indica o sentido do fluxo de calor, sendo considerado positivo quando a transferência se faz no sentido da temperatura mais baixa. A condutividade térmica é uma propriedade do material, sendo que materiais com valores de k elevados são bons condutores de calor, e vice-versa.

2.1.2 Convecção

O movimento de um fluido está associado ao facto de que, em qualquer instante, um grande número de moléculas move-se individualmente ou como agregado. Esse movimento, na presença de um gradiente de temperatura, contribui para a transferência de calor [14].

O modo de transferência de calor por convecção abrange dois mecanismos: difusão e transporte. O primeiro consiste na transferência de energia devido ao movimento molecular aleatório (difusão), enquanto no segundo a energia é transmitida através do movimento global, ou macroscópico, do fluido (advecção).

A convecção pode ser separada entre dois tipos – convecção natural e convecção forçada. A convecção natural consiste no movimento derivado a diferenças de densidade (ou temperatura) no fluido, causadas pelo contacto com uma superfície com a qual haja transferências de calor. Um exemplo deste tipo de convecção é a circulação amena de ar num quarto devido a uma parede ou janela aquecidas pela luz solar. A convecção forçada ocorre quando uma força externa (para além da gravidade) move o fluido através de uma superfície com uma temperatura superior ou inferior a esta. Um exemplo deste tipo de convecção é o vento que sopra paralelo a uma parede ou telhado.

A taxa de transferência de energia por convecção, por unidade de superfície, pode ser quantificada pela lei do arrefecimento de Newton, apresentada na Equação 2-2,

$$q''_{conv} = h_c(T_s - T_\infty) \quad (2-2)$$

onde:

q''_{conv}	– Fluxo de calor por convecção.	$[W/m^2]$;
h_c	– Coeficiente de transferência de calor por convecção	$[W/(m^2K)]$;
T_s	– Temperatura da superfície	$[K]$;
T_∞	– Temperatura do fluido exterior	$[K]$.

A definição do coeficiente de transferência de calor por convecção pode ser obtida ao aplicar a lei de transferência de calor de Fourier da Equação 2-1 à região junto à superfície, obtendo-se uma expressão para a o fluxo de calor entre a placa e o fluido nessa região, dado pela Equação 2-3:

$$q''_y = -k_f \left. \frac{dT}{dy} \right|_{y=0} \quad (2-3)$$

onde:

q''_y	– Fluxo de calor por condução entre superfície e fluido	$[W/m^2]$;
k_f	– Condutividade térmica do fluido	$[W/mK]$;
T	– Temperatura	$[K]$;
dT/dy	– Gradiente de temperatura na direcção y	$[K/m]$.

Reorganizando a Equação 2-2 com a Equação 2-3 pode-se obter uma expressão para o coeficiente h_c (Equação 2-4), que relaciona o mesmo com o gradiente de temperatura à superfície, a temperatura da superfície, a temperatura do fluido exterior e a condutividade térmica do fluido.

$$h_c = \frac{-k_f \left. \frac{dT}{dy} \right|_{y=0}}{(T_s - T_\infty)} \quad (2-4)$$

Da Equação 2-4 verifica-se a sua dependência no diferencial de temperaturas entre a superfície, no gradiente térmico junto à superfície e na condutibilidade do fluido. Os dois primeiros parâmetros mencionados estão fortemente relacionados com as condições do escoamento junto à superfície.

Num escoamento que se desenvolve ao longo de uma superfície (com temperatura constante), observa-se um aumento da espessura das camadas limite de escoamento e térmica. Como tal, o gradiente de temperaturas nesta camada limite térmica tende a se reduzir ao longo do percurso do fluido (direcção x), uma vez que $T_s - T_\infty$ é constante ao longo deste mesmo percurso. Esta diminuição está esquematicamente representada na Figura 2-2.

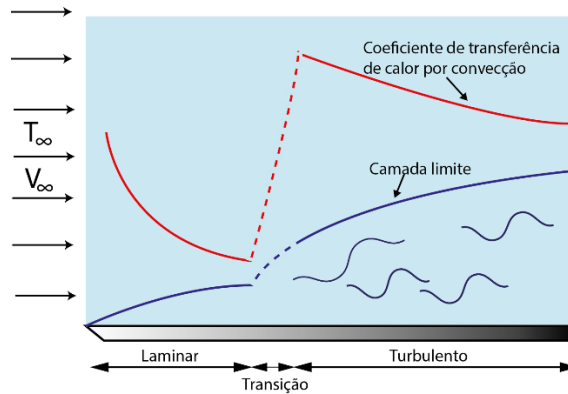


Figura 2-2 – Desenvolvimento do coeficiente de transferência de calor por convecção ao longo de uma superfície (imagem adaptada de [13]).

No que diz respeito à natureza do fluido, ocorre também que o valor de h_c aumenta significativamente de um escoamento laminar, para um escoamento turbulento (como representado esquematicamente na Figura 2-2). Este aumento pode ser explicado pelo aumento do gradiente térmico, resultante do aumento da mistura na camada limite num regime turbulento.

2.1.3 Radiação

A radiação é a energia que é emitida pela matéria devido a mudanças das configurações electrónicas dos seus átomos ou moléculas e que é transportada sob a forma de ondas electromagnéticas.

A transferência de calor por radiação dá-se como resultado do deslocamento de fótons de uma superfície para outra. Esses fótons ao atingirem a superfície podem ser transmitidos, absorvidos ou reflectidos [15]. Embora a radiação tenha origem na matéria, o seu transporte não exige suporte material, sendo até mais eficiente no vácuo.

A energia emitida por uma superfície através de radiação pode ser expressa através da Equação 2-5:

$$q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (2-5)$$

onde:

A	– Área da superfície	$[m^2];$
T	– Temperatura absoluta	$[K];$
ε	– Emissividade da superfície	$[-];$
σ	– Constante de Stefan-Boltzmann	$[W/(m^2K^4)].$
	$(\sigma = 5,6697 \times 10^{-8})$	

A emissividade da superfície representa a eficiência com que a mesma emite radiação térmica. Está compreendida entre 0 e 1, sendo 0 quando a superfície não emite radiação térmica alguma e 1 quando a superfície emite radiação térmica igual à emitida por um corpo negro à mesma temperatura.

A troca radiactiva entre um corpo e o ambiente que o envolve pode ser calculada através da Equação 2-6.

$$q_{rad} = A_s h_r (T_s - T_{amb}) \quad (2-6)$$

onde:

A_s	– Área da superfície do corpo	$[m^2];$
h_r	– Coeficiente de transferência de calor por radiação	$[W/m^2K];$
T_s	– Temperatura do corpo	$[K];$
T_{amb}	– Temperatura do meio envolvente	$[K].$

2.2 Coeficiente de transmissão térmica

Tendo sido efectuada uma breve apresentação dos vários processos de transferência de calor, são agora apresentados os meios concretos através dos quais um edifício ganha ou perde energia térmica. Um edifício tipicamente recebe energia térmica através da radiação solar, dos seus ganhos internos, ou através de possíveis trocas condutivas e convectivas

com o meio envolvente. É, portanto, importante conseguir quantificar o quanto as várias envolturas de um edifício deixam passar energia sob a forma de calor.

Na Figura 2-3 podemos observar a condução de calor através de um material com espessura L , que delimita dois meios (1 e 2) com temperaturas T_1 e T_2 , respectivamente.

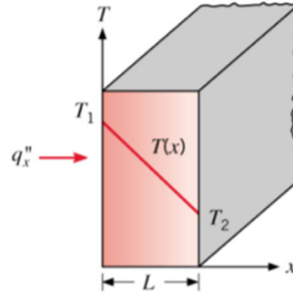


Figura 2-3 – Transmissão de calor unidimensional por condução [13].

Assumindo que $T_1 > T_2$, a taxa de transferência de energia do meio mais quente para o mais frio, por condução, é dada, de acordo com a Equação 2-7,

$$q_x = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (2-7)$$

onde:

- q_x – Condução de calor através de uma placa [W];
- k – Condutividade térmica do material [W/mK];
- A – Área [m²];
- T_1 – Temperatura meio 1 [K];
- T_2 – Temperatura meio 2 [K];
- L – Espessura do material [m].

Sendo o interesse deste trabalho a análise energética de edifícios, é importante introduzir o conceito de resistência térmica à condução (*R-value*, em inglês). Esta é definida pela Equação 2-8, para uma camada de espessura L e condutividade k ,

$$R = \frac{L}{k} \quad (2-8)$$

onde:

- R Resistência térmica do material $[W/m^2K]$;
- k – Condutividade térmica do material $[W/mK]$;
- L – Espessura do material $[m]$.

De acordo com a Equação 2-8, quanto menor for a condutividade térmica de um material, maior será a resistência térmica R de uma camada feita desse material. De igual modo, quanto maior for a espessura da camada, maior será a sua resistência térmica.

A expressão para a resistência térmica pode ser introduzida na Equação 2-7, obtendo-se a Equação 2-9:

$$q_x = A \frac{T_1 - T_2}{R} \quad (2-9)$$

permitindo assim calcular a taxa de transferência de calor através de uma camada de material através apenas da diferença de temperatura entre os meios que a placa divide, a sua área e a resistência térmica do material que a constitui.

Adicionalmente, também é importante considerar a transferência de calor através de materiais compostos por várias camadas adjacentes de materiais diferentes. Considere-se então uma parede (ou placa) composta por N_c camadas de diferentes materiais que divide dois meios (1 e 2), similarmente à situação apresentada em cima. Assumindo um regime estacionário, onde o fluxo de calor entre as várias camadas é igual, é possível obter a Equação 2-10, para o fluxo de calor entre os dois meios:

$$q_x = A \frac{T_1 - T_2}{\sum_{i=1}^{N_c} R_i} \quad (2-10)$$

onde:

- A – Área da parede $[m^2]$;
- T_1 – Temperatura meio 1 $[K]$;
- T_2 – Temperatura meio 2 $[K]$;
- N_c – Número de camadas $[-]$;
- R_i – Resistência térmica da camada i $[m^2K/W]$.

De forma a simplificar a Equação 2-10, pode-se utilizar o coeficiente global de condução térmica da parede composta para definir a resistência térmica da parede tendo em conta todas as suas camadas. Este coeficiente é definido pela Equação 2-11:

$$U = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_c} R_i} \quad (2-11)$$

onde:

- U – Coeficiente de transmissão térmica $[W/m^2K]$;
- N_c – Número de camadas $[-]$;
- R_i – Resistência térmica da camada i $[m^2K/W]$.

Desta forma, o fluxo de calor entre dois meios através de uma parede composta é calculado pela Equação 2-12:

$$q_x = AU(T_1 - T_2) \quad (2-12)$$

Como identificado na Figura 2-4, os processos participantes nas trocas de calor através das várias envolventes são os três processos anteriormente referidos: condução, convecção e radiação.

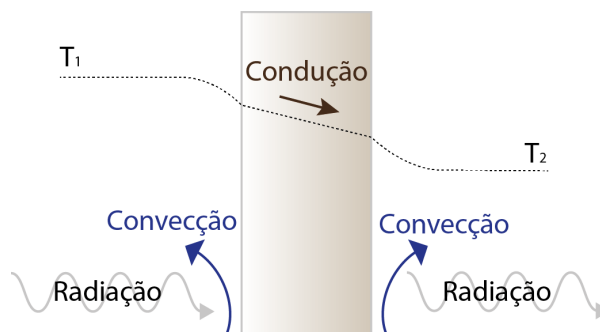


Figura 2-4 - Processos de transferência de calor numa parede.

É, portanto, necessário contabilizar a influência destes últimos dois no coeficiente global de transmissão térmica. Com esse intuito, são definidas as resistências superficiais interiores e exteriores, R_{si} e R_{se} , que quantificam a resistência de uma superfície à transmissão de calor por esses meios. Estas resistências podem ser calculadas como apresentado na Equação 2-13

$$R_{si/se} = \frac{1}{h_{c,si/se}} + \frac{1}{h_{r,si/se}} \quad (2-13)$$

onde:

$h_{c,si/se}$ – Coeficiente de transferência de calor por convecção $[W/m^2K]$;

$h_{r,si/se}$ – Coeficiente de transferência de calor por radiação $[W/m^2K]$;

A resistência total da parede à transmissão de calor pode ser então definida como a soma das resistências de condução dos vários componentes, que a constituem, assim como as suas resistências superficiais, ver Equação 2-14:

$$R_{total} = R_{si} + \sum_i^{N_c} R_i + R_{se} \quad (2-14)$$

O coeficiente total de uma parede, U_{total} , pode então ser definido como apresentado na Equação 2-15

$$U_{total} = \frac{1}{R_{total}} \quad (2-15)$$

Apresentado o coeficiente global de transmissão de calor de uma parede, é apresentada a inércia térmica. A inércia térmica de um edifício é a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior, ou seja, de reduzir a transferência ou transmissão de calor. Isto acontece devido à sua capacidade de acumular calor nos elementos construtivos.

Esta pode ser calculada através da

$$I = \frac{\sum_{i=1} A_i \cdot M_i}{A_p} \quad (2-16)$$

onde:

A_i – Coeficiente de transmissão térmica $[m^2]$;

M_i – Massa específica $[kg/m^2]$;

2.3 Ganhos nos edifícios

Nesta secção são apresentados os três principais tipos de ganho num edifício, para além da condução por diferença de temperatura entre o interior e o exterior: radiação solar, actividade humana e equipamentos (incluindo iluminação), como representado na Figura 2-5.



Figura 2-5 – Ganhos externos e internos num edifício.

Os ganhos internos de um edifício são todas as fontes de energia calorífica que se encontram no seu interior. Estes podem ser diferenciados entre: relativos a pessoas e relativos a equipamentos. No primeiro caso temos o calor derivado da actividade metabólica das pessoas que nele habitam e/ou trabalham. No segundo caso temos o calor produzido pelos vários equipamentos que se encontram, e são utilizados, dentro do edifício. Exemplos de equipamentos são: iluminação, computadores, televisões, variados electrodomésticos ou outros tipos de aparelhos não eléctricos tais como os fogões, caldeiras, ou esquentadores a gás.

2.3.1 Radiação solar

A radiação solar é um dos fluxos de energia mais influentes nos edifícios em climas com muita exposição solar. Esta, como o nome indica, é emitida pelo sol, chegando aos edifícios após estar sujeita à absorção por vários gases quando passa pela atmosfera. A energia irradiada para a atmosfera terrestre tem um valor médio constante, denominado constante solar, de 1367 W/m^2 [16].

A radiação solar sobre uma superfície, dentro da atmosfera terrestre é constituída por três componentes, como representado na Figura 2-6 [17]:

- **Radiação directa:** Radiação que vem directamente do sol e chega a uma superfície sem obstáculos a obstruir a sua passagem;
- **Radiação difusa:** Parte da radiação ao atravessar a atmosfera é reflectida pelos diversos componentes atmosféricos, como nuvens, outra parte é absorvida e a que sobra é difundida (através de pó em suspensão, etc.);
- **Radiação reflectida pela terra:** Radiação que é proveniente da reflexão no solo e nos objectos circundantes.

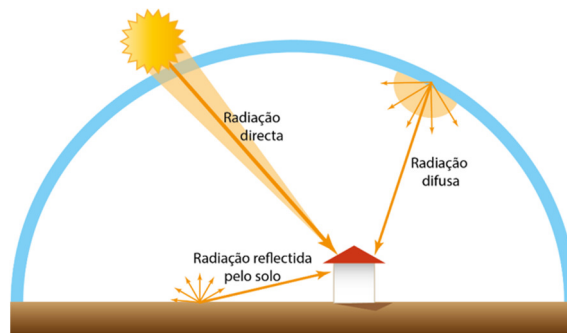


Figura 2-6 - Radiação na atmosfera (adaptado de [16]).

A quantidade de energia solar que incide num edifício depende do ângulo com que a radiação solar incide sobre a superfície terrestre, denominado por ângulo solar. Um menor ângulo significa uma maior dispersão da energia solar na superfície da Terra. Durante o Inverno, o ângulo solar é menor, sendo maior durante o Verão (ver Figura 2-7). Os ângulos solares de uma localização específica mudam todos os dias [18].

Para a utilização de dispositivos de sombreamento, torna-se necessário conhecer com exactidão a trajetória aparente do sol ao longo do ano em cada ponto do nosso planeta.

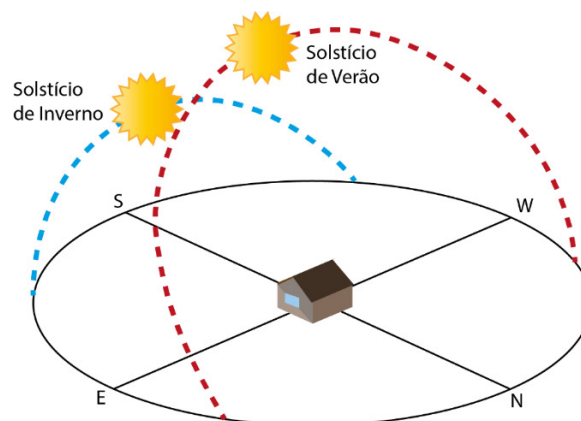


Figura 2-7 - Trajectos solares para os solstícios de Verão e Inverno (adaptado de [16]).

O ângulo solar determina ainda se a energia solar directa incide nos envidraçados ou não como representado na Figura 2-8, para o caso de um edifício localizado no hemisfério norte. É possível verificar que, durante o Verão, para o caso representado, as palas impedem que a luz solar entre directamente em janelas viradas a sul. Já no Inverno, com o ângulo solar mais baixo, a luz solar consegue mais facilmente entrar no edifício através da janela, evitando as palas. A situação contrária também pode acontecer, em que durante o Inverno existem zonas do edifício que se encontram sombreadas e no Verão não.

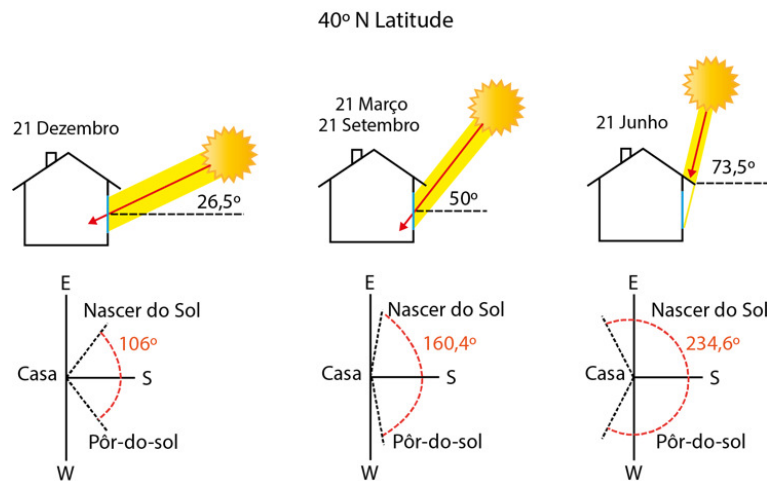


Figura 2-8 - Ângulos solares (em cima) e amplitude da exposição solar (em baixo) para uma janela virada a sul numa casa situada no hemisfério norte (adaptado de[16]).

2.3.2 Actividade humana

As trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente realizam-se através dos seguintes mecanismos, esquematicamente representados pela Figura 2-9:

- **Convecção:** calor trocado com o ar devido à diferença de temperatura entre a pele/roupa e o primeiro;
- **Radiação:** calor trocado por radiação, entre a pele/roupa e as superfícies envolventes devido às respectivas diferenças de temperatura;
- **Respiração:** calor trocado com o ambiente devido à diferença de temperatura entre o ar que se inspira e o ar que se expira;
- **Evaporação:** calor dissipado para o ambiente devido à evaporação de água (tipicamente suor) à superfície da pele.

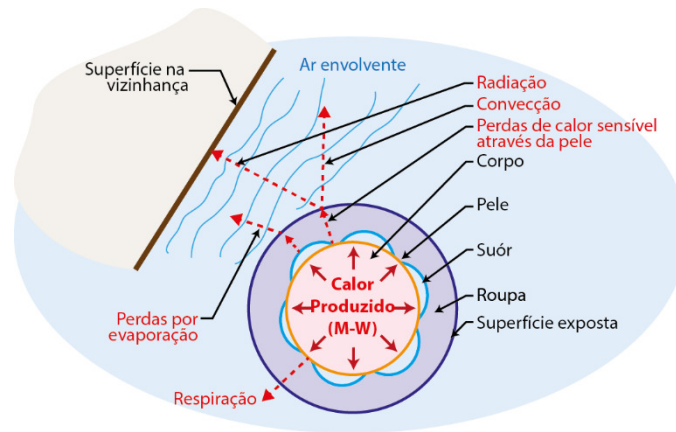


Figura 2-9 - Interação térmica do corpo humano com o meio ambiente (imagem adaptada de [19]).

Os ganhos internos devido à actividade humana podem ser mais ou menos relevantes para o comportamento térmico de um edifício, dependentemente da ocupação do mesmo, e do grau de actividade efectuada. Como se pode ver na Tabela 2-1, que apresenta valores de potência produzida consoante a actividade, uma pessoa em repouso produz entre 80 a 100 W de potência calorífica. Já uma pessoa a praticar uma actividade desportiva pode chegar a produzir cerca de 600 W. Tendo em conta estes valores, é de esperar que, numa residência, com baixa taxa de ocupação e actividade, os ganhos internos devido à actividade humana sejam baixos. Já num ginásio, ou num escritório com uma grande taxa de ocupação se espera que estes contribuam significativamente para o comportamento térmico do espaço.

Tabela 2-1 - Nível do metabolismo em função da actividade desenvolvida [20].

Actividade	W	(met)*
Em repouso	80 – 100	0,8 – 1,0
Actividade sedentária	100 – 120	1,0 – 1,2
Trabalho leve	140 – 180	1,4 – 1,8
Trabalho oficial médio	200 – 300	2,0 – 3,0
Ginástica	300 – 400	3,0 – 4,0
Desporto de competição	400 - 600	4,0 – 6,0

*1 met = 58,15 W/m²; área média do corpo humano A = 1,75 m².

2.3.3 Equipamentos

Todos os equipamentos eléctricos existentes num edifício dissipam calor na sua operação, devido às suas ineficiências [20]. Os ganhos internos devido a equipamentos podem ser

divididos entre iluminação, equipamentos de cozinha/domésticos e equipamentos de lazer.

A iluminação, nos dias de hoje, com a grande utilização da tecnologia LED (*Light Emitting Diode*), não contribui tanto como outrora contribuiu, uma vez que se consegue obter um maior rendimento de luminosidade em comparação com as lâmpadas incandescentes ou até fluorescentes. Enquanto uma lâmpada incandescente converte apenas 5% da energia eléctrica que consome em luz, uma lâmpada LED pode converter até 40% da energia eléctrica consumida.

A nível de equipamentos eléctricos de cozinha e domésticos, temos os fornos, fogões, frigoríficos, máquinas de lavar, etc. Estes predominam a contribuição de equipamentos, devido às suas grandes potências (no caso do forno e do fogão). Existem outros tipos de aparelhos que não são eléctricos, mas que também produzem calor, como os fogões a gás e as caldeiras ou esquentadores a gás, que devem igualmente ser levados em conta na contabilização dos ganhos internos. Outros equipamentos eléctricos que também contribuem significativamente para o aquecimento de um edifício são os computadores, televisões, impressoras, etc. No caso dos computadores e televisões, apesar do constante aumento da sua eficiência com o desenvolvimento tecnológico, o seu uso prolongado aumenta significativamente o seu contributo térmico.

A quantificação dos ganhos térmicos de cada um destes equipamentos pode ser obtida, segundo a *American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) aplicando uma série de factores à energia consumida, por cada equipamento, como apresentado na Equação 2-17 [21]:

$$q_{eq} = P_{eq}F_UF_R \quad (2-17)$$

onde:

- P_{eq} – Consumo instantâneo energético do equipamento [W];
- F_U – Factor de utilização [-];
- F_R – Factor de radiação [-];

O factor de utilização descreve a proporção de equipamentos em relação ao máximo disponível que está a ser utilizado (ou o nível ao qual ele está a ser utilizado). A sua multiplicação pelo consumo energético de um equipamento fornece um valor médio de

consumo. O factor de radiação descreve a proporção de calor que é radiado em relação à energia eléctrica consumida.

Segundo a ASHRAE, para análise de edifícios residenciais, pode ser considerado um valor médio que represente todos os equipamentos domésticos. Segundo a ASHRAE [19], a contribuição de calor sensível ($q_{gi,s}$) e latente ($q_{gi,l}$) devido a equipamentos numa residência pode ser obtida por

$$q_{gi,s} = 136 + 2.2A_c + 22N_{oc} \quad (2-18)$$

e

$$q_{gi,l} = 20 + 0.22A_c + 12N_{oc} \quad (2-19)$$

onde:

A_c – Área climatizada [m^2];

N_o – Número de ocupantes [–];

É importante também referir que qualquer quantidade de calor que se destine a climatizar o ambiente não deve ser tomada como ganho interno. No caso da estação de aquecimento (Inverno), como a existência de ganhos é favorável de ponto de vista da economia de energia, muitas vezes estes são ignorados no processo de cálculo das necessidades energéticas. Na estação de arrefecimento (Verão), ao contrário do Inverno, os ganhos internos são desfavoráveis e, como tal, devem ser levados em conta na estimativa das necessidades de arrefecimento [20].

2.4 Conforto

Nesta subsecção aborda-se o tema de conforto, tanto térmico como visual, ambos bastante importantes para a vivência numa habitação.

2.4.1 Conforto térmico

O conforto térmico não tem uma definição exacta, pois este é resultante de sensações humanas onde intervêm factores subjectivos. A ASHRAE define conforto térmico como

“o estado mental que expressa satisfação do indivíduo com o ambiente térmico que o circunda” [19]. Como dito acima, o conforto não é objetivo e está dependente de factores específicos a cada indivíduo, como estado mental, metabolismo, vestuário e com variáveis quantificáveis tais como a temperatura do ar, humidade relativa, temperatura média radiante e velocidade do ar, cada um deles contribuindo de forma diferente para as trocas térmicas e consequentemente conforto térmico de um indivíduo.

Por outras palavras, o conforto, no contexto térmico, significa não ter frio nem calor e nestes casos o indivíduo não sente nenhum desagrado ou irritação ao realizar as tarefas no determinado espaço em que se encontra.

A Figura 2-10 esquematiza a influência da temperatura e humidade relativa do ar no conforto térmico percebido por um indivíduo. A região de temperaturas em que se pode considerar que existe conforto está limitada entre cerca dos 20 °C e 30 °C, estando esta região também limitada entre valores de cerca de 20% e 80% de humidade relativa do ar. No entanto, estes valores variam de indivíduo para indivíduo, e de situação para situação.

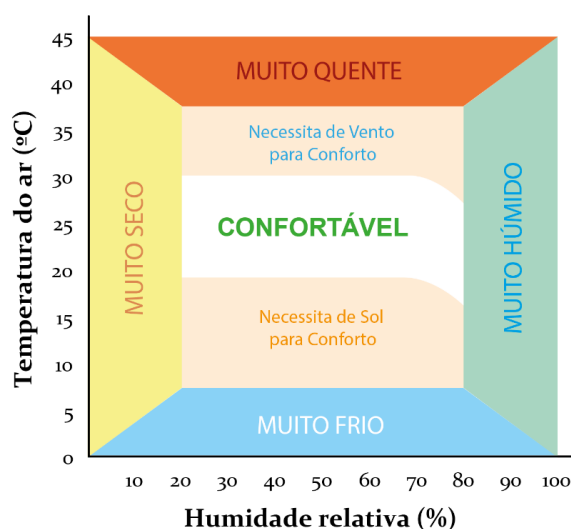


Figura 2-10 - Diagrama representativo das condições de temperatura e humidade relativa necessárias para existir conforto térmico (adaptado de [22]).

Num espaço com várias pessoas, todas elas com vestuários diferentes e a realizar actividades diferentes, é difícil gerar um ambiente de conforto mútuo. Para atingir o conforto térmico, num dado espaço, é necessário proporcionar à maioria das pessoas um ambiente confortável. Para tal, foram definidos vários índices ao longo dos anos, que permitem quantificar o nível de conforto térmico [23].

A norma internacional de conforto térmico EN ISO 7730:2005 [24], assim como a norma ASHRAE 55-2004 [25] têm como base o modelo para o conforto térmico desenvolvido por Fanger [26]. O modelo foi criado através de análises estatísticas de acordo com resultados obtidos em estudos na Dinamarca, em câmaras climatizadas. Nesses estudos, as pessoas sujeitas a condições ambiente diferentes, registavam os votos sobre a escala sétima (Tabela 2-2), que aponta desde muito frio até muito quente.

Tabela 2-2 - Escala de conforto térmico (escala de sete pontos da ASHRAE).

Voto	Sensação Térmica
-3	Muito frio
-2	Frio
-1	Ligeiramente frio
0	Neutro
1	Ligeiramente quente
2	Quente
3	Muito quente

Estas normas utilizam o índice denominado *Predicted Mean Vote* (PMV) que classifica o nível de insatisfação do conforto térmico dos ocupantes segundo a escala da Tabela 2-2.

O índice PMV é calculado através da Equação 2-20.

$$PMV = aT_a + bp_v - c \quad (2-20)$$

onde:

- T_a – Temperatura da superfície [°C];
- p_v – Pressão parcial de vapor de água no ar [kPa];
- a, b, c – Coeficientes de cálculo do PMV [-].

Os valores de a , b e c são definidos segundo a ASHRAE e variam segundo o período de exposição e género do indivíduo. Segundo a Equação 2-20, é necessário um aumento de temperatura em 3 °C ou um aumento de pressão de vapor de 3 kPa para mudar o valor de PMV.

Devido a preferências de cada indivíduo, é expectável que haja uma distribuição de votos. De forma a caracterizar esta variabilidade, é definido o índice denominado *Percentage of*

People Dissatisfied (PPD), que estabelece a percentagem de ocupantes insatisfeitos e que foi correlacionada empiricamente com o PMV. Esta relação é definida pela Equação 2-21.

$$PPD = 100 - 95e^{-0,03353PMV^4 - 0,2179PMV^2} \quad (2-21)$$

A Figura 2-11 apresenta a relação entre o PMV e o PPD, onde se pode observar que quanto mais próximo de $PMV = 0$, menor é o número de pessoas insatisfeitas. Este valor de PPD, porém, nunca chega a zero, existindo cerca de 5% de insatisfação nestas condições.

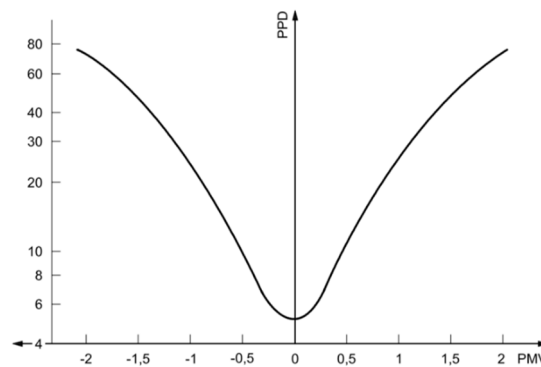


Figura 2-11 - PPD em função do PMV (retirado de [24]).

A norma EN ISO 7730 considera o ambiente termicamente confortável quando a percentagem de ocupantes insatisfeita não é superior a 10%, o que equivale a um PMV de ± 0.5 .

Os ambientes são categorizados em quatro níveis que representam diferentes exigências para o conforto térmico de acordo com o tipo de edifício em análise, como descrito na Tabela 2-3.

Tabela 2-3 - Categorias de ambientes térmicos I, II, III e IV da EN 15251 (2007) análogas às categorias A,B,C e D da ISO 7730.

Categoria	Descrição
I	Elevado nível de expectativa. Recomendado para espaços ocupados por pessoas frágeis e sensíveis ou com necessidades especiais (deficientes, doentes, crianças muito jovens e pessoas idosas);
II	Nível normal de expectativa e adotado para novas construções e renovações;
III	Nível aceitável com expectativa moderada e pode ser utilizado para os edifícios existentes;
IV	Valores fora dos critérios anteriores. Apenas deve ser aceite para uma parte limitada do ano.

2.4.2 Conforto visual

A iluminação adequada dos espaços é fundamental para o correcto desempenho das actividades e aumento do conforto dos seus ocupantes [27], [28]. Como tal, o dimensionamento das áreas envidraçadas, consoante a orientação solar contribui significativamente para o conforto de espaços interiores de uma habitação.

Do ponto de vista de análise de conforto visual, é necessário quantificar este conforto em termos de tipo de iluminação (intensidade, ângulo de incidência, etc.). No que diz respeito a intensidade, existem vários índices que foram desenvolvidos, sendo eles [19,20]:

- *Spatial Daylight Autonomy* (sDA) – Define a percentagem de tempo ocupado num ano onde o valor mínimo estipulado de iluminância pode ser obtido somente por luz solar;
- *Annual Sunlight Exposure* (ASE) – Número de horas anual em que um ponto no plano de trabalho recebe luz solar directa com um valor de iluminância superior ao limite máximo estipulado;
- *Useful Daylight Illuminance* (UDI) – Número de horas ocupadas por ano em que os valores de iluminância se encontram entre o intervalo estipulado.

Os índices sDA e ASE são normalmente analisados em conjunto, uma vez que excesso de iluminância, assim como falta dela, pode causar desconforto. O UDI fornece de certa forma uma junção das outras duas métricas.

Os valores considerados para conforto dependem do tipo de utilização, sendo que Nabil *et al.* [29], após uma revisão de vários estudos feitos sobre o efeito da iluminância nas pessoas levou a considerar um intervalo definido entre 100 e 2000 lux.

2.5 Simulação dinâmica de edifícios

A simulação dinâmica do desempenho energético de edifícios permite calcular as suas cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento ao longo do tempo. Os edifícios são sistemas bastante complexos, e a sua caracterização através de modelos de simulação dinâmica permite, de uma forma eficiente, avaliar métricas de performance destes, tais como as suas necessidades a nível de requisitos energéticos de climatização ou condições

de conforto interno nos edifícios. Feita num edifício real, esta análise poderia requerer uma grande quantidade de medições *in situ*, algo que se poderia tornar excessivamente custoso para edifícios de maior complexidade.

A Figura 2-12 representa esquematicamente os principais elementos de uma simulação dinâmica de um edifício.

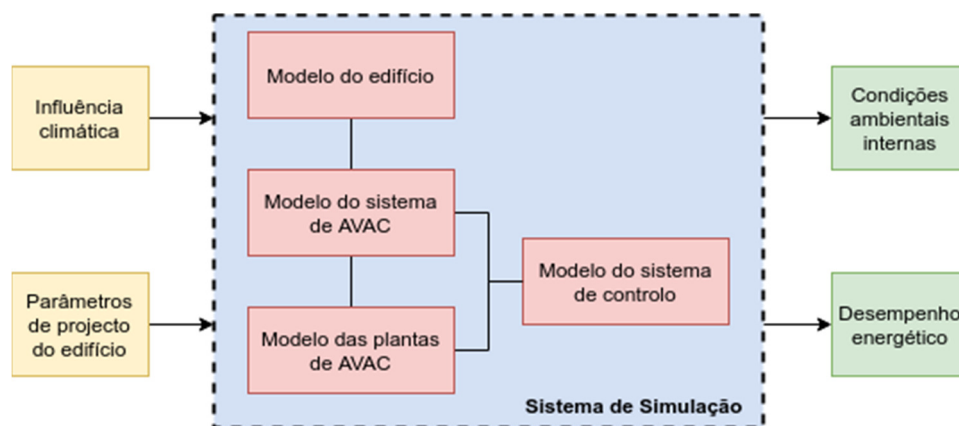


Figura 2-12 - Principais elementos na simulação energética de edifícios.

Tipicamente, para efectuar a simulação dinâmica de um edifício, é necessário criar um modelo com base em vários parâmetros, tais como: clima do local, geometria do edifício, materiais da envolvente, ganhos internos, sistemas de climatização, centrais de transformação de energia, perfis de utilização e ocupação, etc [12]. Estes encontram-se identificados na Figura 2-12 nas caixas amarelas à esquerda. Testes parâmetros são utilizados para definir os vários modelos que constituem o sistema a simular, tais como o modelo físico do edifício e os vários modelos dos sistemas de climatização e seu controlo (caixas a vermelho).

Exemplos de métricas que são usualmente retiradas destas simulações, são: perfis de temperatura nas várias zonas e superfícies, indicadores de conforto (PPD e PMV por exemplo), fluxos de calor entre as várias zonas, perfis de cargas de arrefecimento e aquecimento (incluindo as cargas de pico para o dimensionamento do sistema de climatização), etc.

Estas ferramentas podem ser um importante contributo para reduzir o gasto de energia em edifícios [30], [31]. Como mencionado no Capítulo 1, em Portugal, cerca de um terço do consumo de energia eléctrica em edifícios é usado para aumentar o conforto térmico das habitações, sendo os restantes dois terços repartidos por equipamentos eléctricos, iluminação e aquecimento de águas, entre outros. A simulação de um edifício permite

determinar o consumo de energia (iluminação, equipamentos, climatização, etc.) e as suas causas, possibilitando assim analisar as melhores opções para reduzir esse consumo.

Em Portugal, o ponto 3.2.1. da Portaria nº 349-D/2013 de 2 de Dezembro de 2013 [32] refere que as simulações para certificação energética de edifícios devem ser realizadas por programas acreditados pela norma ASHRAE 140 [33], o qual deve ter, no mínimo, capacidade para modelar:

- Mais do que uma zona térmica;
- Incrementos de tempo horário e por um período de um ano civil, contabilizado em 8760 horas;
- A variação horaria das cargas internas, diferenciadas em ocupação, iluminação e equipamentos;
- Os pontos de ajuste dos termostatos das zonas térmicas e a operação dos sistemas de climatização, permitindo a respectiva parametrização, de forma independente, para dias da semana e fins-de-semana;
- A recuperação de calor do ar de rejeição;
- O efeito da massa térmica do edifício.

Hoje em dia existem muitos softwares que permitem realizar simulações térmicas de edifícios cumprindo os requisitos acima mencionados. Entre eles encontram-se o TRACE [34], o *EnergyPlus* [35], o *Carrier's Hourly Analysis Program (HAP)* [36] e o DOE-2 [37].

No presente trabalho foram utilizados o HAP e o EnergyPlus, tendo este último sido utilizando o *DesignBuilder* [38] como interface gráfica.

2.5.1 Hourly Analysis Program

O *Hourly Analysis Program*, da *Carrier*, é uma ferramenta computacional que auxilia engenheiros em projectos de AVAC [36]. A versão utilizada para este estudo foi a 4.8 (ver Figura 2-13).

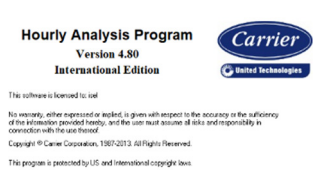


Figura 2-13 – Painel inicial do software HAP.

O HAP consiste em duas ferramentas [36]. A primeira tem como objectivo estimar cargas e projectar sistemas. A segunda tem como objectivo simular o consumo energético do edifício e calcular custos de energia. Utilizando o método de função de transferência da ASHRAE, o HAP calcula as potências de arrefecimento e aquecimento para edifícios comerciais, a fim de determinar os tamanhos necessários para os componentes do sistema de AVAC. Adicionalmente, fornece informações necessárias para seleccionar e especificar equipamentos e determina as taxas de caudal de ar necessárias para os espaços.

Este *software* também estima o uso e os custos anuais de energia para os equipamentos de AVAC para um edifício, simulando a operação do edifício para cada uma das 8760 horas num ano. Os resultados da análise de energia são usados para comparar o uso de energia e os custos de energia de projectos alternativos de sistemas AVAC [39], ou soluções construtivas [40], para que o melhor projecto possa ser escolhido.

Durante uma análise energética, o HAP executa as seguintes tarefas [36]:

- Simula a operação hora-a-hora de todos os sistemas de aquecimento e ar condicionado no edifício;
- Simula a operação hora-a-hora de todos os equipamentos da central do edifício;
- Utiliza os resultados das simulações de hora-a-hora para calcular o uso anual total de energia e custos;
- Gera relatórios, em formato tabela ou gráfico, de dados horários, diários, mensais e anuais.

Neste trabalho, o HAP foi utilizado para determinar o dimensionamento dos aparelhos de climatização que seriam necessários para obter condições de conforto térmico na habitação.

No *HAP*, o sistema a analisar está subdividido em cinco categorias (ver Figura 2-14): dados meteorológicos (*Weather*), características dos espaços (*Spaces*), características dos sistemas (*Systems*), características das centrais (*Plants*), características do edifício (*Building*).

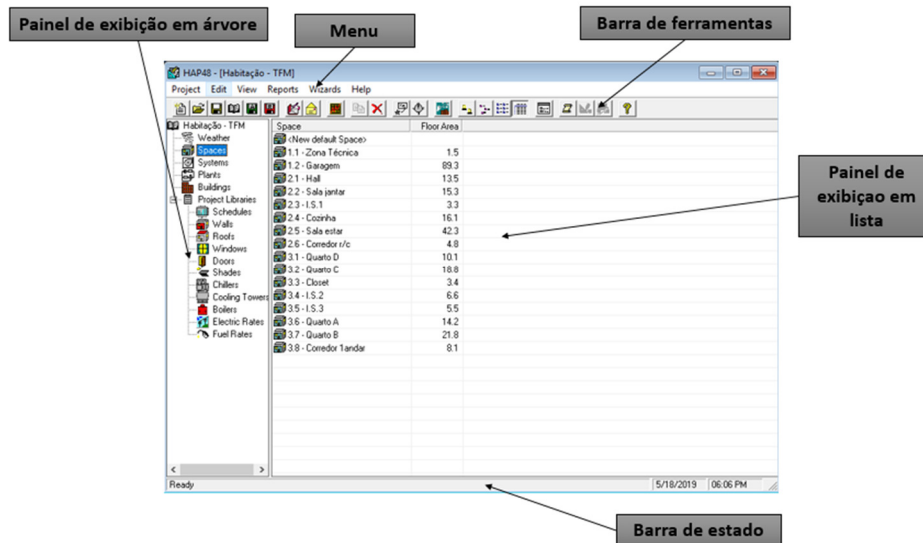


Figura 2-14 -Vista geral da interface do software HAP.

Clima (*Weather*)

O *Weather* define as características climáticas de Verão e Inverno do local onde está o edifício, como por exemplo:

- Perfis de temperatura e humidade de projecto;
- Perfis de fluxo solar em céu limpo;
- Perfis de cargas térmicas solar em céu limpo.

O HAP distingue os perfis climáticos utilizados para projectar as potências de climatização necessárias dos perfis utilizados para a simulação dos sistemas ou edifícios. Na determinação dos perfis de temperatura e humidade do projecto são considerados os perfis de temperaturas e as humidades específicas correspondentes ao dia mais quente de cada mês do ano.

Espaços (*Spaces*)

No HAP, a geometria do modelo é criada com base na definição do valor das áreas e orientação das mesmas, não sendo possível a visualização 3D do modelo criado. Nesta secção são definidos os espaços, e nestes são definidos todos os elementos necessários à sua caracterização. Para tal existem os seguintes separadores:

- **Cargas internas:** onde são definidos a iluminação, equipamentos e pessoas;

- **Paredes, janelas, portas e sombreamentos:** que existam nas janelas, onde estão definidas as características dos materiais, a orientação e área;
- **Cobertura e clarabóias:** onde estão definidas as características dos materiais, a orientação e área;
- **Infiltrações de ar;**
- **Pavimento:** onde estão descritas as características dos materiais e qual a “condição”, se o espaço está acima de uma zona climatizada ou não;
- **Divisórias:** permite caracterizar uma parede interior ou divisória de tecto que está em contacto com um espaço não climatizado.

Sistemas (*Systems*)

Na secção *Systems* são definidos os tipos de equipamento, sistemas e o número de zonas a ser climatizadas, caracterizando-se também o tipo de ventilação. É também nesta secção que são definidos os requisitos de temperatura e horário de funcionamento da climatização em cada zona. É possível retirar informação acerca do dimensionamento de cada sistema de climatização definido.

Centrais (*Plants*)

A secção *Plant* permite definir as centrais térmicas dos sistemas, ou seja, definir quais os sistemas que poderão estar associados entre si. O HAP permite definir centrais de água gelada, água quente e vapor.

Edifícios (*Buildings*)

Na secção *Buildings* é definido um ou mais edifícios, incluindo todos os sistemas de AVAC e outros que possam existir (associados às várias zonas de climatização definidas), assim como a informação acerca do custo dos vários tipos de energia. Fornece-nos informação acerca do perfil de consumo energético anual do edifício e custos associados.

2.5.2 DesignBuilder/EnergyPlus

No presente trabalho, para além do já descrito HAP, foi utilizado o *software DesignBuilder* [38] para produzir o modelo tridimensional do edifício e introduzir as soluções construtivas adoptadas, com o fim de simular o edifício com o *EnergyPlus*.

O *EnergyPlus* [35] é um programa de modelação energética de edifícios desenvolvido para a simulação dos sistemas de aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação artificial. Foi criado pelo Laboratório Nacional de Lawrence Berkeley (LBNL), por iniciativa do Departamento de Energia Norte-Americano (DOE) a partir de outros dois *softwares* (o BLAST – “*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*” e o DOE-2).

A sua aplicação vai desde o estudo do impacto de falhas de sistemas AVAC no comportamento de edifícios [41] à análise de eficácia de sombreamento externo [42], entre outras [43].

A versão do *DesignBuilder* utilizada neste trabalho é a 5.4, associada à versão 8.6 do *EnergyPlus* (ver Figura 2-15).



Figura 2-15 - Vista geral do DesignBuilder.

Este programa possui uma plataforma de modelação de edifícios em 3D de fácil manipulação, e baseia-se nas características geométricas e físicas do edifício e dos diferentes sistemas integrados para, utilizando o *EnergyPlus*, proceder ao cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento que garantam o conforto dos ocupantes. Com ele é também possível avaliar o desempenho energético do edifício. Não há limitações de geometrias tridimensionais e estão disponíveis elementos realísticos que fornecerem de forma imediata detalhes como por exemplo as espessuras das paredes [38].

A sua interface gráfica é uma mais-valia que torna as simulações com este *software* mais simples e intuitivas, como se pode observar na Figura 2-16, onde a interface de utilização do *DesignBuilder* se encontra apresentada.

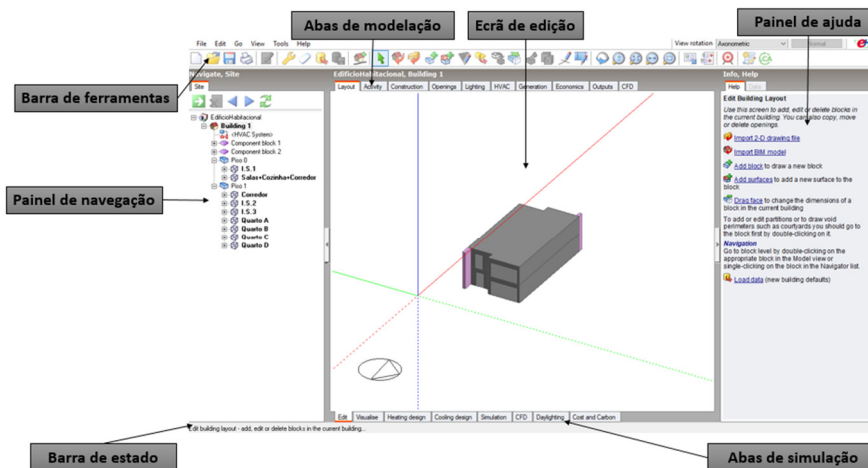


Figura 2-16 - Interface de utilização do DesignBuilder.

Ao criar um novo modelo no DB é necessário escolher a localização e o tipo de análise. Ao escolher a localização (ver Figura 2-17) o programa associa a essa cidade os ficheiros climáticos existentes na sua base de dados, por exemplo para Portugal existem várias cidades disponíveis, o que permite obter simulações mais realísticas pois, como já mencionado, o clima influencia as necessidades de aquecimento e arrefecimento de um edifício. Caso seja necessário, é também possível adicionar um novo clima ao programa.

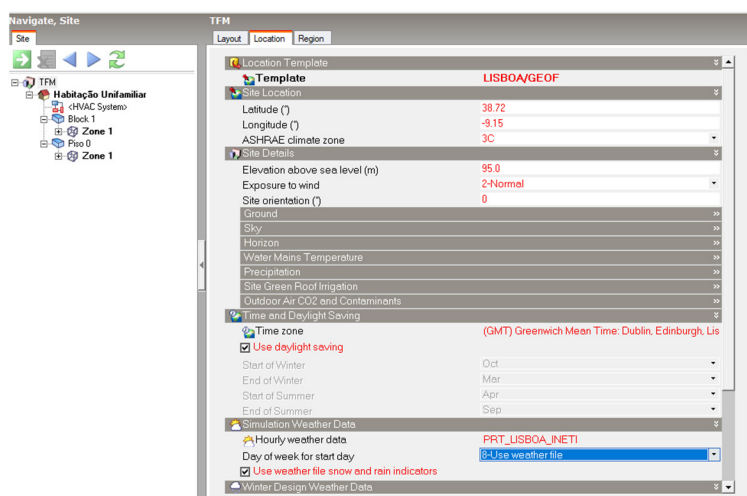


Figura 2-17 – Introdução da localização do edifício no DB.

No menu do DB pode-se abrir ou guardar um projecto, tal como exportar dados para outro programa, ou vice-versa. É possível importar para o *DesignBuilder* ficheiros CAD, de modo a facilitar a construção do modelo. Na barra de ferramentas estão disponíveis as ferramentas utilizadas para a construção geométrica do modelo e o ecrã de edição é onde se constrói o modelo geométrico do edifício.

A introdução de dados do edifício, em geral ou de uma zona, é feita através de cinco separadores:

- *Activity* – Este separador baseia-se no tipo de ocupação e no controlo da temperatura. Em relação ao tipo de ocupação, este define o número de pessoas que ocupam o espaço em determinados períodos de tempo. Estes dados são usados nas simulações e nos cálculos de necessidades de aquecimento e arrefecimento juntamente com o output de calor proveniente do metabolismo dos ocupantes. Naturalmente, a ocupação não é um valor constante ao longo do dia. Para determinar a ocupação exacta a cada hora do dia temos o *schedule* (horário). Os valores do *schedule*, assim como outros valores padrão como o metabolismo ou os ganhos de calor através de equipamentos são definidos pelo *template* escolhido. O *Heating Setpoint Temperature*, define a temperatura ideal no espaço, especificamente quando o aquecimento seja necessário. Já o *Cooling Setpoint Temperature* define o valor da temperatura para que o arrefecimento do espaço seja necessário.
- *Construction* - dados referentes ao tipo de construção e material de todas as soluções construtivas;
- *Openings* - Este separador permite atribuir as características dos vidros, caixilhos, protecções solares em janelas e portas;
- *Lighting* - Define-se além do tipo de luminária e método de fixação, o horário de utilização e as fracções de calor que são radiadas através das luminárias para os espaços onde estão inseridas;
- *HVAC* - Dados referentes aos equipamentos de climatização, aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) e ventilação natural, são introduzidos neste separador.

O utilizador pode criar as suas próprias predefinições de acordo com as características de cada edifício.

É necessário compreender como funciona a hierarquia de dados para um melhor funcionamento da modelação gráfica (ver Figura 2-18).

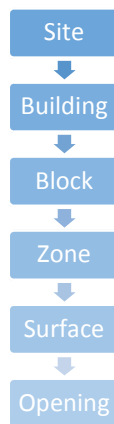


Figura 2-18 - Hierarquia de dados no DesignBuilder.

O *Site* traduz a localização do edifício. O *Building* consiste no modelo construído/a modelar. O *Block* são as formas geométricas básicas do *DesignBuilder* e são delimitados pelas paredes externas da construção. O *Zone* são as zonas criadas a partir da divisão dos blocos e caracterizam ambientes com diferentes características de uso ou climatização (ex.: sala e quarto). O *Surface* são as superfícies que formam as zonas. Por fim, o *Opening* são as aberturas. Estes elementos são os últimos a serem criados e podem ser feitos de forma individual ao nível da superfície.

Todas estas ferramentas aliadas com a estrutura hierarquizada, permitem que se defina e altere rapidamente as características do edifício desde o nível mais geral, ao mais particular.

Estes dois programas permitem ao utilizador parametrizar facilmente e de forma equivalente determinados parâmetros, ainda que em ambientes gráficos distintos, nomeadamente:

- Geometria (áreas de zonas úteis);
- Envolvente (elementos construtivos);
- Ocupação (densidade);
- Iluminação (potências instaladas);
- Equipamento (potências instaladas);
- Horários (iluminação, equipamento, ocupação, AVAC, Sombreamento)

3 CASO DE ESTUDO

Neste capítulo é apresentado o caso de estudo deste trabalho, que consiste numa moradia unifamiliar. São também apresentadas todas as assunções e simplificações necessárias para a definição do edifício com a finalidade de serem criados modelos para a sua análise térmica e energética.

3.1 Caracterização do Edifício

O edifício em estudo consiste numa moradia unifamiliar, construída em três pisos (ver Figura 3-1, Figura 3-2 e Figura 3-3) localizada em Lisboa. Tem uma tipologia T5 composta por 4 quartos, uma sala de jantar, uma sala de estar, uma cozinha, três instalações sanitárias, um *hall* e um corredor, perfazendo um total de 274 m² de área útil (ver Tabela 3-1). As fachadas principais do edifício encontram-se orientadas a Este (Nascente) e Oeste (Poente) e é uma moradia geminada tal como mostra a Figura 3-4.

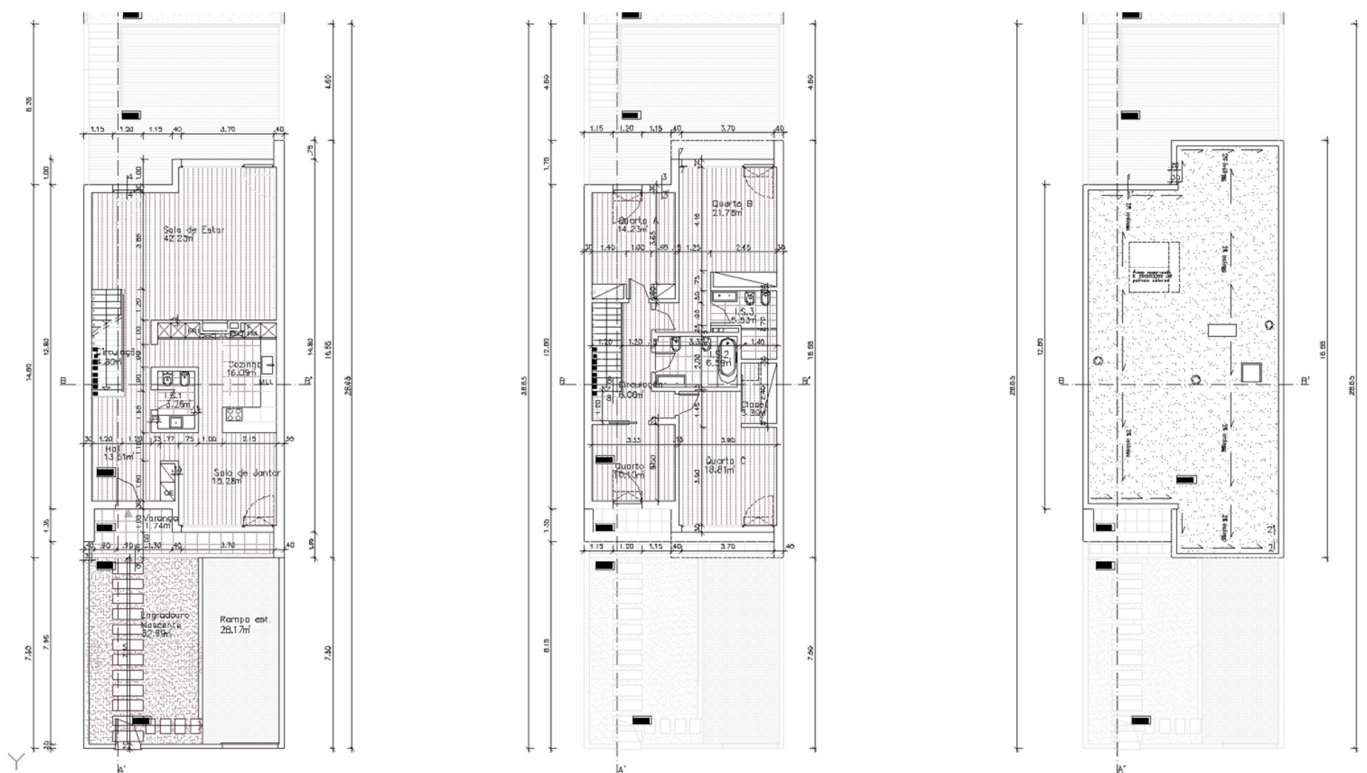


Figura 3-1 - Piso 0, Piso 1 e Cobertura do Edifício em estudo.

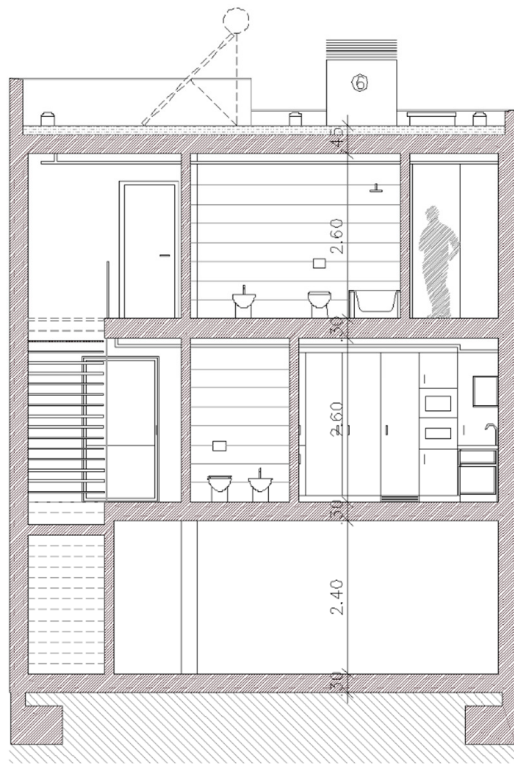


Figura 3-2 - Corte transversal da habitação.

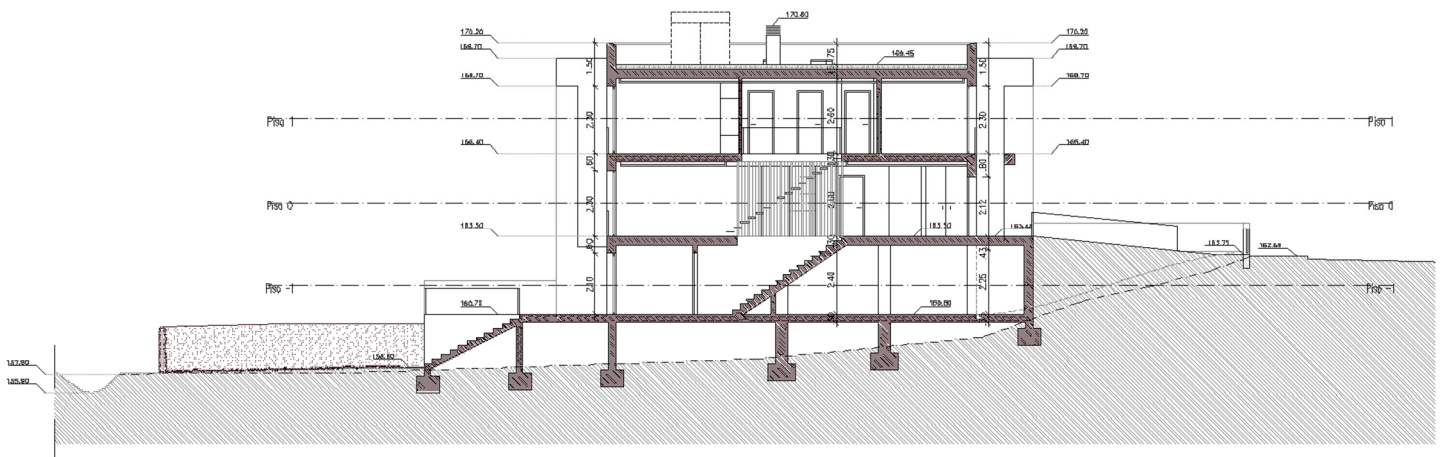


Figura 3-3 - Corte longitudinal da habitação

Tabela 3-1 - Lista de espaços do edifício em estudo.

Referência	Sala N.º	Nome do Espaço	Área Útil (m ²)	Pé Direito (m)	Volume (m ³)
Piso -1	-1.0	Zona Técnica	1,48	2,4	4
	-1.1	Garagem	89,26	2,4	214
Piso 0	0.0	Hall	13,51	2,6	35
	0.1	Sala estar 1	15,28	2,6	40
	0.2	I.S.1	3,26	2,6	8
	0.3	Cozinha	16,09	2,6	42
	0.4	Sala estar 2	42,25	2,6	110
Piso 1	1.0	Quarto D	10,10	2,6	26
	1.1	Quarto C	18,81	2,6	49
	1.2	Closet	3,39	2,6	9
	1.3	I.S.2	6,59	2,6	17
	1.4	I.S.3	5,53	2,6	14
	1.5	Quarto A	14,23	2,6	37
	1.6	Quarto B	21,78	2,6	57
Totais			274	-	695

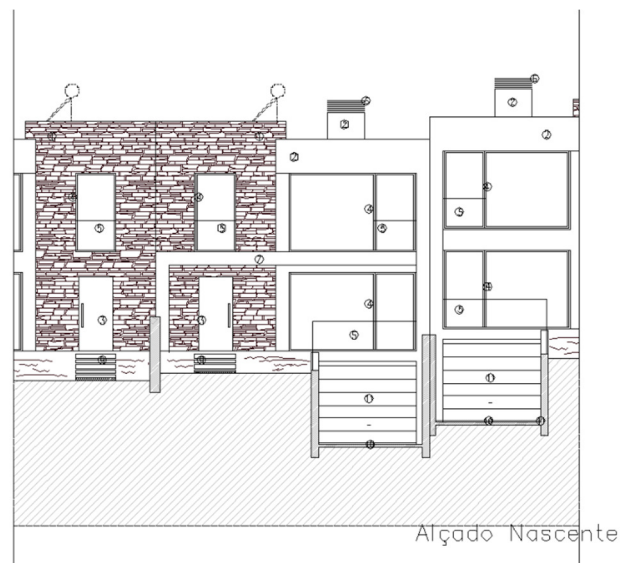


Figura 3-4 - Representação do edifício em estudo, alçado este.

3.2 Zona Climática

Estando a estrutura arquitectónica do edifício apresentada, abordam-se agora os dados climáticos da sua localização (Lisboa).

A localização geográfica do edifício influencia as trocas de calor entre o interior do mesmo e o ambiente exterior, devido a factores como temperatura do ar exterior, altitude e ventos predominantes no local.

É possível retirar toda a informação acerca do local onde se encontra o edifício através de uma base de dados climática disponibilizada pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) (ver Figura 3-5).

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica
versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

Seleção por município
Lisboa

Zona climática
NUTS 3: Grande Lisboa
Latitude: 38.9 °N (nominal)
Longitude: 9.2 °W (nominal)
Altitude: 109 m (referência)

Local específico
Município: Lisboa
Altitude: 109 m

Dados climáticos
Referência: Neste local
Estação de aquecimento
Período: 5.3 : 5.3 meses
T média: 10.8 : 10.8 °C
Graus-dia: 1071 : 1071 °C
Estação de arrefecimento
T média: 21.7 : 21.7 °C

Zonas de verão e inverno
V 2 I 1

preparar ficheiro
EPW (formato EnergyPlus Weather)

LNEG Software para Políticas Públicas
Sistema Nacional de Certificação de Edifícios
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 3-5 – Interface do programa para obtenção dos dados climáticos de referência para Lisboa [44].

Segundo o Regulamento de desempenho energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), o território é dividido em nove zonas climáticas, com base na Nomenclatura de Unidade Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III recorrendo a valores referentes à localidade e região (ver Figura 3-6). A numeração destas zonas (três zonas de Inverno I1,2,3 e três zonas de Verão V1,2,3) representam o grau de severidade do clima de Inverno e Verão. A zona climática da habitação em estudo é V2, I1.

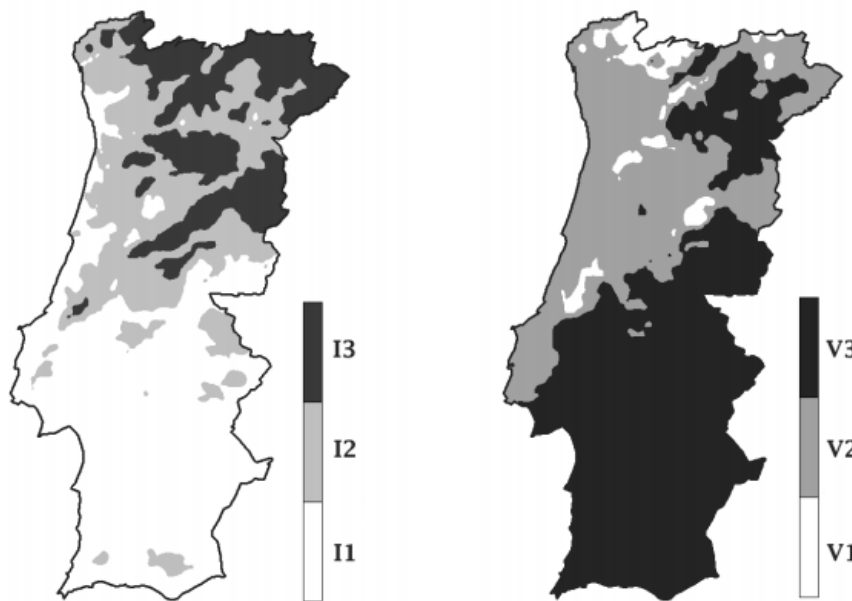


Figura 3-6 - Portugal continental. Zonas climáticas de Inverno e Verão respectivamente [45].

Segundo a brochura “Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal” do Instituto Nacional de Engenharia (INETI) [46], a sugestão de estratégia bioclimática para os edifícios situados nestas regiões climáticas (V2,I1) é de “restringir condução e promover os ganhos solares” no Inverno e “restringir condução e restringir ganhos solares dotando os envidraçados de sombreamentos eficazes” no Verão.

Como se pode ver pelos perfis anuais de temperaturas do ar e ponto de orvalho em Lisboa, apresentados na Figura 3-7, na localização assumida para a habitação, a temperatura média mensal máxima ocorre em Agosto e é de cerca de 22 °C, sendo que a média mensal mínima ocorre em Janeiro e é cerca de 11 °C. Em termos de extremos do perfil de temperatura, o máximo ocorre em Agosto e é cerca de 33 °C, enquanto a temperatura mínima é cerca de 0 °C e ocorre em Janeiro.

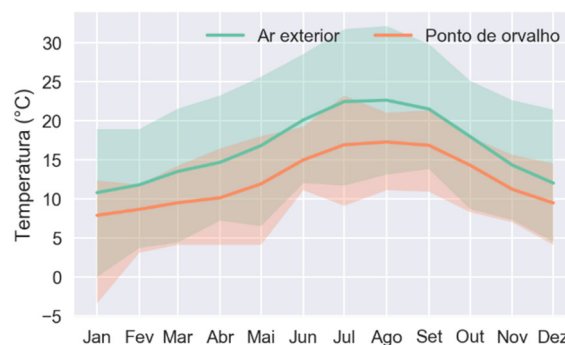


Figura 3-7 - Perfil anual de temperatura em Lisboa (dados de [44]).

Relativamente à velocidade e direcção do vento, os perfis anuais destas quantidades encontram-se apresentados na Figura 3-8. A direcção predominante é de Norte/Noroeste com uma velocidade média mensal a variar entre os 2,5 e os 4 m/s. Estas velocidades são medidas fora da camada limite.

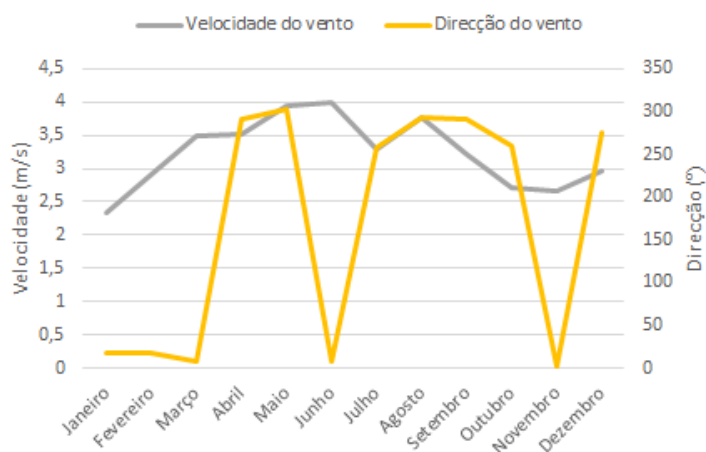


Figura 3-8 – Perfil anual de velocidade e direcção do vento em Lisboa (dados de [44]).

Os perfis de radiação solar directa e difusa (média mensal) ao longo do ano encontram-se apresentados na Figura 3-9. O pico de radiação directa ocorre em Julho, ao ponto que o máximo (mensal médio) de radiação difusa ocorre em Maio.

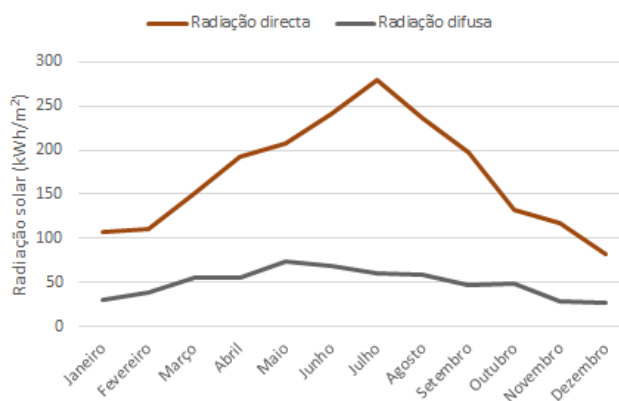


Figura 3-9 - Perfil anual de radiação solar (directa e difusa) em Lisboa (dados de [44]).

3.3 Caracterização dos elementos da envolvente

Como referido, no Capítulo 2, a envolvente de um edifício é extremamente importante no que diz respeito às trocas de energia sob a forma de calor entre este e o exterior. São então apresentadas as composições das várias envolventes consideradas para o edifício em estudo. Toda a informação acerca da condutibilidade térmica, resistências térmicas e

densidade do material, foram obtidas do ITE-50 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) [47].

Na Figura 3-10 encontram-se apresentadas as plantas do edifício com a distinção dos diferentes tipos de envoltentes verticais. Considerou-se que o edifício é adjacente a outro (casa geminada) em apenas um dos seus lados (parede Norte). Na vertente Sul da casa foi considerado que a parede é exposta.

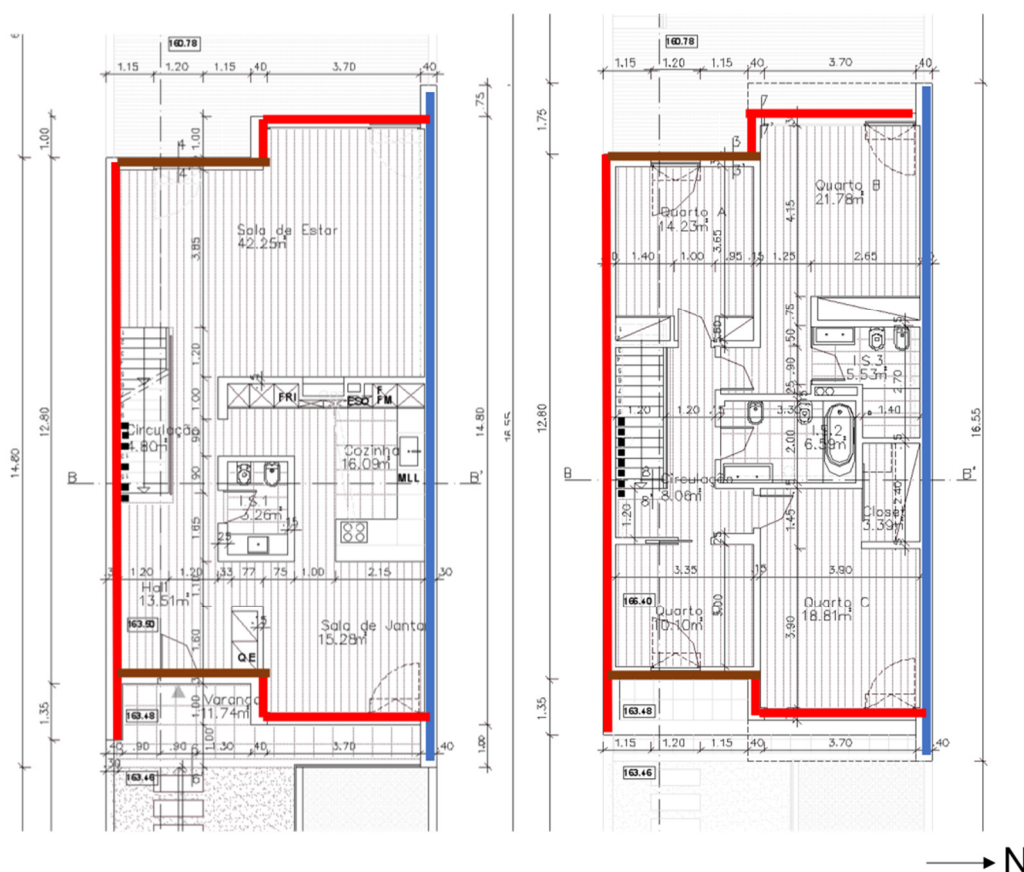


Figura 3-10 - Tipo de parede dos pisos 0 (esquerda) e 1 (direita). (vermelho: Parede exterior; azul: Parede em contacto com edifício adjacente; castanho: Parede exterior c/basalto)

A Tabela 3-2 apresenta um resumo dos coeficientes globais de transmissão térmica das várias envoltentes do edifício, assim como uma referência para as tabelas com as respectivas descrições detalhadas da sua composição. Não são apresentados dados para o Piso -1, uma vez que a sua modelação não necessitou dos mesmos, como será explicado no Capítulo 4.

Tabela 3-2 - Coeficientes globais de condução térmica as envoltentes do edifício.

Descrição	U [W/m ² K]	Tabela com composição
Parede exterior s/ basalto	0,478	Tabela 3-3
Parede exterior c/ basalto	0,480	Tabela 3-4
Parede em contacto com edifício adjacente	0,569	Tabela 3-5
Parede interior	0,593	Tabela 3-6
Cobertura	0,543	Tabela 3-7
Pavimento	0,451	Tabela 3-8

A Figura 3-11 e Figura 3-12 apresentam o esquemático da composição das paredes exteriores com e sem basalto. A sua composição é semelhante, com a única diferença na camada mais externa, onde numa (sem basalto) é utilizado estuque projectado em vez do basalto. Os valores de resistência térmica, condutividade térmica e densidade de cada uma das camadas são apresentados na Tabela 3-3 e Tabela 3-4, para as paredes sem e com basalto, respectivamente.



Figura 3-11 – Esquemático da composição da parede exterior sem basalto.

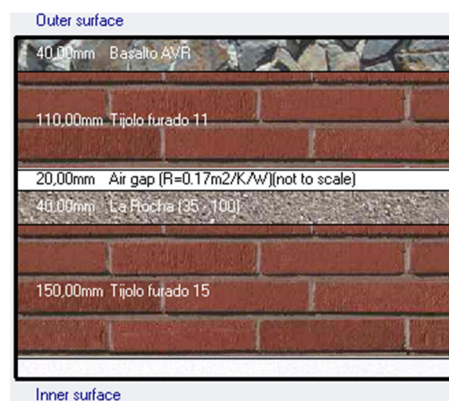


Figura 3-12 – Esquemático da composição da parede exterior com basalto

Tabela 3-3 - Composição da parede exterior sem basalto.

<i>Elemento de Camada</i>	<i>L</i> [m]	<i>k</i> [W/m.K]	<i>R</i> [m ² .K/W]	<i>U</i> [W/m ² .K]	<i>mti</i> [kg/m ²]	<i>mti</i> [kg/m ³]
<i>Resistência Superficial Interior</i>			0,130			
<i>Estuque projectado, fino, de elevada dureza (900 - 1200)</i>	0,02	0,43	0,047			1100
<i>Tijolo furado (normal) - 15</i>	0,150		0,390		180	
<i>Lã de rocha (35 - 100)</i>	0,04	0,04	1,000			100
<i>Caixa de Ar de fluxo horizontal</i>	0,02		0,170			
<i>Tijolo furado (normal) - 11</i>	0,11		0,270		150	
<i>Estuque projectado, fino, de elevada dureza (900 - 1200)</i>	0,02	0,43	0,047			1100
<i>Resistência Superficial Exterior</i>			0,040			
Total				0,478		378

Tabela 3-4 - Composição da parede exterior com basalto.

<i>Elemento de Camada</i>	<i>L</i> [m]	<i>k</i> [W/m.K]	<i>R</i> [m ² .K/W]	<i>U</i> [W/m ² .K]	<i>mti</i> [kg/m ²]	<i>mti</i> [kg/m ³]
<i>Resistência Superficial Interior</i>			0,130			
<i>Estuque projectado, fino, de elevada dureza (900 - 1200)</i>	0,02	0,43	0,047			1100
<i>Tijolo furado (normal) - 15</i>	0,150		0,390		180	
<i>Lã de rocha (35 - 100)</i>	0,04	0,04	1,000			100
<i>Caixa de Ar de fluxo horizontal</i>	0,02		0,170			
<i>Tijolo furado (normal) - 11</i>	0,11		0,270		150	
<i>Basalto</i>	0,04	1,10	0,036			2850
<i>Resistência Superficial Exterior</i>			0,040			
Total				0,480		470

A Figura 3-13 e Figura 3-14 apresentam o esquemático da composição das adjacentes ao edifício e paredes interiores, respectivamente. A sua composição é semelhante, com as diferenças na camada mais externa, onde numa é utilizado estuque projectado (parede interior) e na outra (adjacente ao edifício) é considerado tijolo exposto. Os valores de resistência térmica, condutividade térmica e densidade de cada uma das camadas são apresentados na Tabela 3-5 e Tabela 3-6.

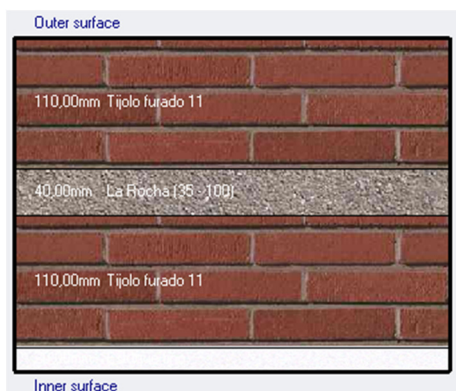


Figura 3-13 – Esquemático da composição da parede adjacente a edifício

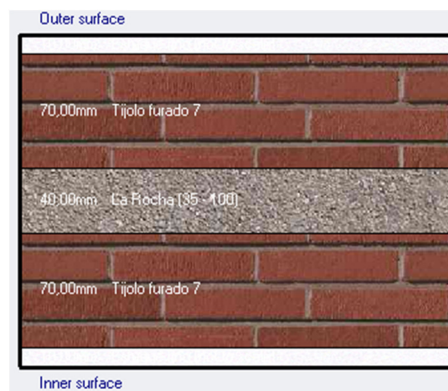


Figura 3-14 – Esquemático da composição da parede interior.

Tabela 3-5 - Composição da parede exterior em contacto com edifício adjacente.

<i>Elemento de Camada</i>	<i>L</i> [m]	<i>k</i> [W/m.K]	<i>R</i> [m ² .K/W]	<i>U</i> [W/m ² .K]	<i>mti</i> [kg/m ²]	<i>mti</i> [kg/m ³]
Resistência Superficial Interior			0,130			
Estuque projectado, fino, de elevada dureza (900 - 1200)	0,020	0,43	0,047			1100
Tijolo furado (normal) - 11	0,11		0,270		150	
Lã de rocha (35 - 100)	0,04	0,04	1,000			100
Tijolo furado (normal) - 11	0,11		0,270		150	
Resistência Superficial Exterior			0,040			
Total				0,569		326

Tabela 3-6 - Composição da parede interior.

<i>Elemento de Camada</i>	<i>L</i> [m]	<i>k</i> [W/m.K]	<i>R</i> [m ² .K/W]	<i>U</i> [W/m ² .K]	<i>mti</i> [kg/m ²]	<i>mti</i> [kg/m ³]
Resistência Superficial Interior			0,130			
Estuque projectado, fino, de elevada dureza (900 - 1200)	0,01	0,43	0,023			1100
Tijolo furado (normal) - 7	0,070		0,190		120	
Lã de rocha (35 - 100)	0,040	0,040	1,000			100
Tijolo furado (normal) - 7	0,070		0,190		120	
Estuque projectado, fino, de elevada dureza (900 - 1200)	0,01	0,43	0,023			1100
Resistência Superficial Exterior			0,130			
Total				0,593		266

Similarmente, os esquemáticos da cobertura e pavimentos encontram-se apresentados na Figura 3-15 e Figura 3-16 e as suas características detalhadas são apresentadas na Tabela 3-7 e Tabela 3-8.



Figura 3-15 – Esquemático da composição da cobertura.



Figura 3-16 – Esquemático da composição do pavimento.

Tabela 3-7 - Composição da cobertura.

<i>Elemento de Camada</i>	<i>L</i> [m]	<i>k</i> [W/m.K]	<i>R</i> [m ² .K/W]	<i>U</i> [W/m ² .K]	<i>mti</i> [kg/m ²]	<i>mti</i> [kg/m ³]
Resistência Interior			0,100			
Estuque fino	0,01	0,43	0,023			1100
Betão armado	0,20	2,50	0,080			2500
Betão de inertes de Poliestireno Expandido EPS	0,15	0,18	0,833			500
Isolamento em Poliestireno Extrudido XPS	0,03	0,04	0,811			40
Betume	0,01	0,23	0,043			1050
Calcárias duras	0,02	1,70	0,012			2100
Resistência Exterior			0,040			
Total				0,515		640

Tabela 3-8 - Composição do pavimento.

<i>Elemento de Camada</i>	<i>L</i> [m]	<i>k</i> [W/m.K]	<i>R</i> [m ² .K/W]	<i>U</i> [W/m ² .K]	<i>mti</i> [kg/m ²]	<i>mti</i> [kg/m ³]
<i>Resistência Superficial Interior</i>			0,170			
<i>Madeiras maciças, madeiras leves</i>	0,02	0,15	0,133			450
<i>Isolamento em Poliestireno Extrudido XPS</i>	0,030	0,04	0,811			40
<i>Betão leve com agregados de argila expandida - LECA</i>	0,12	0,156	0,769			480
<i>Betão armado de inertes correntes</i>	0,20	2,50	0,080			2500
<i>Argamassas e rebocos tradicionais (1800 - 2000)</i>	0,02	1,3	0,015			2000
<i>Resistência Exterior</i>			0,100			
Total				0,481		608

Apresentada a constituição dos elementos das envolventes da habitação, torna-se essencial falar da importância que os materiais de construção têm em relação à inércia térmica. A inércia térmica de um material é a capacidade deste reter o calor. Assim, a inércia térmica de um edifício é a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior, ou seja, de reduzir a transferência ou transmissão de calor. Isto acontece devido à sua capacidade de acumular calor nos elementos construtivos.

A inércia térmica influi sobre o comportamento do edifício tanto de Inverno ao determinar a capacidade de utilização dos ganhos solares, como de Verão ao influenciar a capacidade de o edifício absorver os picos de temperatura.

A habitação apresenta dois tipos de envidraçados, que diferem apenas no tamanho, sendo que os seus perfis são os mesmos. Estes são constituídos por vãos simples em caixilharias de alumínio termolacado cinzento, de batente, sem quadrícula, com corte térmico com vidro duplo incolor de 6 mm e caixa-de-ar de 13 mm (ver Figura 3-17).

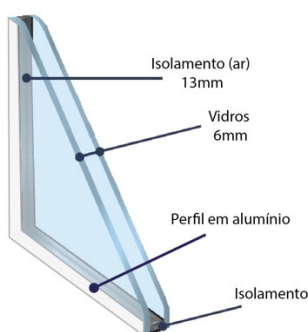


Figura 3-17 - Perfil das janelas.

Tabela 3-9 – Caracterização das janelas.

Coefficiente de transmissão térmica [W/(m²K)]	2,809
Factor solar do vidro	0,469

Foi considerada uma protecção solar exterior do tipo persiana de régua metálicas exteriores com isolamento. As suas características são apresentadas no Capítulo 4 devido à diferença de modelação nos dois *softwares* utilizados.

3.4 Ocupação

A informação sobre a utilização/ocupação dos vários espaços de um edifício são extremamente importantes para a aproximação das simulações ao comportamento térmico real do mesmo [48]. Tratando-se de uma habitação unifamiliar, considera-se que o perfil de utilização (ou ocupação) é bastante reduzido durante a maior parte do dia, para os dias úteis, sendo significativamente superior nos fins-de-semana e feriados. Com o intuito de aproximar o mais possível os modelos à realidade foi primeiro criada uma linha temporal definindo uma rotina diária de uma família de 5 pessoas.

Nos que diz respeito à actividade nas divisões no andar térreo, foi considerado que a maior actividade nestas é durante a manhã (pequeno almoço) e durante a tarde (para o caso dos fins de semana) e noite. Os perfis de actividade considerados encontram-se apresentados na Figura 3-18, na Figura 3-19, e na Figura 3-20, para o caso da cozinha, sala de estar e sala de jantar, respectivamente.

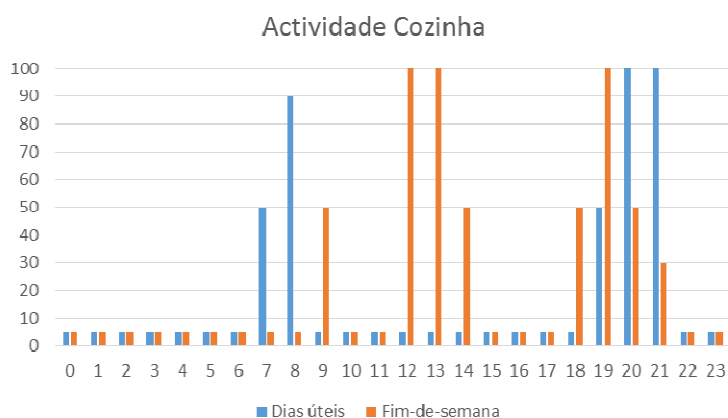


Figura 3-18 - Perfil de actividade considerado para a cozinha.

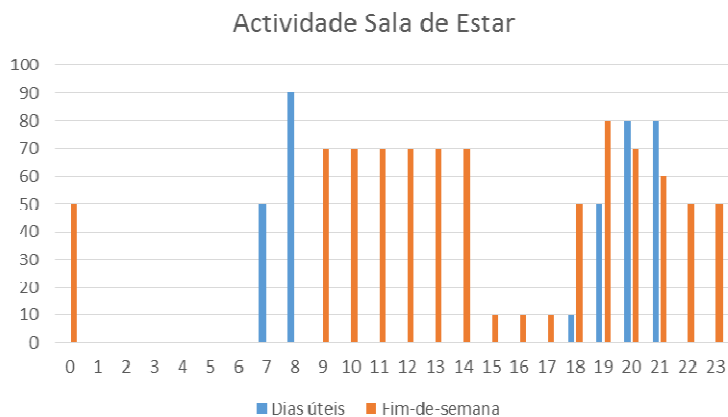


Figura 3-19 - Perfil de actividade considerado para a sala de estar.

Devido ao grande impacto que a cozinha tem em termos de carregamentos térmicos na habitação, foi adoptado um perfil de utilização diferente para a esta, em relação às salas de estar e jantar.

Em termos de dias úteis, este perfil é semelhante ao geral no que diz respeito ao período da manhã, diferenciando-se na magnitude da taxa de utilização (considerando-se que ao pequeno almoço não serão utilizados os electrodomésticos com consumos energéticos maiores). No que diz respeito ao período da tarde, este perfil apresenta uma utilização mais localizada, representando a preparação de refeições ou outras lides domésticas (como a utilização da máquina de lavar loiça/roupa).

Aos fins-de-semana o perfil de utilização da cozinha é semelhante, com um atraso do período de utilização da manhã.

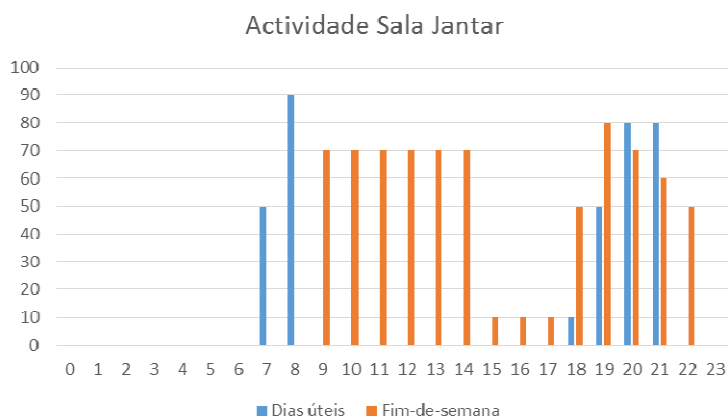


Figura 3-20 - Perfil de actividade considerado para a sala de jantar.

A actividade nos quartos foi considerada como sendo limitada às horas da noite e madrugada, tanto para os dias úteis como para os fins-de-semana, diferindo estes dois apenas ligeiramente. Os perfis de actividade destas divisões encontram-se apresentados na Figura 3-21 e na Figura 3-22.

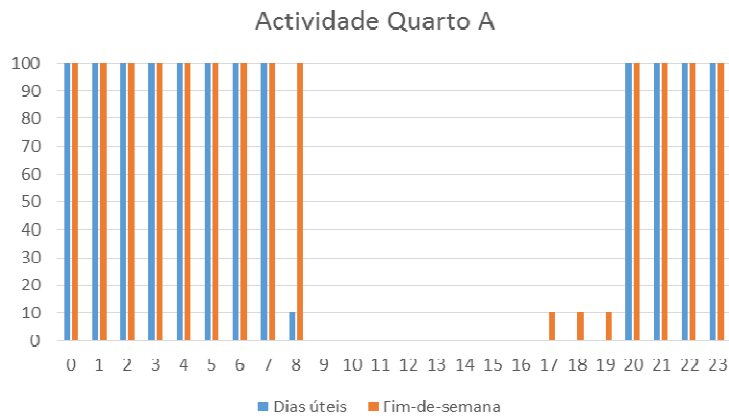


Figura 3-21 - Perfil de actividade considerado para o quarto A.

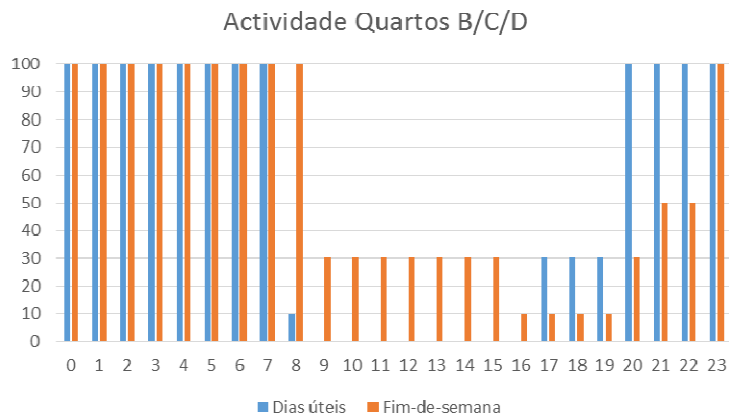


Figura 3-22 - Perfil de actividade considerado para os quartos B, C e D.

Na Tabela 3-10 são apresentados os números de ocupantes e tipo de actividade considerados para cada uma das divisões da habitação. Assumiu-se distribuir os ocupantes (5) pelas várias divisões, existindo duplicação, que foi balançada pelos perfis de ocupação que consideram que os espaços não são ocupados mutuamente.

Tabela 3-10 – Considerações em termos de tipo de actividade e número de pessoas por área.

Espaço	Número de pessoas	Tipo de actividade
Sala de Jantar	1	Sedentária
Sala de Estar	3	Sedentária
Cozinha	1	Média
Quarto A	2	Sedentária
Quartos B, C, D	1	Sedentária

Para o sistema de climatização é necessário definir um perfil de funcionamento binário, que define se este está desligado ou ligado (ver Figura 3-23). Foi considerado que nos dias úteis o sistema estará a funcionar no período em que se considera que as pessoas estão em casa – das 17:00 às 07:00. Aos fins-de-semana considerou-se que o sistema de climatização estará a funcionar o dia inteiro.

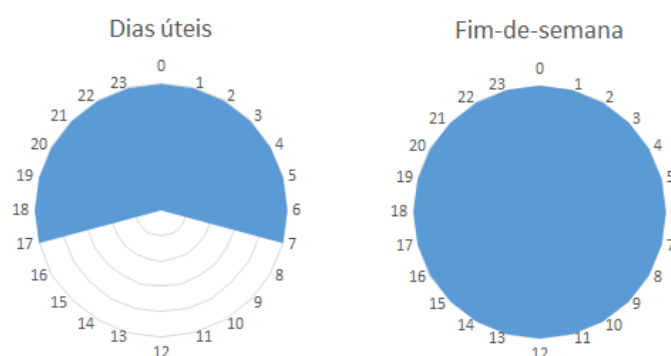


Figura 3-23 - Perfil de utilização do sistema de climatização.

3.5 Equipamentos

Para efeitos de contabilização dos ganhos internos correntes, apresentam-se nesta subsecção as potências dos vários equipamentos previstos em cada espaço.

A Tabela 3-11 apresenta as potências relativas à iluminação, consideradas para cada espaço. Considerou-se que cada espaço contém uma conjugação de luminárias LED, de 8,5 W e 4 W, em quantidades que diferem de divisão para divisão.

Tabela 3-11 - Potência da iluminação instalada por cada divisão do edifício.

Espaço	Área (m²)	Potência total instalada (W)	W/m²
Hall	13,51	8,5	0,63
Sala de jantar	15,28	33,5	2,19
Sala de Estar	42,25	46	1,09
Cozinha	16,09	17	1,06
I.S.1	13,26	8,5	0,64
Corredor	8,06	25,5	3,16
Quarto A	14,23	16,5	1,16
Quarto B	21,78	16,5	0,76
Quarto C + Closet	22,2	25	1,13
Quarto D	10,1	16,5	1,63
I.S.2	6,59	17	2,58
I.S.3	5,53	17	3,07

A nível e equipamentos como electrodomésticos, televisões, etc. assumiu-se a existência de uma televisão na Sala de Estar, com um ganho de 20 W e um total de equipamento de 470 W para a Cozinha.

4 SIMULAÇÕES

Neste capítulo pretende-se descrever o método utilizado nos *softwares* de análise para estudar o edifício, seguida de uma apresentação e análise detalhada dos resultados obtidos com cada um dos softwares, tentando-se fazer, sempre que possível, uma comparação entre os dois. Os *softwares* são o *Hourly Analysis Program* (HAP) e o *DesignBuilder/EnergyPlus* (DB/EP) que foram apresentados no Capítulo 2 nas secções 2.5.1 e 2.5.2, respectivamente. Os resultados das várias simulações são apresentados na secção 4.3.

Para realizar as simulações é necessário fazer um levantamento prévio de informação de diversos elementos tais como a arquitectura, envolvente, ocupação, sistemas de climatização, iluminação e perfis de utilização. Toda esta informação foi apresentada e descrita em detalhe no Capítulo 3.

4.1 Hourly Analysis Program

A definição do modelo seguiu a ordem de apresentação das várias categorias apresentadas na secção 2.5.1 (*Weather, Spaces, Systems e Buildings*).

A definição do modelo do edifício no HAP começou pela selecção da localização e definição dos dados climáticos da mesma. Foram utilizados os dados apresentados no Capítulo 3.

De seguida foram introduzidos os espaços de acordo com as respectivas áreas (Figura 4-1), características da envolvente, equipamentos e ocupação. Associados aos equipamentos e ocupação das áreas estão os *schedules* que foram apresentados e explicados no capítulo anterior.

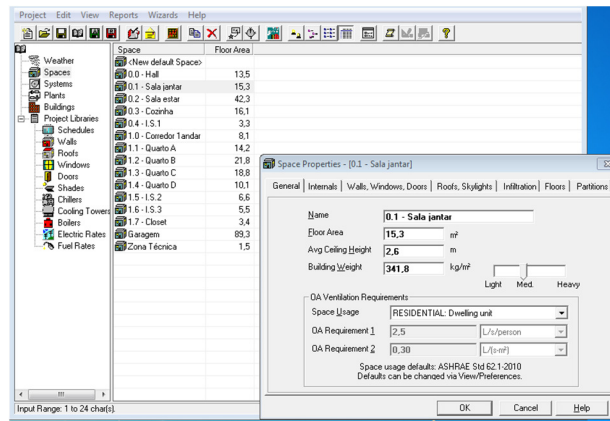


Figura 4-1 - Introdução dos espaços do edifício habitacional no HAP.

As janelas foram consideradas como tendo persianas internas de cor clara, sendo as propriedades do conjunto (janela + persiana) calculadas automaticamente pelo HAP. Foram também consideradas as palas exteriores (horizontais e verticais) que são características do edifício. Para isso foram definidos sombreamentos exteriores para cada uma das janelas (ver Figura 4-2 e Figura 4-3).

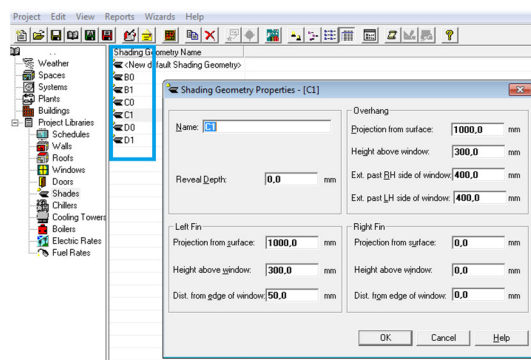


Figura 4-2 – Definição de sombreamento exterior no HAP.

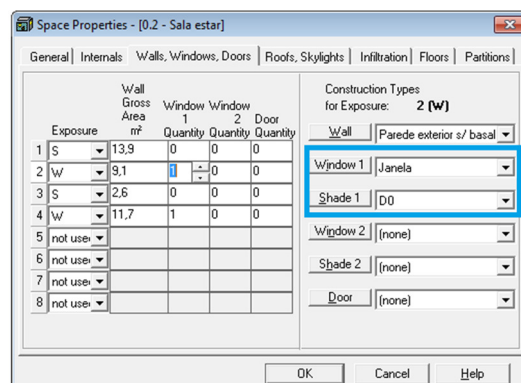


Figura 4-3 – Associação de sombreamento a janelas no HAP.

O facto de existir um edifício adjacente, mesmo que não climatizado ou ocupado, tenderá a amenizar as condições climáticas a que esta parede (Norte) é exposta.

Segundo a ASHRAE, áreas não climatizadas como garagens ou sótãos, entre outras podem ser consideradas com uma estimativa conservadora [19] podendo ser assumido, para espaços não isolados, que a sua temperatura é a mesma que a exterior e, para espaços isolados, que a sua temperatura é a média entre as temperaturas interior e exterior.

Com base nestas directivas, a contribuição do edifício adjacente foi considerada ao aplicar a funcionalidade de *Partitions* nas divisões adjacentes. Esta funcionalidade permite definir o comportamento de temperaturas no espaço adjacente em função da temperatura

do ar exterior. As temperaturas escolhidas para definir este comportamento podem ser observadas na Figura 4-4.

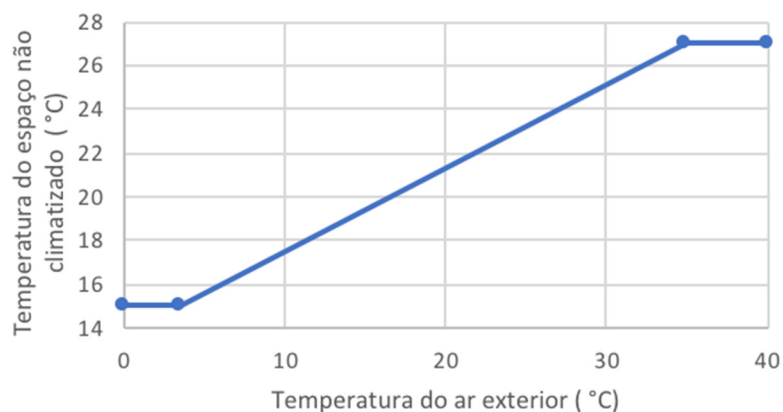


Figura 4-4 - Temperatura do espaço não climatizado em função da temperatura do ar exterior.

Quando a temperatura do ar é inferior a 3,5 °C a temperatura do espaço não climatizado será de 15 °C. Quando a temperatura do ar exterior é superior a 35 °C a temperatura do espaço não climatizado será de 27 °C. Quando a temperatura do ar exterior se encontra entre os 3,5 °C e os 35 °C a temperatura do espaço não climatizado será obtido através de uma interpolação linear.

A mesma consideração foi feita para a garagem (Piso -1), considerando-se, nas partições térreas a existência de adjacência a um espaço com o comportamento definido pela Figura 4-4. Na definição dos vários espaços não foram consideradas infiltrações.

Para a definição do sistema de climatização foi assumido que todas as divisões a serem climatizadas seriam consolidadas numa única zona de climatização. O tipo sistema de climatização considerado foi o *Split DX Fan Coil*, que consiste numa unidade exterior (*split*) e uma unidade terminal. Foram definidos como climatizados a Sala de Estar, Sala de Jantar, Cozinha e Quartos A, B, C e D (ver Figura 4-3).

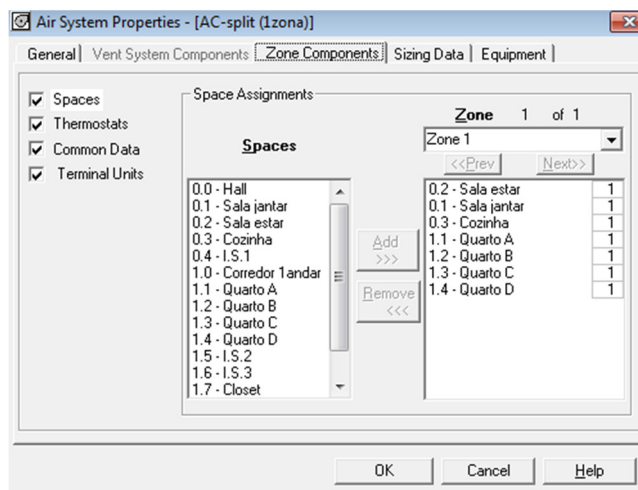


Figura 4-5 – Associação de divisões à zona climatizada no HAP.

Os *setpoints* de temperatura definidos para este sistema e zona de climatização foram definidos como apresentado na Figura 4-6. O arrefecimento será activado para temperaturas superiores a 25 °C enquanto o aquecimento será activado para temperaturas inferiores a 21 °C. Durante o tempo não ocupado, a climatização não é accionada.

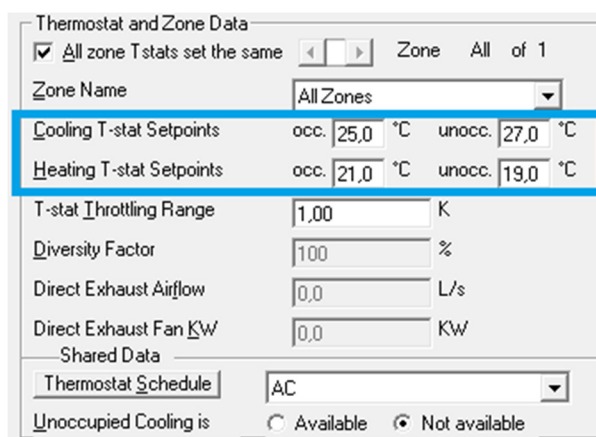


Figura 4-6 – Definição de temperaturas de climatização.

A eficiência energética dos equipamentos foi calculada pelo HAP segundo os valores mínimos de eficiência de equipamento dados pela norma ASHRAE 90.1 [49] e definiu-se que as potências de projecto seriam calculadas uma margem de 15% para o arrefecimento e 25% para o aquecimento, tendo como base os valores máximos estimados [49].

4.2 EnergyPlus e DesignBuilder

A definição do modelo do edifício no DB começou, assim como no HAP, pela definição do local e introdução dos dados climáticos apresentados no Capítulo 3.

Seguiu-se a definição geométrica utilizando as ferramentas gráficas do *software*. A Figura 4-7 e Figura 4-8 apresentam imagens do modelo construído no, com vistas no Piso 0 e Piso 1, respectivamente. De notar que no Piso 0 foi considerado que as duas salas e a cozinha constituem uma só zona, devido à inexistência de separação física total entre as mesmas (*open space*).

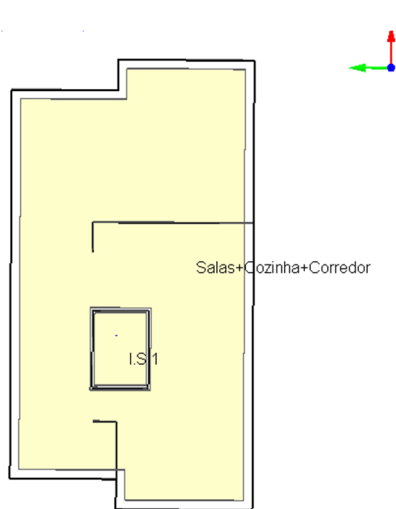


Figura 4-7 - Modelo tridimensional - DesignBuilder - Piso 0.

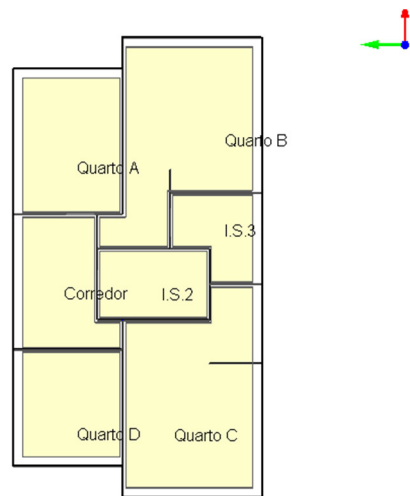


Figura 4-8 - Modelo tridimensional - DesignBuilder - Piso 1.

De seguida foram associadas as envolventes apresentadas na Secção 3.3 a cada uma das envolventes geométricas do modelo criado. A sua definição encontra-se representada na Figura 4-9 e Figura 4-10.

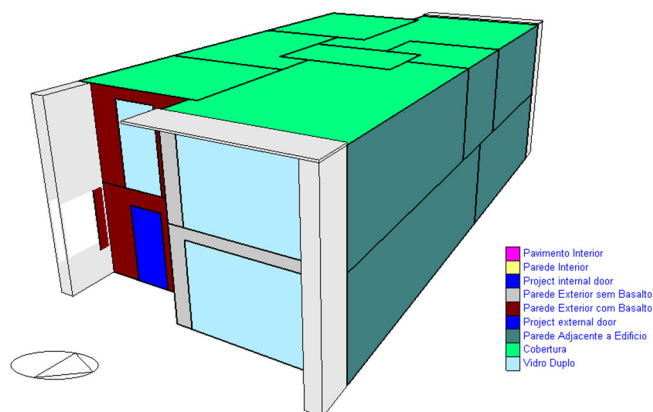


Figura 4-9 - Definição das envolventes exteriores no DesignBuilder.

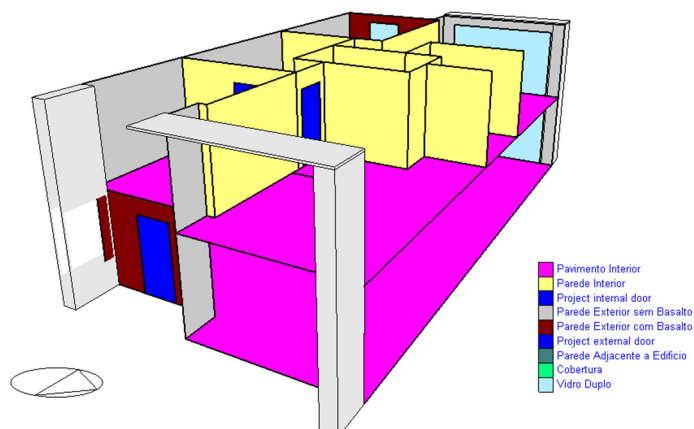


Figura 4-10 – Definição das envoltentes interiores no DesignBuilder.

A definição da constituição das envoltentes no DB difere do HAP no sentido em que não é necessário explicitar as resistências superficiais, sendo estas calculadas pelo EnergyPlus.

Pode-se também observar na Figura 4-9 e Figura 4-10 a existência de sombreamento exterior. Este é definido geometricamente, da mesma forma que o resto do edifício, utilizando a funcionalidade *Component Blocks do DesignBuilder*.

O sombreamento dos envidraçados difere daquele introduzido no HAP. Enquanto o HAP considera um valor constante de sombreamento para as janelas, baseado no tipo de sombreamento definido, no DesignBuilder é possível definir um horário de utilização. Poderia ter-se considerado um sombreamento constante no tempo, tentando aproximar as suas características às do definido no HAP, no entanto, de forma a aproximar o modelo à realidade e possibilitar uma maior flexibilidade no estudo do edifício decidiu-se considerar um horário para a utilização do sombreamento. Foram definidos dois horários, um para os meses mais frios e outro para os meses mais quentes (e com maior intensidade solar) como é apresentado na Figura 4-11 e Figura 4-12.

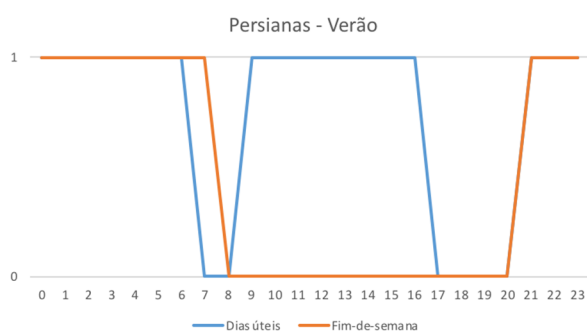


Figura 4-11 – Perfil de funcionamento das persianas no Verão

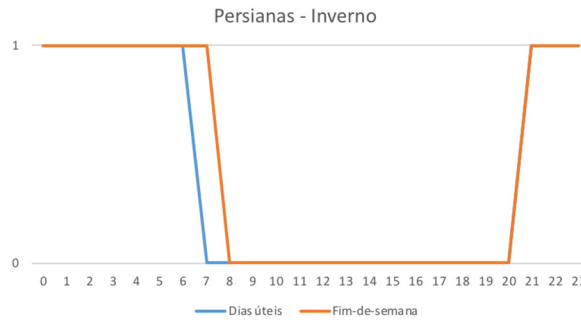


Figura 4-12 - Perfil de funcionamento das persianas no Inverno.

Esta separação dos horários ao longo do ano tem como base as indicações do INETI [46] indicadas na Secção 3.2, que sugerem a promoção de ganhos solares no Inverno e a sua restrição no Verão e nos horários de ocupação definidos.

A nível de cargas internas e horários de utilização, foram utilizados os mesmos que no HAP, que são aqueles introduzidos na Secção 3.4.

Não foi introduzido explicitamente nenhum valor para as infiltrações nos espaços, deixando o DB calcular estes valores automaticamente.

Foi seleccionado um sistema de climatização semelhante ao do HAP, a partir de um *template* pré definido no programa. Considerou-se apenas a climatização do Piso 0 (com a excepção da I.S.1) e dos quartos A, B, C e D. As restantes áreas não foram consideradas como climatizadas, apesar de contribuírem para a simulação dinâmica do caso de estudo. Os *setpoints* de temperatura escolhidos são os mesmos que os utilizados com o HAP (ver Figura 4-13).

Environmental Control	
Heating Setpoint Temperatures	
Heating (°C)	21,0
Heating set back (°C)	19
Cooling Setpoint Temperatures	
Cooling (°C)	25,0
Cooling set back (°C)	27

Figura 4-13 – Definição de *setpoints* de temperatura para climatização no DesignBuilder.

Da mesma forma que no HAP, foram consideradas as margens de 15% e 25% aplicadas às cargas máximas calculadas de arrefecimento e aquecimento, respectivamente, para obter os valores para o dimensionamento do equipamento.

4.3 Resultados das simulações

Nesta secção são apresentados os resultados das simulações numéricas do edifício apresentado no Capítulo 3. Primeiro são apresentados os resultados obtidos com o HAP e na subsecção seguinte, os resultados obtidos da simulação com o *DesignBuilder/EnergyPlus*, finalizando com a comparação dos resultados obtidos nos dois *softwares*.

4.3.1 HAP

Os resultados retirados do HAP dividem-se em, primeiramente com a análise de dimensionamento do sistema de climatização e posteriormente com a simulação dinâmica do edifício tendo em conta o sistema dimensionado.

Durante o dimensionamento dos sistemas de climatização, os valores de carga máxima de arrefecimento e aquecimento para a habitação são de 7,8 kW e 3,6 kW, respectivamente. Estes valores traduzem-se, depois de aplicadas as margens definidas na Secção 4.1, em 13,6 kW e 4,8 kW, que serão os valores a ser utilizados na escolha dos equipamentos. Estes valores consideram os piores cenários em termos de condições climáticas exteriores, que correspondem aos valores apresentados na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 - Piores cenários utilizados para dimensionamento do sistema de climatização no HAP.

	Temperatura de bolbo seco [°C]	Temperatura de bolbo húmido [°C]
Arrefecimento	32.8	20.2
Aquecimento	3.9	0.4

Na Figura 4-14 e na Figura 4-15 é apresentada a contribuição de cada divisão para as cargas de arrefecimento e aquecimento. As maiores cargas, quer de arrefecimento, quer de aquecimento, ocorrem na sala de estar e no quarto B, seguidos da Sala de Jantar e Quarto C. Todas estas divisões enumeradas têm uma característica em comum que é o vão envidraçado de dimensões superiores às restantes. É através destas janelas que ocorre a maioria de trocas de calor com o exterior, nestas divisões.

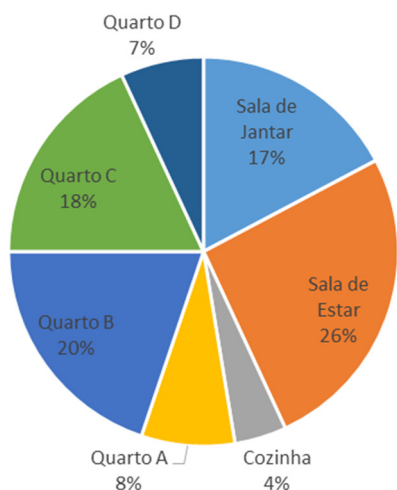


Figura 4-14 – Divisão de cargas de arrefecimento por espaço, segundo o HAP.

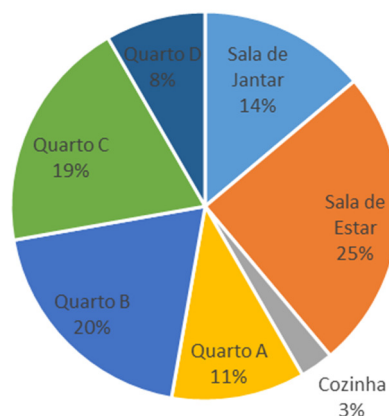


Figura 4-15 – Divisão de cargas de aquecimento por espaço, segundo o HAP.

Os consumos energéticos referentes à climatização, necessários para manter esta com as temperaturas desejadas, encontram-se apresentados na Figura 4-16 para cada um dos meses do ano.

Observa-se que os consumos energéticos para o arrefecimento aumentam para os meses de Verão, com máximo em Julho, o que era esperado, visto que o HAP detectou o mês de Julho como o pior cenário. É também observável a grande diferença entre os requisitos de arrefecimento e aquecimento da habitação, o que pode ser explicado pela grande exposição da casa a sul (toda a parede virada a sul é exposta à luz solar durante o dia), pela grande área de envidraçados existentes na habitação (a nascente a poente). Estes valores estão de acordo com o esperado tendo em conta a zona climática em que a cidade de Lisboa está inserida (I1, V2).

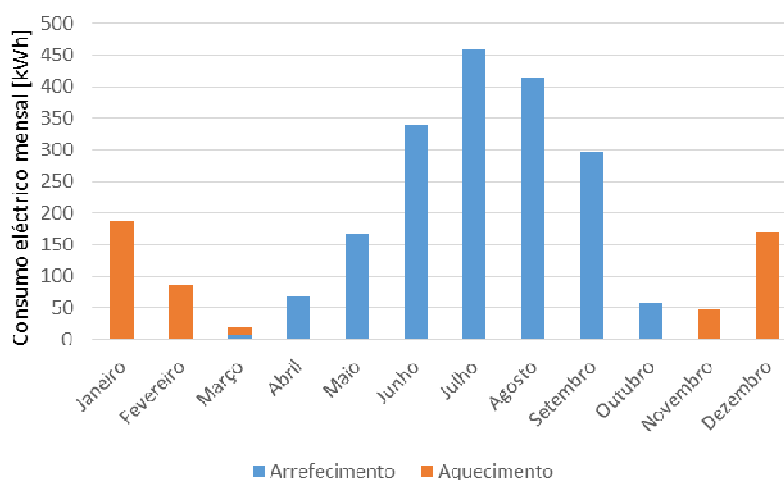


Figura 4-16 - Consumos mensais para climatização obtidos pelo HAP.

A divisão de consumos anuais nas várias categorias pode ser observado na Figura 4-17. Como mencionado para a figura anterior, a energia necessária para arrefecimento é bastante superior à de aquecimento (54,9% contra 10,2%), sendo que é responsável pela maioria do consumo eléctrico da casa (dentro dos considerados). A energia consumida pelos equipamentos é a segunda maior fatia do consumo eléctrico, sendo 23,6% do consumo total. No caso da simulação em análise, estes equipamentos são maioritariamente os equipamentos da cozinha.

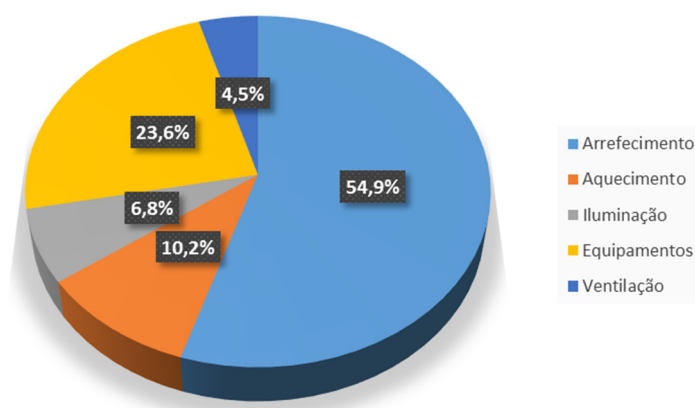


Figura 4-17 - Divisão de consumo anual de energia eléctrica dividido por categorias

Estes consumos, em termos monetários, e assumindo um custo de 0,2154 €/kWh [50], traduzem-se num custo anual de 792 €, com o seu máximo no mês de Julho em que a despesa em arrefecimento é de 128 €. Este valor está perto do valor médio de consumo de electricidade e gás dado pela ADENE, o que indica que estes consumos estarão acima da média (dado que consideram apenas energia eléctrica). No entanto, há que ter em conta que, assumir um valor médio de custo de kWh poderá introduzir erros significativos em termos de custos devido à existência de tarifas bi-horárias.

Como dito anteriormente, o HAP é bastante utilizado no dimensionamento de sistemas de climatização para edifícios. É, portanto, algo limitada a informação que se pode retirar das suas simulações para o caso do edifício em estudo, no que diz respeito à exploração em detalhe das características térmicas deste. De seguida são apresentados os resultados obtidos da simulação feita para o mesmo edifício utilizado o *EnergyPlus*, através da sua interface gráfica *DesignBuilder*.

4.3.2 DesignBuilder/EnergyPlus

No *DesignBuilder/EnergyPlus*, o dimensionamento das potências para arrefecimento e aquecimento são feitas em separado, e são necessárias para efectuar a simulação térmica do edifício. Nesta secção são primeiramente apresentados os resultados do dimensionamento, seguidos dos resultados da simulação e a sua análise detalhada. Os resultados obtidos com o DB/EP são apresentados, quando justificável, juntamente com os resultados obtidos com o HAP, de forma a comparar os resultados de ambos os *softwares*.

Os primeiros dois passos para a simulação no *DesignBuilder* com o *EnergyPlus*, após a definição do modelo do edifício (geometria, constituição da envolvente, ocupação e ganhos, etc) são o dimensionamento de arrefecimento e aquecimento do sistema de climatização.

Os resultados obtidos destas duas pré-análises são apresentados na Tabela 4-2. Para o caso do arrefecimento, foi obtido o valor de 11,93 kW, enquanto para o aquecimento o valor foi de 4,99 kW. Isto representa uma diferença para os resultados obtidos pelo HAP de 12,3% e 1,8%, para arrefecimento e aquecimento, respectivamente. Apesar da diferença superior para o caso do aquecimento, a tendência de potência de arrefecimento superior à de aquecimento mantem-se.

Tabela 4-2 - Valores de potência de arrefecimento e aquecimento necessários para a climatização da habitação segundo o *DesignBuilder/EnergyPlus*.

Arrefecimento [kW]	Aquecimento [kW]
11,93	4,99

É apresentada na Figura 4-18 e na Figura 4-19 a divisão de cargas de arrefecimento e aquecimento, respectivamente, obtidos na fase de dimensionamento de equipamento do *DesignBuilder* pelas várias divisões da habitação. Em termos de proporção, os resultados são bastante semelhantes, como seria de esperar, visto os modelos terem sido definidos de forma semelhante nos dois *softwares*. Nestas figuras é bastante visível a divisão equilibrada das cargas entre o piso superior e inferior.

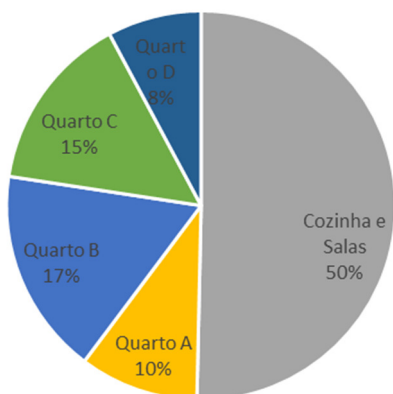


Figura 4-18 – Divisão de cargas de arrefecimento por espaço, segundo o DesignBuilder/EnergyPlus.

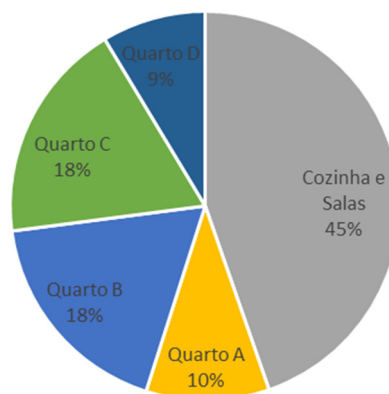


Figura 4-19 – Divisão de cargas de aquecimento por espaço, segundo o DesignBuilder/EnergyPlus.

A Figura 4-20 apresenta o consumo eléctrico mensal necessário para a climatização da habitação obtido pela simulação com o *EnergyPlus*, assim como pelo HAP. Pode-se verificar a semelhança entre os resultados das duas simulações no que diz respeito à diferença entre arrefecimento e aquecimento e a sua evolução ao longo do ano. A simulação com o *EnergyPlus* apresenta valores menores de arrefecimento em todos os meses. Para aquecimento o mesmo acontece com a excepção dos meses de Fevereiro e Março.

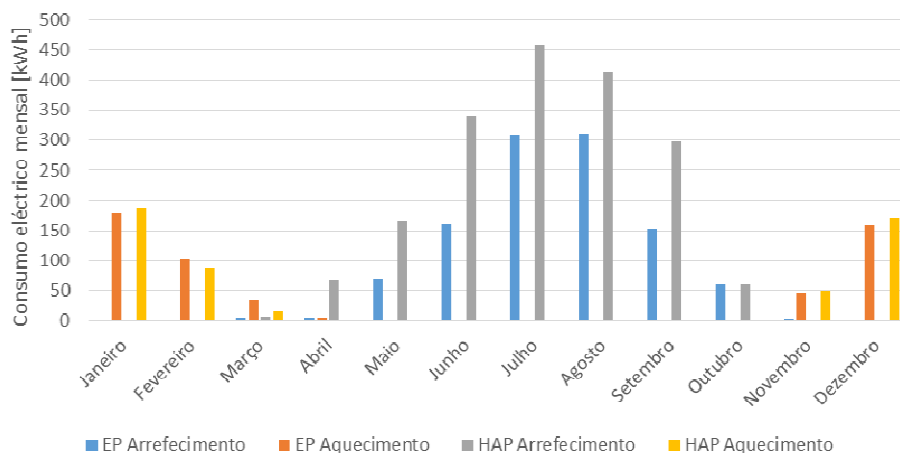


Figura 4-20 - Comparação de consumo mensal eléctrico para climatização do edifício fornecido pelo HAP e EP.

Esta diferença nos valores de arrefecimento pode ter explicação na abordagem feita para a introdução do modelo em cada um dos softwares, como por exemplo a nível da definição das persianas ou infiltrações.

Na Figura 4-21 é apresentada a contribuição da cobertura, dos envidraçados e das paredes nas perdas de calor pela envolvente exterior da habitação. Pode verificar-se que as perdas pelos envidraçados é bastante superior às restantes (46%), seguindo-se as paredes (26%) e por último, o pavimento do piso 0 (17%) e cobertura (11%). Este resultado é relevante pois os envidraçados cobrem uma área bastante inferior às outras e evidencia uma possível abordagem para melhorar o comportamento térmico da habitação, como por exemplo, uma selecção de janelas com maior eficiência ou a utilização de outros tipos de sombreamento com capacidades isolantes.

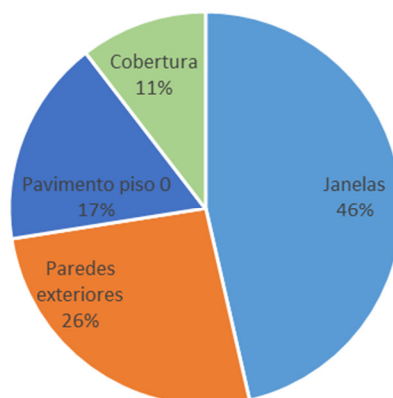


Figura 4-21 – Distribuição de perdas pela envolvente exterior por tipo de envolvente.

Como mencionado no Capítulo 2, os ganhos solares representam um factor importante no comportamento térmico de um edifício. Tal, foi observado durante a definição do edifício no DB quando estava a ser definido o tipo de sombreamento das janelas. Verificou-se uma grande sensibilidade dos resultados das simulações em relação ao mesmo e ao seu horário de funcionamento (*schedules*).

Com o intuito de verificar melhor esta importância foram efectuadas duas simulações considerando ou não a utilização de persianas (sempre fechadas ou sempre abertas). Apesar de nenhum destes casos representar uma utilização típica da habitação, a comparação dos resultados destas duas simulações permite então uma quantificação da importância dos ganhos solares através dos envidraçados nesta habitação. Os resultados podem ser vistos na Figura 4-22, onde se apresentam os valores de consumo mensal de climatização durante um ano, obtidos através das duas simulações mencionadas.

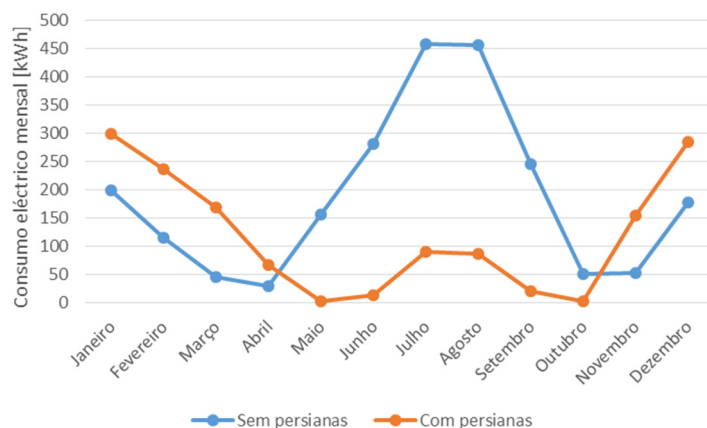


Figura 4-22 – Consumos eléctricos mensais para climatização da habitação considerando as persianas sempre abertas ou sempre fechadas.

Da análise da Figura 4-22 observa-se um aumento significativo de consumos (para arrefecimento) nos meses de temperaturas mais quentes no caso da simulação sem persianas, justificado pela necessidade de combater os maiores ganhos solares. Já nos meses de Inverno o oposto ocorre, existindo um menor consumo de climatização para o caso sem persianas. Tal deve-se principalmente ao facto de os ganhos solares amenizarem as perdas existentes através das envolventes, no caso dos meses de Inverno. Estes resultados vão de encontro às directivas referentes à classificação de zona climática onde o edifício em análise se encontra, que indicam uma restrição dos ganhos solares no Verão e uma promoção dos mesmos no Inverno [46]. Estes resultados são particularmente importantes para a habitação em estudo devido à grande área envidraçada (27% da área exposta) e justificam o horário definido para a utilização das persianas (fechadas durante a não ocupação da habitação).

A importância dos ângulos solares referidos no Capítulo 2 pode ser observada na Figura 4-23 e Figura 4-24 que mostram um exemplo da exposição solar da habitação às 16:00 horas do dia 21 de Julho e 21 de Dezembro, respectivamente. Observa-se a efectividade da pala de sombreamento que, em Julho, evita a entrada da luz solar directa. Já em Dezembro, devido ao baixo ângulo solar, a luz consegue entrar mais directamente pelas janelas.

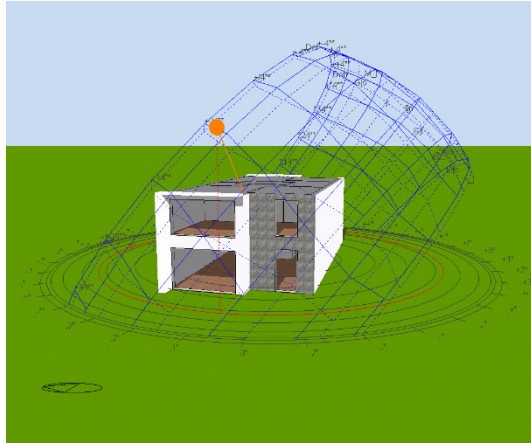


Figura 4-23 - Exposição solar da vertente Este do edifício às 16:00 de 21 de Julho.

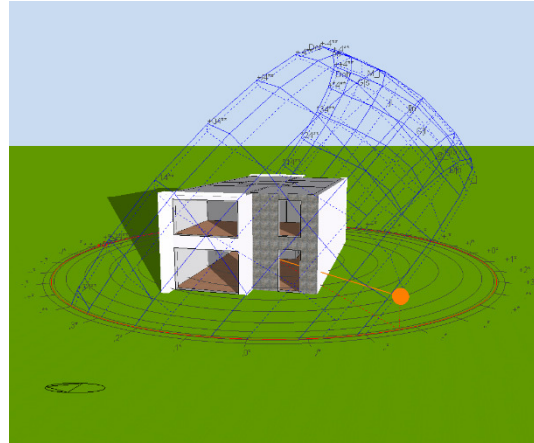


Figura 4-24 - Exposição solar da vertente Este do edifício às 16:00 de 21 de Dezembro.

A Figura 4-25 apresenta os valores de climáticos no exterior e interior da habitação (no Piso 0) juntamente com as métricas de conforto apresentadas no capítulo 2 ao longo da semana de projecto de Verão (15 Julho a 21 de Julho) considerada no EP.

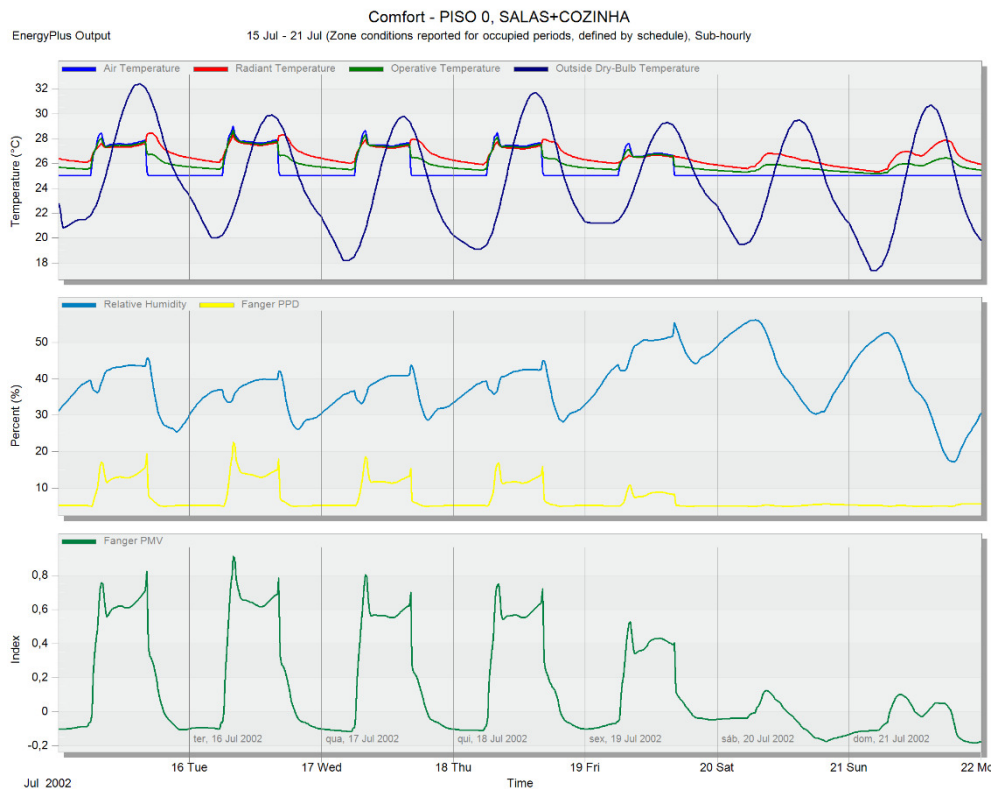


Figura 4-25 – Dados climáticos e métricas de conforto das Salas e Cozinha na semana de projecto de Verão do EP.

Como mencionado no Capítulo 2, pode-se considerar que um ambiente é termicamente confortável quando a percentagem de ocupantes insatisfeita não é superior a 10%. Observa-se na Figura 4-25 que os valores de PPD apresentados estão abaixo desse limite

durante a ocupação do espaço, com um ciclo de subida e descida destes valores que está associada ao ligar e desligar da climatização

Na Figura 4-26 são apresentados os dados climáticos de métricas de conforto do quarto B, durante a semana de projecto de Verão. Observam-se também valores aceitáveis de PPD (abaixo de 10%) durante a maior parte da semana, com excepção de alguns picos, que se verificaram estar associados ao início da climatização e ao aumento da diferença da temperatura do ar interior (a azul) e temperatura média radiactiva (a vermelho).

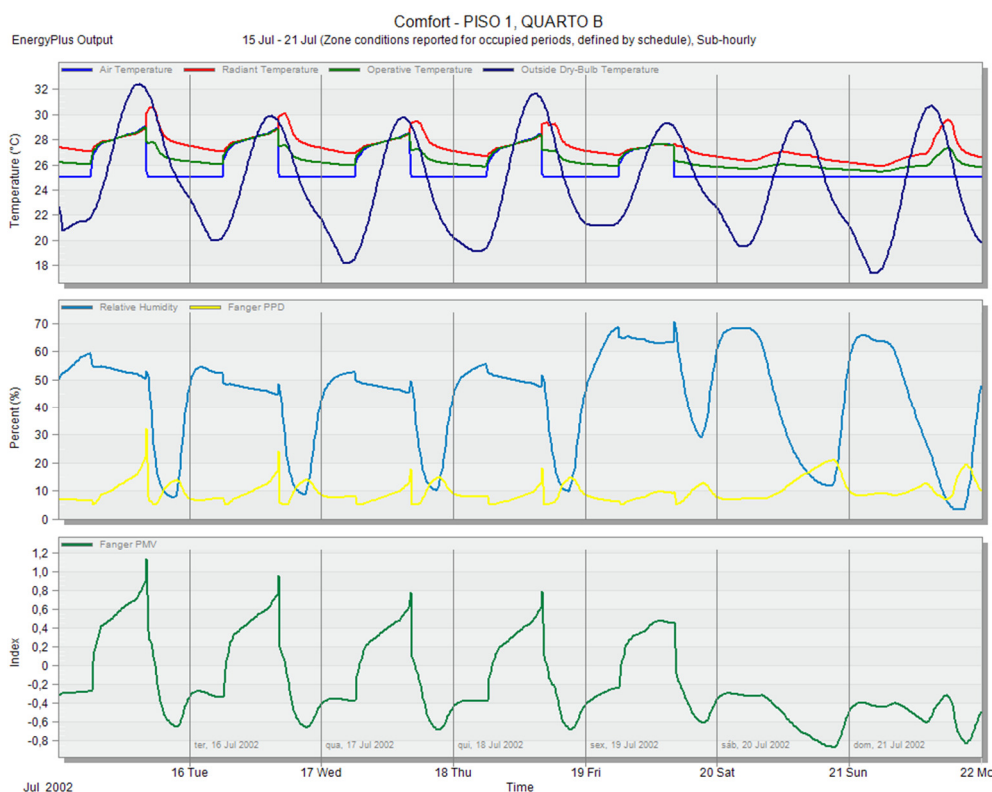


Figura 4-26 - Dados climáticos e métricas de conforto do Quarto B na semana de projecto de Verão do EP.

Resultados semelhantes foram observados para os outros espaços climatizados, na semana de Verão.

Os dados climáticos e métricas de conforto das Salas e Cozinha durante a semana de projecto de Inverno encontram-se apresentados na Figura 4-27. Similarmente à semana de Verão, os valores de PPD são inferiores a 10%, pelo que se pode considerar que o sistema de climatização é suficiente para garantir um ambiente confortável aos ocupantes.

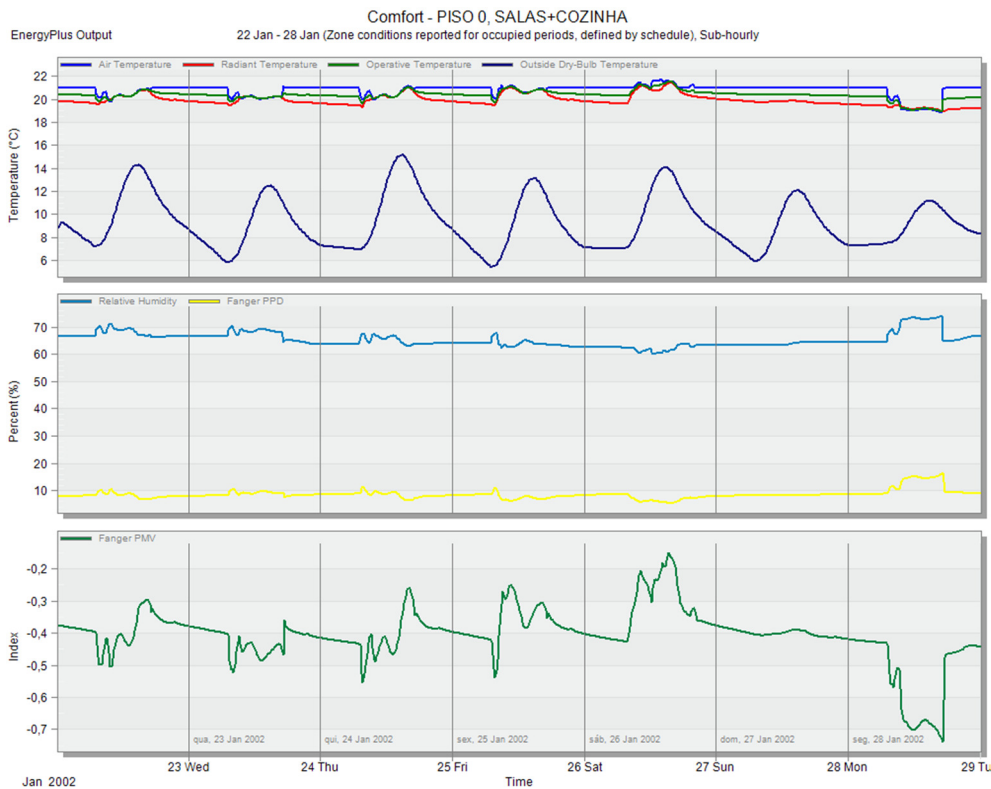


Figura 4-27 - Dados climáticos e métricas de conforto das Salas e Cozinha na semana de projecto de Inverno do EP.

Na Figura 4-28 são apresentados os dados climáticos de métricas de conforto do quarto B, durante a semana de projecto de Inverno. Neste caso os valores de PPD já são bastante superiores aos que foram apresentados até agora. Na figura pode-se observar que, enquanto o sistema de climatização está a funcionar, os valores de PPD rondam os 30%, subindo para perto dos 50% durante o dia (o que não influenciará o conforto, visto que estes só são ocupados durante a noite). Estes valores mais elevados de PPD podem ser explicados pela baixa taxa de actividade assumida para os ocupantes (visto que se encontrarão a dormir).

Pode-se observar também a relação que o PPD (linha amarela) tem com a humidade relativa do ar (linha azul). Como mencionado no capítulo 2, esta é um dos factores que determinam a sensação de conforto.

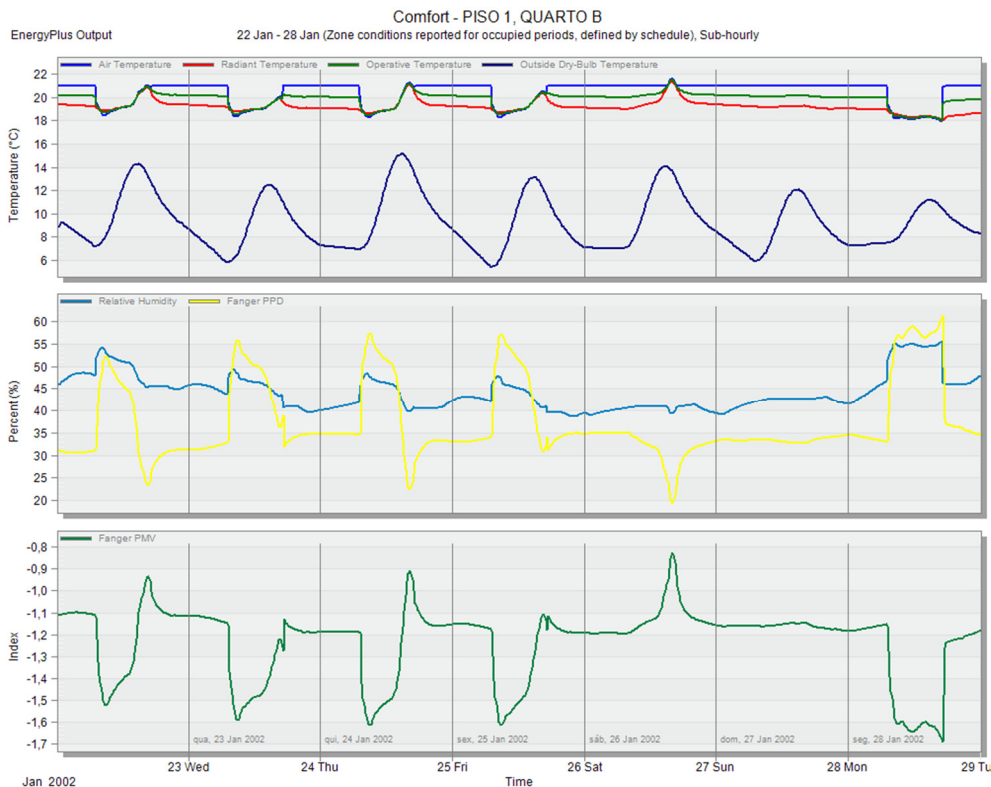


Figura 4-28 - Dados climáticos e métricas de conforto do Quarto B na semana de projecto de Inverno do EP.

Complementarmente à análise energética do edifício, apresenta-se agora o estudo do efeito dos vãos envidraçados na iluminação interior da casa.

Os valores de sDA, ASE e UDI, introduzidos na secção 2.4.2, são apresentados, respectivamente, na Figura 4-29, Figura 4-30 e Figura 4-31 para o Piso 0, e na Figura 4-32, Figura 4-33 e Figura 4-34 para o Piso 1. Nas figuras são apresentadas as áreas da habitação com um mapa de cores representado os valores a analisar.

Estes valores foram calculados assumindo um mínimo de 100 lux e máximo de 2000 lux [29], correspondendo a um mínimo aceitável para a utilização do espaço e um máximo aceitável para que não hajam desconfortos devido ao excesso de luz solar.

Olhando para a Figura 4-29, pode-se observar que a maioria do espaço tem cerca de 50% de sDA, o que na análise em estudo representa 50% de tempo ocupado onde a iluminação vinda do exterior é superior a 100 lux. A zona junto à porta de entrada apresenta valores inferiores (perto de 0) pois não se encontram perto de nenhuma superfície envidraçada. Não obstante, esta será uma zona de passagem/pouco utilizada, pelo que estes valores inferiores não apresentarão gastos significativos devido a iluminação.

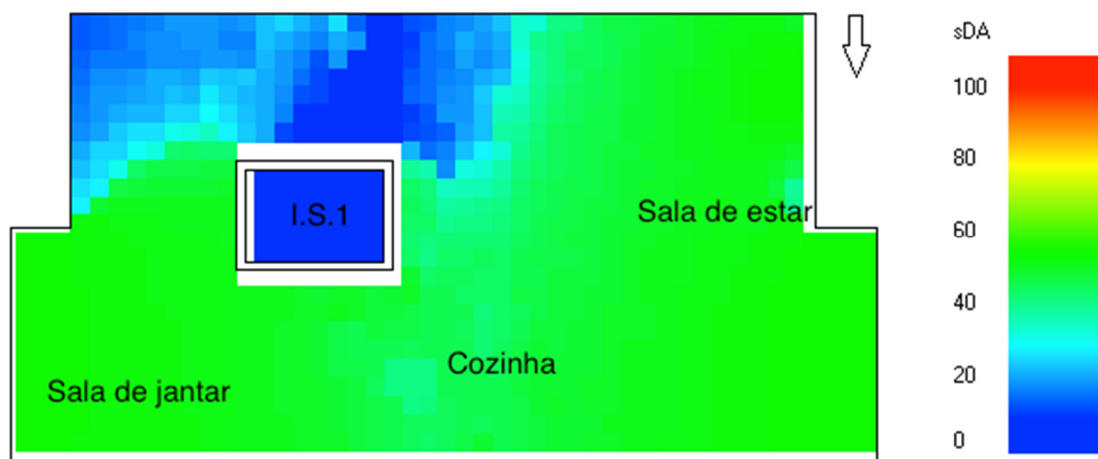


Figura 4-29 - Valor de sDA para o piso 0, com um valor mínimo de 100 lux.

A análise do sDA pode ser complementada analisando os valores de ASE, apresentados na Figura 4-30. Estes indicam-nos o número de horas no ano em que os valores de iluminação são superiores a 2000 lux. Como se pode ver pela Figura 4-30, os valores são perto de 0 na maioria do espaço, com a exceção da região junto às janelas, não se esperando portanto, grande desconforto dos residentes devido a intensidades altas de luz solar incidente.

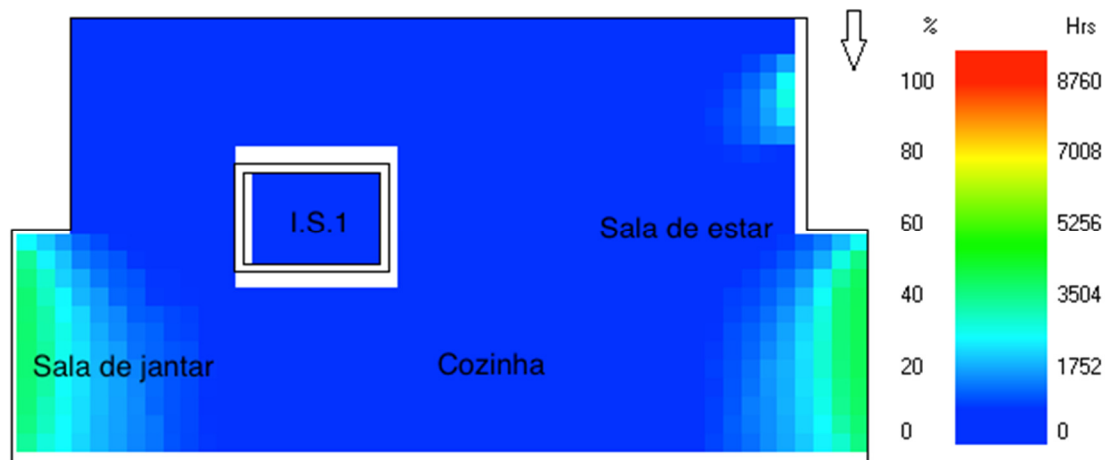


Figura 4-30 - Valor de ASE no Piso 0 com um limite máximo de 2000 lux.

As duas análises anteriores podem ser condensadas na análise do valor de UDI, que está apresentado na Figura 4-31, onde se pode ver que na grande maioria da área os valores encontram-se dentro dos estabelecidos em cerca de 50% das horas do ano.

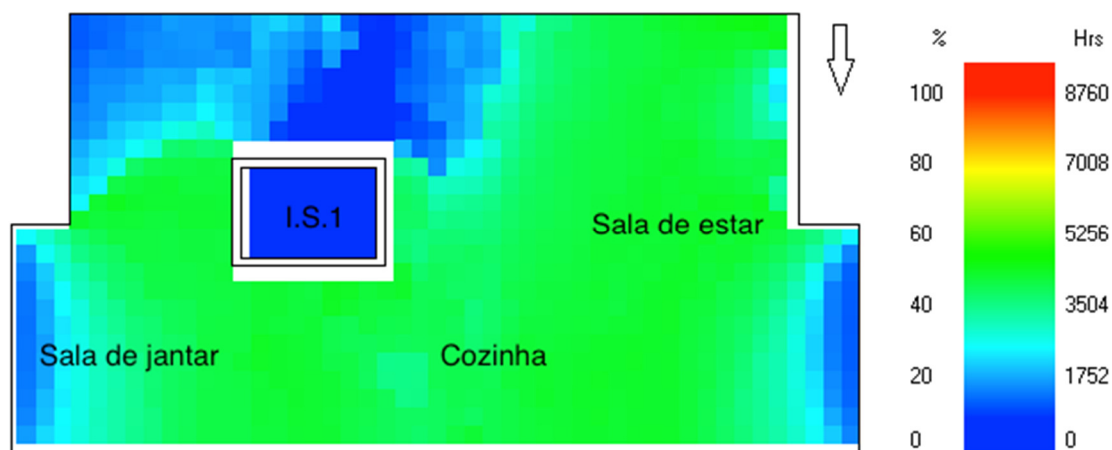


Figura 4-31 - Valor de UDI no Piso 0 para um intervalo compreendido entre 100 e 2000 lux.

No que diz respeito ao Piso 1, os mesmos valores apresentados para o Piso 0, de sDA, ASE e UDI encontram-se apresentados na Figura 4-32, na Figura 4-33 e na Figura 4-34, respectivamente.

Pode verificar-se pela Figura 4-32 que nos quartos B, C e D, em cerca de 20% do tempo ocupado, a iluminância devido à luz solar é de pelo menos 100 lux. Tendo em conta o horário de ocupação dos quartos (do final da tarde ao início da manhã), estes 20% traduzem-se em cerca de 2 horas, diárias que se podem relacionar com as horas de ocupação em que o sol está acima do horizonte. No caso do quarto A, existe uma região afastada da janela onde os valores de sDA são próximos de 0, o que pode ser explicado pelo ângulo de incidência da luz solar na janela, assim como pela dimensão da mesma.

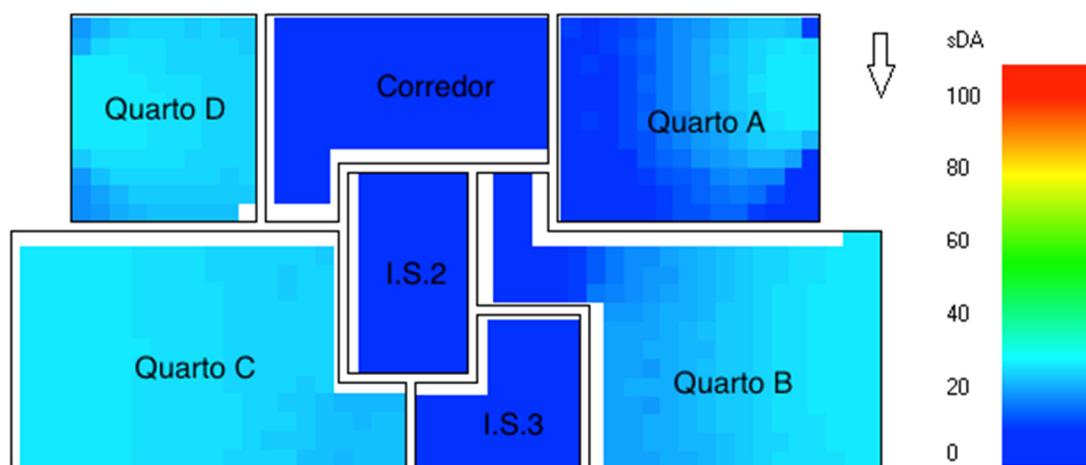


Figura 4-32 – Valor de SDA (em percentagem) para o piso 1, com um valor mínimo de 100 lux.

Na Figura 4-33 pode verificar-se que durante a ocupação dos espaços do Piso 1, os instantes onde a iluminância solar é superior a 2000 lux são praticamente inexistentes, o que vai de acordo com o horário de ocupação das áreas. Nos quartos C e D estes valores são ligeiramente superiores ao resto das áreas do mesmo piso, o que pode ser explicado

pela sua exposição a Este (Nascente), recebendo sol directo pela manhã enquanto ainda ocupados.

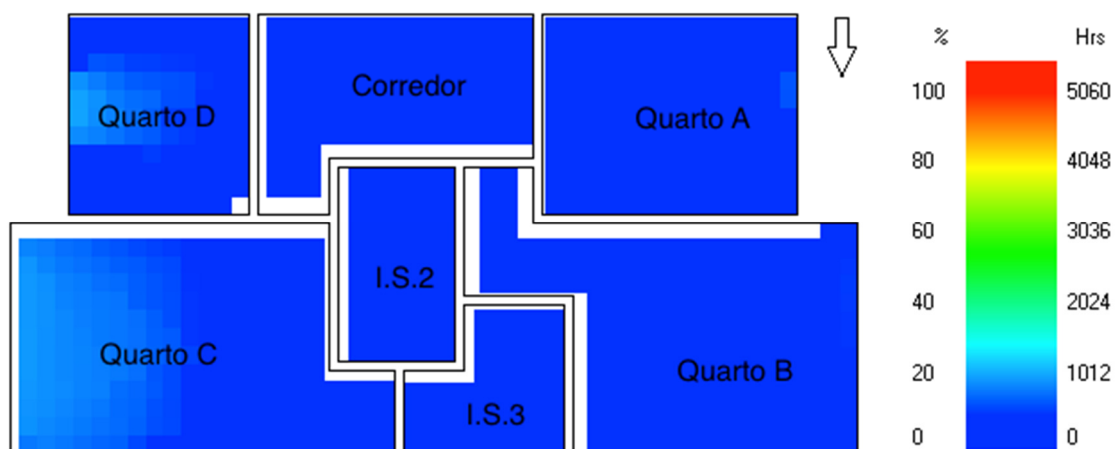


Figura 4-33 - Valor de ASE no Piso 1 com um limite máximo de 2000 lux.

Os valores de UDI apresentados na Figura 4-34 confirmam as análises feitas para as duas figuras anteriores, observando-se que os quartos têm uma iluminância devido à luz solar dentro dos limites definidos de cerca de 20%. Excepção disso é os quartos A, C e D, onde existem algumas zonas fora dos limites (representados por um valor de UDI mais baixo), devido aos valores baixos (quarto A) e altos (quartos C e D) observados, como anteriormente referido.

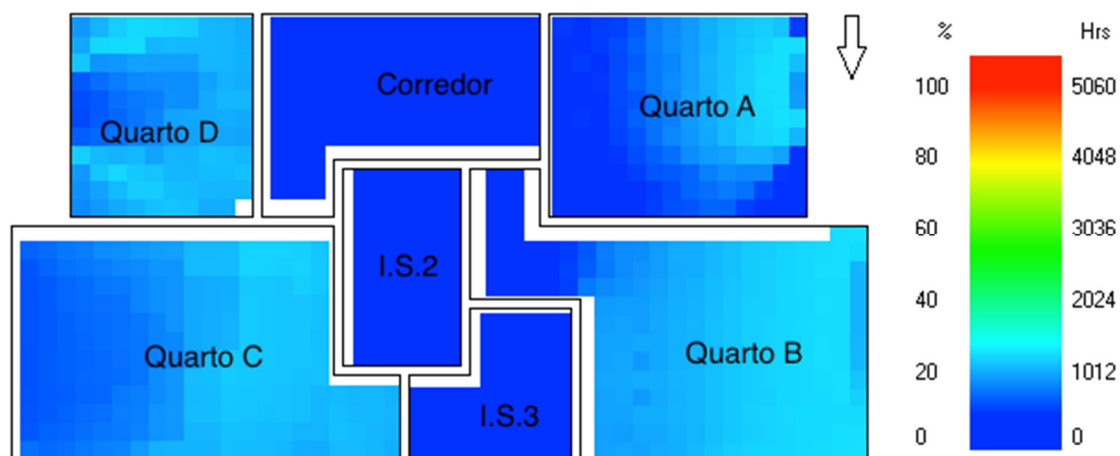


Figura 4-34 - Valor de UDI no Piso 1 para um intervalo compreendido entre 100 e 2000 lux.

No geral pode-se dizer que a habitação apresenta bons níveis de luz natural (com luz suficiente e sem excesso), tendo em conta a sua utilização assumida. Esta característica vem associada à sua orientação e às grandes áreas envidraçadas, evidenciando assim requisitos contraditórios, uma vez que foi visto anteriormente que os envidraçados são responsáveis por uma grande parte das trocas de calor com o exterior.

Os vãos envidraçados foram identificados como sendo uma parte do edifício que contribui de forma bastante significativa para o seu comportamento térmico, não só pelas perdas condutivas e convectivas mas também por permitirem a entrada de luz solar e portanto os ganhos solares na habitação (que são benéficos no Inverno e prejudiciais no Verão). Como tal é agora apresentado um estudo de como a dimensão dos envidraçados influencia as necessidades de arrefecimento e aquecimento do edifício.

De maneira a identificar as janelas cuja alteração proporcionaria maiores benefícios no que diz respeito à eficiência térmica, foram comparados os ganhos solares dos vários espaços, como apresentado na Figura 4-35. Pode-se observar que o Piso 0 contribui com a maior parte dos ganhos solares (54%), seguido do quarto C (18%) e quarto B (16%). Esta divisão é de esperar tendo em conta que o Piso 0 (Salas e Cozinha) tem 3 janelas (2 de maior dimensão) e que os quartos B e C têm uma janela de maior dimensão cada um.

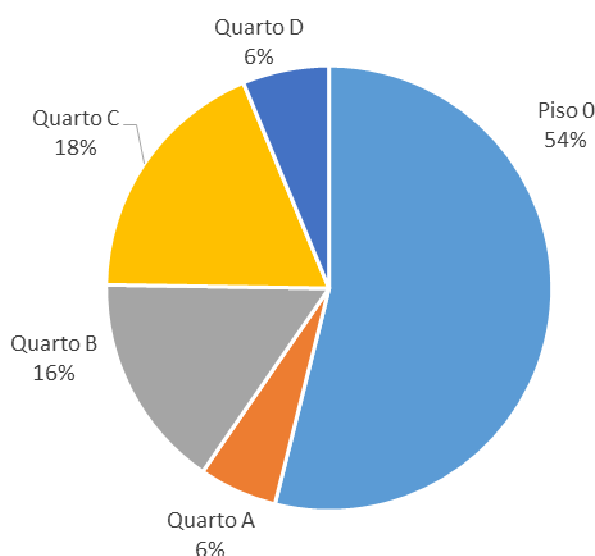


Figura 4-35 - Divisão de ganhos solares pelas várias áreas da habitação.

Sendo o Piso 0 o maior contribuidor foram primeiramente alteradas as janelas de maior dimensão deste (janelas a Este e Oeste). Esta alteração consisti numa redução da sua largura em 33%.

A Figura 4-36 apresenta uma comparação dos ganhos solares e perdas através das janelas no edifício com as janelas originais e com as janelas grandes do Piso 0 alteradas.

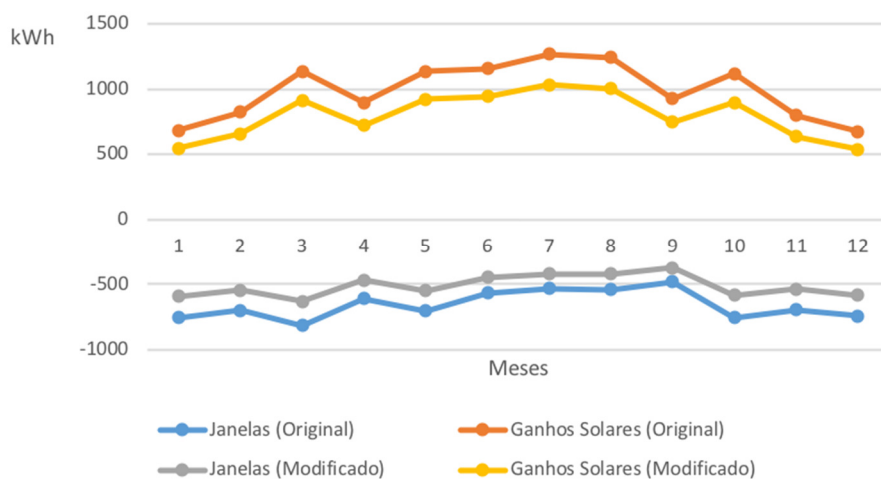


Figura 4-36 – Comparação de ganhos solares e perdas através das janelas no edifício com janelas modificadas e originais.

Observa-se uma redução dos ganhos solares e também uma redução das perdas pelas janelas. Este comportamento era esperado dado à correlação entre área envidraçada e a quantidade de calor que é transferida pela mesma. Como referido, no Verão estas perdas são benéficas, mas, no geral esta alteração produz uma melhoria no comportamento térmico do edifício, particularmente no que diz respeito às necessidades de arrefecimento, como pode ser visto na Figura 4-37. Observa-se uma redução máxima das cargas de arrefecimento de cerca de 150 kWh, nos meses de Julho e Agosto, que correspondem a uma redução de cerca de 15%. Este valor vai de acordo com a redução de 33% de área das janelas grandes e que as janelas do Piso 0 contribuem em cerca de 54% para os ganhos solares.

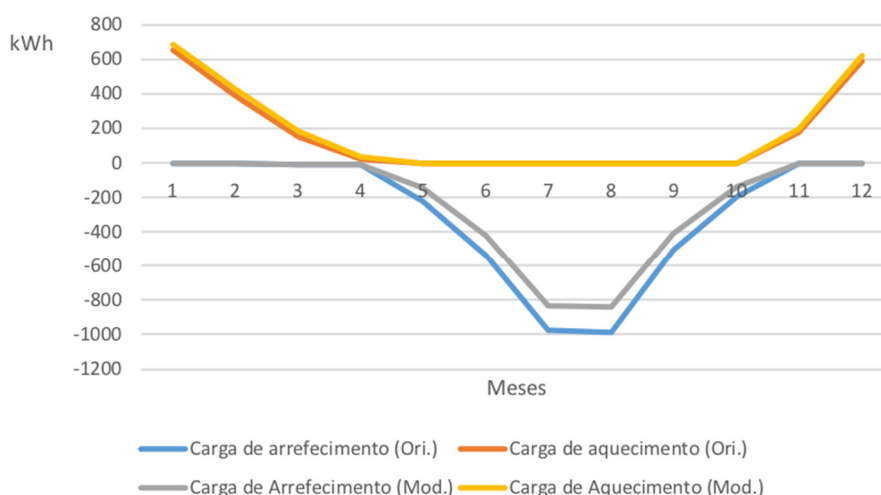


Figura 4-37 – Cargas de aquecimento e arrefecimento do edifício com e sem janelas modificadas no Piso 0.

O aumento de cargas de aquecimento (esperado dada a redução de ganhos solares benéficos no Inverno) é pouco significativa relativamente à melhoria nos meses de Verão,

indicando que as perdas de ganhos solares se equilibram com a redução de perdas condutivas e convectivas pelas janelas.

Foi também analisada a possibilidade de reduzir, juntamente com as janelas grandes do Piso 0, reduzir as janelas dos quartos B e C (que são as de maiores dimensões). Considerou-se uma redução semelhante à das janelas do Piso 0 (33% de redução na sua largura).

Neste caso não se observam melhorias tão significativas a nível de redução de cargas de arrefecimento, como se pode observar na Figura 4-38, onde as cargas de arrefecimento e aquecimento são apresentadas para o edifício original, com janelas modificadas no Piso 0 e com janelas modificadas no Piso 0 e nos quartos B e C.

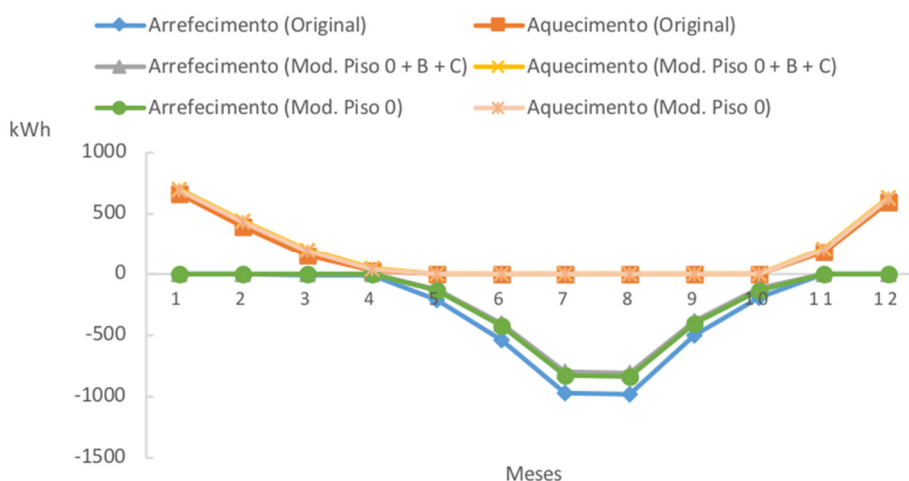


Figura 4-38 -- Cargas de aquecimento e arrefecimento do edifício com e sem janelas modificadas no Piso 0 e quartos B e C.

Com este estudo pode-se concluir que, a nível de comportamento térmico, será benéfico reduzir a largura das janelas grandes do Piso 0, sendo que as dos quartos não têm um impacto tão significativo.

5 CONCLUSÕES

Encontramo-nos numa época onde a sensibilidade do impacto no ser humano sobre o planeta se encontra constantemente a aumentar. Os dados estatísticos indicam um constante aumento de consumo eléctrico a nível global. Não só isto acarreta custos a nível social (peso da conta da energia no orçamento mensal das famílias) como a nível ambiental e de dependência energética.

A redução de consumos nas habitações e edifícios variados pode ser um factor importante na redução destes consumos. Para podermos reduzir os consumos será necessário edifícios com soluções mais adequadas à sua localização, assim como estratégias de redução activa de consumos. A análise numérica de edifícios permite de uma forma rápida, estudar várias soluções e possibilidades, de forma a avançar na procura de melhores eficiências nos edifícios.

Neste trabalho, primeiro foram identificados os agentes principais no comportamento térmico de edifícios, e foi feita uma introdução à temática do conforto térmico, uma vez que este, apesar das necessidades de redução de consumos, é um factor bastante importante nos consumos energéticos.

Foi posteriormente apresentado um edifício habitacional que serviu de caso de estudo. Foram definidas as suas envolventes e uma caracterização da sua ocupação de forma a tentar aproximar o mais possível a análise à realidade.

Foi feita a análise térmica do edifício utilizando duas ferramentas numéricas diferentes, o *Hourly Analysis Program* e o *DesignBuilder/EnergyPlus*. Da comparação dos resultados de ambas as ferramentas verificou-se uma boa concordância entre os dois, o que indicou a implementação semelhante do modelo nos dois *softwares*.

As análises indicaram que a habitação requer maiores consumos de climatização no Verão e foi possível relacionar estes maiores consumos com os ganhos de calor principalmente através dos envidraçados.

Foi também analisada a importância das persianas na habitação ao considerar duas simulações com e sem persianas. Verificou-se que a falta de persianas é benéfica no Inverno (aumenta os ganhos solares que contribuem para o aquecimento da habitação) e aumenta os consumos no Verão, pois é necessário um maior consumo para combater os ganhos solares mais elevados.

A análise do conforto térmico na habitação revelou bons valores de conforto (segundo as métricas analisadas) durante a semana de Verão considerada. Já na semana de Inverno que se analisou os valores revelaram que, de acordo com os níveis de actividade assumidos (dormir), o ambiente não seria o mais confortável nos quartos.

Em termos de conforto visual, foram analisadas várias métricas de quantificação de iluminância, tendo-se verificado que existe uma boa iluminação em todas as divisões da casa com janela exterior.

Toda análise feita permite retirar que a exposição Nascente e Poente das janela da habitação e a sua área traduz-se numa boa iluminância devido à luz solar e que será necessário tomar atenção ao isolamento das janelas, quer pela utilização de cortinas ou uma selecção de envidraçados com boas características de isolamento.

Foi efectuada uma análise de uma possível alteração à arquitectura da casa, no que diz respeito à largura de certas janelas, para a melhoria do desempenho térmico da mesma. Foram identificadas as janelas grandes do piso térreo como sendo as maiores contribuidoras para as necessidades de arrefecimento da habitação e determinou-se que uma redução de 33% na sua largura se traduziria numa redução máxima de 15% das necessidades de arrefecimento.

Em termos de comparação com os dois softwares, foi possível aferir que o HAP, pela sua simplicidade, permite mais facilmente e mais rapidamente analisar um edifício, uma vez que a introdução da geometria é mais simplificada e permite uma menor customização do modelo. O *Designbuilder*, pela sua complexidade, requer uma maior curva de aprendizagem e requer também uma maior atenção aos inputs que lhe são dados, pois permite a modelação de uma grande panóplia de sistemas. No entanto, esta maior complexidade vem associada a uma maior possibilidade de exploração dos resultados, que vai desde a quantidade de *outputs* que são gerados até à forma visual de apresentação dos mesmo.

Como em todos os trabalhos, existem vários pontos onde o que foi aqui apresentado pode ser explorado mais aprofundadamente. Tendo um modelo criado da habitação, seria interessante explorar outras soluções construtivas quer a nível da envolvente, quer a nível conceptual (como por exemplo os telhados verdes mencionados no Capítulo 1 ou a colocação de painéis fotovoltaicos). Seria também interessante, estando a habitação

construída, fazer medições de consumos, perfis de ocupação e condições de temperaturas de forma a validar (e posteriormente melhorar) o modelo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] European Commission, *Statistical Pocketbook 2018*. 2018.
- [2] International Energy Agency, *Energy Efficiency 2018: Analysis and Outlooks to 2040*. 2018.
- [3] PORDATA, “Consumo de energia eléctrica: total e por tipo de consumo,” 2017. [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+eléctrica+total+e+por+tipo+de+consumo-1124>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [4] S. Tsemekidi Tzeiranaki *et al.*, “Energy consumption and energy efficiency trends in the EU-28 for the period 2000-2016,” 2018.
- [5] “Edifícios - ADENE.” [Online]. Available: <https://www.adene.pt/edificios/>. [Accessed: 24-Mar-2019].
- [6] PORDATA, “Salário médio mensal dos trabalhadores por conta de outrem: remuneração base e ganho.” [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal/Salário+médio+mensal+dos+trabalhadores+por+conta+de+outrem+remuneração+base+e+ganho-857>. [Accessed: 16-May-2019].
- [7] A. Chel and G. Kaushik, “Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 57, no. 2, pp. 655–669, Jun. 2018.
- [8] A. Leandro, “Avaliação da capacidade de instalação de telhados verdes na cidade de Lisboa com recurso a SIG e detecção remota,” Universidade de Lisboa, 2011.
- [9] A. Dominguez, J. Kleissl, and J. C. Luvall, “Effects of solar photovoltaic panels on roof heat transfer,” *Sol. Energy*, vol. 85, no. 9, pp. 2244–2255, Sep. 2011.
- [10] “EDP instala 3.700 painéis solares nos edifícios do Millennium bcp – O Jornal Económico.” [Online]. Available: <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/edp-instala-3-700-paineis-solares-nos-edificios-do-millennium-bcp-230087>. [Accessed: 26-Oct-2019].
- [11] P. de Wilde, *Building Performance Analysis*. Wiley, 2018.
- [12] J. A. Clarke and J. L. M. Hensen, “Integrated building performance simulation: Progress, prospects and requirements,” *Build. Environ.*, vol. 91, pp. 294–306, Sep. 2015.
- [13] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 2007.

- [14] F. Kreith, M. Bohn, and A. Kirkpatrick, *Principles of Heat Transfer*, vol. 0, no. 0. 2010.
- [15] Stoecker F. Wilbert and Jones W. Jerold, *Refrigeração e Ar Condicionado*. 1982.
- [16] L. Carvalho, J. Barbosa, T. Teixeira, and V. Calado, *Manual de instalação de sistemas solares térmicos*. Porto, 2012.
- [17] M. Iqbal, *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, 1983.
- [18] D. Dolmans, G. Dutoo, A. Hall, and O. Seppanen, *Sombreamento Solar*. Lisboa: Ordem dos Engenheiros, 2012.
- [19] ASHRAE Fundamentals, *ASHRAE Handbook 2017 Fundamentals SI*. 2017.
- [20] A. Moret Rodrigues, A. Canha da Piedade, and A. M. Braga, *TÉRMICA DE EDIFÍCIOS*. .
- [21] R. and A.-C. E. American Society of Heating, “2017 ASHRAE handbook : fundamentals.,” 2017.
- [22] F. G. L. Muniz and I. Caracristi, “As transformações urbanas e a sazonalidade: produtores do conforto térmico do centro da cidade de Sobral-CE,” *Geogr. Ensino Pesqui.*, vol. 22, p. 16, 2018.
- [23] Y. Epstein and D. S. Moran, “Thermal comfort and the heat stress indices,” *Industrial Health*, vol. 44, no. 3. pp. 388–398, Jul-2006.
- [24] ISO, “ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria,” *Management*, vol. 3, pp. 605–615, 2005.
- [25] ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society for Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2004.
- [26] P. O. Fanger, “Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.,” *Therm. Conf. Anal. Appl. Environ. Eng.*, 1970.
- [27] B. M. . Shamsul, C. C. Sia, Y. . Ng, and K. Karmegan, “Effects of Light’s Colour Temperatures on Visual Comfort Level, Task Performances, and Alertness among Students,” *Am. J. Public Heal. Res.*, vol. 1, no. 7, pp. 159–165, 2013.
- [28] J. A. Veitch, J. Christoffersen, and A. D. Galasiu, “Daylight and View through Residential Windows : Effects on Well-being,” in *Residential daylighting and well-being*, 2013, pp. 1–6.
- [29] A. Nabil and J. Mardaljevic, “Useful daylight illuminances: A replacement for

- daylight factors,” *Energy Build.*, vol. 38, no. 7, pp. 905–913, Jul. 2006.
- [30] A. Boyano, P. Hernandez, and O. Wolf, “Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations,” *Energy Build.*, vol. 65, pp. 19–28, 2013.
- [31] H. Sozer, “Improving energy efficiency through the design of the building envelope,” *Build. Environ.*, vol. 45, no. 12, pp. 2581–2593, Dec. 2010.
- [32] Ministério Da Economia E Do Emprego, “Portaria n.º 349-D/2013, de 2 de dezembro,” *Diário da República*, vol. 1.^a série, no. 233, pp. 40–73, 2013.
- [33] “ASHRAE 140: Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs,” 2011.
- [34] “TRACE 700 | Trane Commercial,” *Trane*, 2017. [Online]. Available: <https://www.trane.com/commercial/north-america/us/en/products-systems/design-and-analysis-tools/analysis-tools/trace-700.html>. [Accessed: 12-Sep-2019].
- [35] D. B. Crawley *et al.*, “EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program,” *Energy Build.*, vol. 33, no. 4, pp. 319–331, Apr. 2001.
- [36] Carrier Corporation, “Hourly Analysis Program Quick Reference Guide,” pp. 1–144, 2015.
- [37] B. Birdsall, W. F. Buhl, K. . Ellington, and E. Al, “Overview of the DOE-2 Building Energy Analysis Program, Version 2.1D,” 1985.
- [38] “DesignBuilder Help - Introducing DesignBuilder.” [Online]. Available: <https://designbuilder.co.uk/helpv3.0/>. [Accessed: 02-Apr-2019].
- [39] M. Trčka and J. L. M. Hensen, “Overview of HVAC system simulation,” *Automation in Construction*, vol. 19, no. 2, pp. 93–99, Mar-2010.
- [40] T. Aized, S. Mehmood, and Z. Anwar, “Building energy consumption analysis, energy saving measurements and verification by applying HAP software,” *Pakistan J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 21, pp. 1–10, 2017.
- [41] M. Basarkar, X. Pang, L. Wang, P. Haves, and T. Hong, “Modeling and simulation of HVAC faults in EnergyPlus,” in *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, 2011, pp. 2897–2903.
- [42] M. David, M. Donn, F. Garde, and A. Lenoir, “Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades,” *Build. Environ.*, vol. 46, no. 7, pp. 1489–1496, Jul. 2011.

- [43] M. J. Sorgato, A. P. Melo, and R. Lamberts, “The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption,” *Energy Build.*, vol. 133, pp. 1–13, Dec. 2016.
- [44] LNEC, “Temperaturas Exteriores de Projecto e Números de Graus-Dias,” 1995.
- [45] “Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios.”
- [46] H. Gonçalves and J. M. Graça, *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. 2004.
- [47] L. M. SANTOS, C. d., & MATIAS, *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios - ITE 50*. Lisboa, 2006.
- [48] F. Oldewurtel, D. Sturzenegger, and M. Morari, “Importance of occupancy information for building climate control,” *Appl. Energy*, vol. 101, pp. 521–532, 2013.
- [49] Pacific Northwest National Laboratory, “ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 Performance Rating Method Reference Manual,” *Pnnl-255130*, no. May, 2016.
- [50] PORDATA, “Preços da electricidade para utilizadores domésticos e industriais (Euro/Ecu),” *Fundação Francisco Manuel dos Santos*, 2018. [Online]. Available: [https://www.pordata.pt/Europa/Preços+da+electricidade+para+utilizadores+domésticos+e+industriais+\(Euro+ECU\)-1477](https://www.pordata.pt/Europa/Preços+da+electricidade+para+utilizadores+domésticos+e+industriais+(Euro+ECU)-1477). [Accessed: 24-Oct-2019].

ANEXOS

Cooling Design Temperature Profiles

ISEL

Location: Lisboa, Portugal

(Dry and Wet Bulb temperatures are expressed in °C)

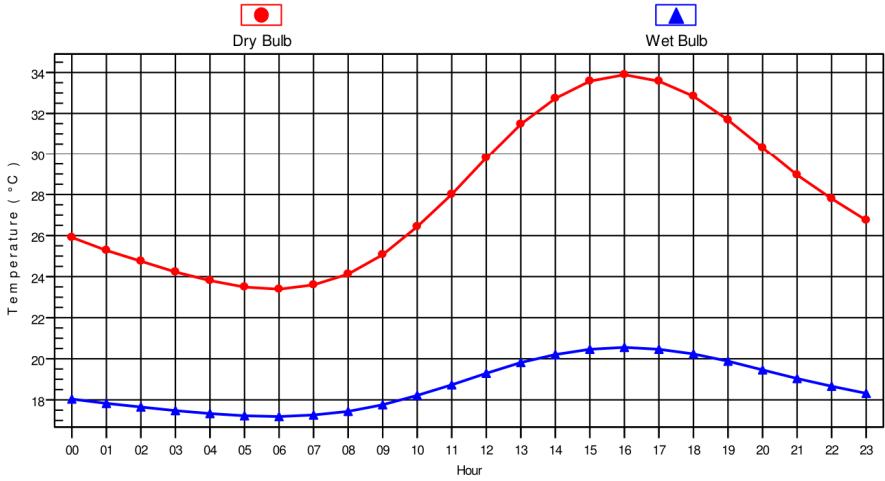
Hr	January		February		March		April		May		June	
	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB
0000	19,3	13,6	20,4	14,2	22,1	16,0	23,2	16,3	24,2	16,9	25,4	18,0
0100	18,8	13,4	19,9	14,0	21,5	15,8	22,6	16,1	23,6	16,7	24,7	17,8
0200	18,2	13,2	19,3	13,8	21,0	15,6	22,1	15,9	23,1	16,5	24,2	17,7
0300	17,8	13,0	18,9	13,7	20,6	15,4	21,6	15,7	22,6	16,4	23,7	17,5
0400	17,5	12,9	18,6	13,6	20,3	15,3	21,1	15,6	22,1	16,2	23,3	17,3
0500	17,4	12,9	18,5	13,5	20,2	15,3	20,8	15,5	21,8	16,1	22,9	17,2
0600	17,6	13,0	18,7	13,6	20,4	15,4	20,7	15,4	21,7	16,1	22,8	17,2
0700	18,1	13,2	19,2	13,8	20,9	15,6	20,9	15,5	21,9	16,1	23,0	17,3
0800	19,1	13,5	20,2	14,2	21,8	15,9	21,5	15,7	22,5	16,3	23,6	17,4
0900	20,4	14,1	21,5	14,7	23,2	16,4	22,4	16,0	23,4	16,6	24,5	17,8
1000	22,0	14,7	23,1	15,3	24,8	16,9	23,8	16,5	24,8	17,1	25,9	18,2
1100	23,8	15,3	24,9	15,9	26,6	17,6	25,3	17,1	26,3	17,7	27,5	18,7
1200	25,5	15,9	26,6	16,5	28,3	18,1	27,1	17,7	28,1	18,3	29,2	19,3
1300	26,7	16,4	27,8	16,9	29,5	18,5	28,8	18,2	29,8	18,8	30,9	19,8
1400	27,6	16,7	28,7	17,2	30,4	18,8	30,1	18,6	31,1	19,2	32,2	20,2
1500	27,9	16,8	29,0	17,3	30,7	18,9	30,9	18,9	31,9	19,5	33,0	20,5
1600	27,6	16,7	28,7	17,2	30,4	18,8	31,2	19,0	32,2	19,6	33,3	20,6
1700	26,8	16,4	28,0	17,0	29,6	18,6	30,9	18,9	31,9	19,5	33,0	20,5
1800	25,7	16,0	26,8	16,6	28,5	18,2	30,2	18,7	31,2	19,2	32,3	20,2
1900	24,3	15,5	25,4	16,1	27,1	17,7	29,0	18,3	30,0	18,9	31,1	19,9
2000	23,0	15,0	24,1	15,6	25,7	17,3	27,7	17,8	28,7	18,4	29,8	19,5
2100	21,8	14,6	22,9	15,2	24,6	16,9	26,3	17,4	27,3	18,0	28,4	19,0
2200	20,7	14,2	21,9	14,8	23,5	16,5	25,1	17,0	26,1	17,6	27,2	18,7
2300	19,9	13,9	21,0	14,5	22,7	16,2	24,1	16,6	25,1	17,2	26,2	18,3

Hr	July		August		September		October		November		December	
	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB
0000	25,9	18,0	25,9	18,0	24,8	17,4	23,7	16,8	20,9	15,5	19,8	14,2
0100	25,3	17,8	25,3	17,8	24,2	17,2	23,1	16,6	20,4	15,3	19,3	14,0
0200	24,8	17,7	24,8	17,7	23,6	17,0	22,5	16,4	19,9	15,1	18,8	13,8
0300	24,2	17,5	24,2	17,5	23,1	16,9	22,0	16,2	19,5	14,9	18,4	13,7
0400	23,8	17,3	23,8	17,3	22,7	16,7	21,6	16,1	19,2	14,8	18,0	13,6
0500	23,5	17,2	23,5	17,2	22,4	16,6	21,3	16,0	19,1	14,8	17,9	13,5
0600	23,4	17,2	23,4	17,2	22,3	16,6	21,2	15,9	19,3	14,9	18,2	13,6
0700	23,6	17,3	23,6	17,3	22,5	16,6	21,4	16,0	19,8	15,1	18,7	13,8
0800	24,1	17,4	24,1	17,4	23,0	16,8	21,9	16,2	20,7	15,4	19,6	14,2
0900	25,1	17,8	25,1	17,8	24,0	17,1	22,8	16,5	22,1	15,9	21,0	14,7
1000	26,4	18,2	26,4	18,2	25,3	17,6	24,2	17,0	23,7	16,5	22,6	15,3
1100	28,0	18,7	28,0	18,7	26,9	18,1	25,8	17,5	25,5	17,1	24,3	15,9
1200	29,8	19,3	29,8	19,3	28,7	18,7	27,6	18,1	27,1	17,7	26,0	16,5
1300	31,5	19,8	31,5	19,8	30,4	19,2	29,3	18,7	28,4	18,1	27,3	16,9
1400	32,7	20,2	32,7	20,2	31,6	19,6	30,5	19,1	29,2	18,3	28,1	17,2
1500	33,6	20,5	33,6	20,5	32,5	19,9	31,4	19,3	29,6	18,4	28,4	17,3
1600	33,9	20,6	33,9	20,6	32,8	20,0	31,7	19,4	29,2	18,3	28,1	17,2
1700	33,6	20,5	33,6	20,5	32,5	19,9	31,4	19,3	28,5	18,1	27,4	17,0
1800	32,8	20,2	32,8	20,2	31,7	19,7	30,6	19,1	27,4	17,7	26,2	16,6
1900	31,7	19,9	31,7	19,9	30,6	19,3	29,5	18,7	26,0	17,3	24,9	16,1
2000	30,3	19,5	30,3	19,5	29,2	18,9	28,1	18,3	24,6	16,8	23,5	15,6
2100	29,0	19,0	29,0	19,0	27,8	18,4	26,7	17,9	23,5	16,4	22,4	15,2
2200	27,8	18,7	27,8	18,7	26,7	18,1	25,6	17,5	22,4	16,0	21,3	14,8
2300	26,7	18,3	26,7	18,3	25,6	17,7	24,5	17,1	21,6	15,7	20,5	14,5

Design Temperature Profile

Location: Lisboa, Portugal

Design Temperature Profiles for July



Simulation Weather Temperature Graph for Lisboa, NUTS3, PRT (EXT)

ISEL

Temperature Profiles for Monday, January 1 (day 1) thru Monday, December 31 (day 365)
Table 1. Descriptive Parameters:

City	Lisboa
Location	NUTS3, PRT
Type of Data	(EXT)
Latitude	38,9 Deg.
Longitude	9,3 Deg.
Elevation	109,0 m
Local Time Zone (GMT +/- N hours)	0,0 hours
Daylight Savings Begins	March, 25
Daylight Savings Ends	October, 28
Average Ground Reflectance	0,20

Space Input Data

ISEL

0.0 - Hall

1. General Details:

Floor Area 13,5 m²
 Avg. Ceiling Height 2,6 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage **RESIDENTIAL: Common corridor**
 OA Requirement 1 0,0 L/s/person
 OA Requirement 2 0,30 L/(s·m²)
 Space Usage Defaults **ASHRAE Standard 62.1-2010**

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type **Recessed (Unvented)**
 Wattage 0,63 W/m²
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule **N - Luz outros**

2.4. People:

Occupancy 0,0 Person
 Activity Level **Office Work**
 Sensible 71,8 W/person
 Latent 60,1 W/person
 Schedule **None**

2.2. Task Lighting:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule **None**

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
 Schedule **None**
 Latent 0 W
 Schedule **None**

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule **None**

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
E	10,1	0	0	1
S	19,4	0	0	0

3.1. Construction Types for Exposure E

Wall Type **Parede exterior c/ basalto**
 Door Type **Porta exterior**

3.2. Construction Types for Exposure S

Wall Type **Parede exterior s/ basalto**

4. Roofs, Skylights:

(No Roof or Skylight data).

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
 Design Heating 0,00 L/s
 Energy Analysis 0,00 L/s
Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type **Floor Above Unconditioned Space**
 Floor Area 13,5 m²
 Total Floor U-Value 0,481 W/(m²·°K)
 Unconditioned Space Max Temp. 27,0 °C
 Ambient at Space Max Temp. 35,0 °C
 Unconditioned Space Min Temp. 15,0 °C
 Ambient at Space Min Temp. 3,5 °C

7. Partitions:

(No partition data).

Space Input Data

ISEL

0.1 - Sala jantar

1. General Details:

Floor Area 15,3 m²
 Avg. Ceiling Height 2,6 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage RESIDENTIAL: Dwelling unit
 OA Requirement 1 2,5 L/s/person
 OA Requirement 2 0,30 L/(s-m²)
 Space Usage Defaults ASHRAE Standard 62.1-2010

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
 Wattage 25,5 Watts
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule N - Luz outros

2.2. Task Lighting:

Wattage 8,0 Watts
 Schedule N - Luz outros

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,0 Watts
 Schedule None

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
E	11,7	1	0	0
S	2,6	0	0	0

3.1. Construction Types for Exposure E

Wall Type Parede exterior s/ basalto
 1st Window Type Janela Grande
 1st Window Shade Type B0

3.2. Construction Types for Exposure S

Wall Type Parede exterior s/ basalto

4. Roofs, Skylights:

(No Roof or Skylight data).

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
 Design Heating 0,00 L/s
 Energy Analysis 0,00 L/s
 Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type Floor Above Unconditioned Space
 Floor Area 15,3 m²
 Total Floor U-Value 0,481 W/(m²-°K)
 Unconditioned Space Max Temp. 27,0 °C
 Ambient at Space Max Temp. 35,0 °C
 Unconditioned Space Min Temp. 15,0 °C
 Ambient at Space Min Temp. 3,5 °C

7. Partitions:

7.1. 1st Partition Details:

(No partition data).

2.4. People:

Occupancy 1,0 Person
 Activity Level Seated at Rest
 Sensible 67,4 W/person
 Latent 35,2 W/person
 Schedule N - Sala de estar

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
 Schedule None
 Latent 0 W
 Schedule None

7.2. 2nd Partition Details:

Partition Type Wall Partition
 Area 10,4 m²
 U-Value 0,569 W/(m²-°K)
 Uncondit. Space Max Temp 27,0 °C
 Ambient at Space Max Temp 35,0 °C
 Uncondit. Space Min Temp 15,0 °C
 Ambient at Space Min Temp 3,5 °C

Space Input Data

ISEL

0.2 - Sala estar

1. General Details:

Floor Area 42,3 m²
 Avg. Ceiling Height 2,6 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage **GENERAL: Break room**
 OA Requirement 1 2,5 L/s/person
 OA Requirement 2 0,30 L/(s-m²)
 Space Usage Defaults **ASHRAE Standard 62.1-2010**

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type **Recessed (Unvented)**
 Wattage 34,0 Watts
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule **N - Luz outros**

2.4. People:

Occupancy 1,0 Person
 Activity Level **Seated at Rest**
 Sensible 67,4 W/person
 Latent 35,2 W/person
 Schedule **N - Sala de estar**

2.2. Task Lighting:

Wattage 12,0 Watts
 Schedule **N - Luz outros**

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
 Schedule **None**
 Latent 0 W
 Schedule **None**

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 20,0 Watts
 Schedule **N - Sala de estar**

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
S	13,9	0	0	0
W	9,1	1	0	0
S	2,6	0	0	0
W	11,7	1	0	0

3.1. Construction Types for Exposure S

Wall Type **Parede exterior s/ basalto**

3.2. Construction Types for Exposure W

Wall Type **Parede exterior s/ basalto**
 1st Window Type **Janela**
 1st Window Shade Type **D0**

3.3. Construction Types for Exposure S

Wall Type **Parede exterior s/ basalto**

3.4. Construction Types for Exposure W

Wall Type **Parede exterior c/ basalto**
 1st Window Type **Janela Grande**
 1st Window Shade Type **C0**

4. Roofs, Skylights:

(No Roof or Skylight data).

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
 Design Heating 0,00 L/s
 Energy Analysis 0,00 L/s
 Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type **Floor Above Unconditioned Space**
 Floor Area 42,3 m²
 Total Floor U-Value 0,481 W/(m²-°K)
 Unconditioned Space Max Temp. 27,0 °C
 Ambient at Space Max Temp. 35,0 °C
 Unconditioned Space Min Temp. 15,0 °C
 Ambient at Space Min Temp. 3,5 °C

7. Partitions:

7.1. 1st Partition Details:

(No partition data).

7.2. 2nd Partition Details:

Partition Type **Wall Partition**
 Area 16,6 m²

Space Input Data

ISEL

U-Value	0,569	W/(m ² ·°K)	Uncondit. Space Min Temp	15,0	°C
Uncondit. Space Max Temp	27,0	°C	Ambient at Space Min Temp	3,5	°C
Ambient at Space Max Temp	35,0	°C			

Space Input Data

ISEL

0.3 - Cozinha

1. General Details:

Floor Area 16,1 m²
Avg. Ceiling Height 2,6 m
Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage User-Defined
OA Requirement 1 3,8 L/s/person
OA Requirement 2 0,60 L/(s·m²)
Space Usage Defaults ASHRAE Standard 62.1-2010

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
Wattage 17,0 Watts
Ballast Multiplier 1,00
Schedule N - Luz outros

2.2. Task Lighting:

Wattage 0,00 W/m²
Schedule None

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 470,0 Watts
Schedule N - Cozinha Eq

3. Walls, Windows, Doors:

(No Wall, Window, Door data).

4. Roofs, Skylights:

(No Roof or Skylight data).

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
Design Heating 0,00 L/s
Energy Analysis 0,00 L/s
Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type Floor Above Unconditioned Space
Floor Area 16,1 m²
Total Floor U-Value 0,481 W/(m²·°K)
Unconditioned Space Max Temp. 27,0 °C
Ambient at Space Max Temp. 35,0 °C
Unconditioned Space Min Temp. 15,0 °C
Ambient at Space Min Temp. 3,5 °C

7. Partitions:

7.1. 1st Partition Details:

(No partition data).

2.4. People:

Occupancy 1,0 Person
Activity Level Medium Work
Sensible 86,5 W/person
Latent 133,3 W/person
Schedule N - Cozinha Eq

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
Schedule None
Latent 0 W
Schedule None

7.2. 2nd Partition Details:

Partition Type Wall Partition
Area 11,7 m²
U-Value 0,569 W/(m²·°K)
Uncondit. Space Max Temp 27,0 °C
Ambient at Space Max Temp 35,0 °C
Uncondit. Space Min Temp 15,0 °C
Ambient at Space Min Temp 3,5 °C

Space Input Data

ISEL

0.4 - I.S.1

1. General Details:

Floor Area 3,3 m²
Avg. Ceiling Height 2,6 m
Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage User-Defined
OA Requirement 1 0,0 L/s/person
OA Requirement 2 0,0 L/(s·m²)
Space Usage Defaults **ASHRAE Standard 62.1-2010**

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
Wattage 8,5 Watts
Ballast Multiplier 1,00
Schedule N - Luz outros

2.2. Task Lighting:

Wattage 0,00 W/m²
Schedule None

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,00 W/m²
Schedule None

3. Walls, Windows, Doors:

(No Wall, Window, Door data).

4. Roofs, Skylights:

(No Roof or Skylight data).

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
Design Heating 0,00 L/s
Energy Analysis 0,00 L/s
Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type Floor Above Unconditioned Space
Floor Area 3,3 m²
Total Floor U-Value 0,481 W/(m²·°K)
Unconditioned Space Max Temp. 27,0 °C
Ambient at Space Max Temp. 35,0 °C
Unconditioned Space Min Temp. 15,0 °C
Ambient at Space Min Temp. 3,5 °C

7. Partitions:

(No partition data).

2.4. People:

Occupancy 0,1 Person
Activity Level Seated at Rest
Sensible 67,4 W/person
Latent 35,2 W/person
Schedule N - Sala de estar

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
Schedule None
Latent 0 W
Schedule None

Space Input Data

ISEL

1.0 - Corredor 1andar

1. General Details:

Floor Area 8,1 m²
 Avg. Ceiling Height 2,6 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage User-Defined
 OA Requirement 1 0,0 L/s/person
 OA Requirement 2 0,00 L/(s-m²)
 Space Usage Defaults **ASHRAE Standard 62.1-2010**

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
 Wattage 25,5 Watts
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule N - Luz quartos

2.4. People:

Occupancy 0,0 Person
 Activity Level User defined
 Sensible 71,8 W/person
 Latent 60,1 W/person
 Schedule None

2.2. Task Lighting:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule None

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
 Schedule None
 Latent 0 W
 Schedule None

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule None

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
S	12,5	0	0	0

3.1. Construction Types for Exposure S

Wall Type Parede exterior s/ basalto

4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	8,1	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type Cobertura

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
 Design Heating 0,00 L/s
 Energy Analysis 0,00 L/s
 Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type Floor Above Conditioned Space
 (No additional input required for this floor type).

7. Partitions:

(No partition data).

Space Input Data

ISEL

1.1 - Quarto A

1. General Details:

Floor Area 14,2 m²
 Avg. Ceiling Height 2,6 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage RESIDENTIAL: Dwelling unit
 OA Requirement 1 2,5 L/s/person
 OA Requirement 2 0,30 L/(s-m²)
 Space Usage Defaults ASHRAE Standard 62.1-2010

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
 Wattage 8,5 Watts
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule N - Luz quartos

2.2. Task Lighting:

Wattage 8,0 Watts
 Schedule N - Luz quartos

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule None

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
S	12,0	0	0	0
W	9,1	1	0	0

3.1. Construction Types for Exposure S

Wall Type Parede exterior s/ basalto

3.2. Construction Types for Exposure W

Wall Type Parede exterior c/ basalto
 1st Window Type Janela

4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	14,2	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type Cobertura

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
 Design Heating 0,00 L/s
 Energy Analysis 0,00 L/s
 Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type Floor Above Conditioned Space
 (No additional input required for this floor type).

7. Partitions:

(No partition data).

Space Input Data

ISEL

1.2 - Quarto B

1. General Details:

Floor Area 21,8 m²
 Avg. Ceiling Height 2,6 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage RESIDENTIAL: Dwelling unit
 OA Requirement 1 2,5 L/s/person
 OA Requirement 2 0,30 L/(s-m²)
 Space Usage Defaults ASHRAE Standard 62.1-2010

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
 Wattage 8,5 Watts
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule N - Luz quartos

2.2. Task Lighting:

Wattage 8,0 Watts
 Schedule N - Luz quartos

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule None

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
S	2,6	0	0	0
W	11,7	1	0	0

3.1. Construction Types for Exposure S

Wall Type Parede exterior s/ basalto

3.2. Construction Types for Exposure W

Wall Type Parede exterior s/ basalto
 1st Window Type Janela Grande
 1st Window Shade Type B1

4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	21,8	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type Cobertura

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
 Design Heating 0,00 L/s
 Energy Analysis 0,00 L/s
 Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type Floor Above Conditioned Space
 (No additional input required for this floor type).

7. Partitions:

7.1. 1st Partition Details:

(No partition data).

2.4. People:

Occupancy 1,0 Person
 Activity Level Seated at Rest
 Sensible 67,4 W/person
 Latent 35,2 W/person
 Schedule N - Quarto B/C/D

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
 Schedule None
 Latent 0 W
 Schedule None

7.2. 2nd Partition Details:

Partition Type Wall Partition
 Area 13,5 m²
 U-Value 0,569 W/(m²-°K)
 Uncondit. Space Max Temp 27,0 °C
 Ambient at Space Max Temp 35,0 °C
 Uncondit. Space Min Temp 15,0 °C
 Ambient at Space Min Temp 3,5 °C

Space Input Data

ISEL

1.3 - Quarto C

1. General Details:

Floor Area 18,8 m²
 Avg. Ceiling Height 2,6 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage RESIDENTIAL: Dwelling unit
 OA Requirement 1 2,5 L/s/person
 OA Requirement 2 0,30 L/(s-m²)
 Space Usage Defaults ASHRAE Standard 62.1-2010

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
 Wattage 8,5 Watts
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule N - Luz quartos

2.4. People:

Occupancy 1,0 Person
 Activity Level Seated at Rest
 Sensible 67,4 W/person
 Latent 35,2 W/person
 Schedule N - Quarto B/C/D

2.2. Task Lighting:

Wattage 8,0 Watts
 Schedule N - Luz quartos

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
 Schedule None
 Latent 0 W
 Schedule None

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule None

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
E	11,7	1	0	0
S	2,6	0	0	0

3.1. Construction Types for Exposure E

Wall Type Parede exterior s/ basalto
 1st Window Type Janela Grande
 1st Window Shade Type C1

3.2. Construction Types for Exposure S

Wall Type Parede exterior s/ basalto

4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	18,8	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type Cobertura

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
 Design Heating 0,00 L/s
 Energy Analysis 0,00 L/s
 Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type Floor Above Conditioned Space
 (No additional input required for this floor type).

7. Partitions:

7.1. 1st Partition Details:

(No partition data).

7.2. 2nd Partition Details:

Partition Type Wall Partition
 Area 14,3 m²
 U-Value 0,569 W/(m²-°K)
 Uncondit. Space Max Temp 27,0 °C
 Ambient at Space Max Temp 35,0 °C
 Uncondit. Space Min Temp 15,0 °C
 Ambient at Space Min Temp 3,5 °C

Space Input Data

ISEL

1.4 - Quarto D

1. General Details:

Floor Area 10,1 m²
 Avg. Ceiling Height 2,6 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage RESIDENTIAL: Dwelling unit
 OA Requirement 1 2,5 L/s/person
 OA Requirement 2 0,30 L/(s-m²)
 Space Usage Defaults ASHRAE Standard 62.1-2010

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
 Wattage 8,5 Watts
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule N - Luz quartos

2.4. People:

Occupancy 1,0 Person
 Activity Level Seated at Rest
 Sensible 67,4 W/person
 Latent 35,2 W/person
 Schedule N - Quarto B/C/D

2.2. Task Lighting:

Wattage 8,0 Watts
 Schedule N - Luz quartos

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
 Schedule None
 Latent 0 W
 Schedule None

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,0 Watts
 Schedule None

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
E	9,1	1	0	0
S	9,2	0	0	0

3.1. Construction Types for Exposure E

Wall Type Parede exterior c/ basalto
 1st Window Type Janela
 1st Window Shade Type D1

3.2. Construction Types for Exposure S

Wall Type Parede exterior s/ basalto

4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	10,1	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type Cobertura

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
 Design Heating 0,00 L/s
 Energy Analysis 0,00 L/s
 Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type Floor Above Conditioned Space
 (No additional input required for this floor type).

7. Partitions:

(No partition data).

Space Input Data

ISEL

1.5 - I.S.2

1. General Details:

Floor Area **6,6** m²
 Avg. Ceiling Height **2,6** m
 Building Weight **341,8** kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage **User-Defined**
 OA Requirement 1 **0,0** L/s/person
 OA Requirement 2 **0,00** L/(s·m²)
 Space Usage Defaults **ASHRAE Standard 62.1-2010**

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type **Recessed (Unvented)**
 Wattage **17,0** Watts
 Ballast Multiplier **1,00**
 Schedule **N - Luz quartos**

2.2. Task Lighting:

Wattage **0,00** W/m²
 Schedule **None**

2.3. Electrical Equipment:

Wattage **0,00** W/m²
 Schedule **None**

3. Walls, Windows, Doors:

(No Wall, Window, Door data).

4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	6,6	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type **Cobertura**

5. Infiltration:

Design Cooling **0,00** L/s
 Design Heating **0,00** L/s
 Energy Analysis **0,00** L/s
 Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type **Floor Above Conditioned Space**
(No additional input required for this floor type).

7. Partitions:

(No partition data).

2.4. People:

Occupancy **0,0** Person
 Activity Level **Office Work**
 Sensible **71,8** W/person
 Latent **60,1** W/person
 Schedule **None**

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible **0** W
 Schedule **None**
 Latent **0** W
 Schedule **None**

Space Input Data

ISEL

1.6 - I.S.3

1. General Details:

Floor Area 5,5 m²
 Avg. Ceiling Height 2,6 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage User-Defined
 OA Requirement 1 0,0 L/s/person
 OA Requirement 2 0,00 L/(s·m²)
 Space Usage Defaults **ASHRAE Standard 62.1-2010**

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
 Wattage 17,0 Watts
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule N - Luz quartos

2.2. Task Lighting:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule None

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule None

3. Walls, Windows, Doors:

(No Wall, Window, Door data).

4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	5,5	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type Cobertura

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
 Design Heating 0,00 L/s
 Energy Analysis 0,00 L/s
 Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type Floor Above Conditioned Space
 (No additional input required for this floor type).

7. Partitions:

7.1. 1st Partition Details:

(No partition data).

2.4. People:

Occupancy 0,0 Person
 Activity Level Office Work
 Sensible 71,8 W/person
 Latent 60,1 W/person
 Schedule None

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
 Schedule None
 Latent 0 W
 Schedule None

7.2. 2nd Partition Details:

Partition Type Wall Partition
 Area 7,4 m²
 U-Value 0,569 W/(m²·°K)
 Uncondit. Space Max Temp 27,0 °C
 Ambient at Space Max Temp 35,0 °C
 Uncondit. Space Min Temp 15,0 °C
 Ambient at Space Min Temp 3,5 °C

Space Input Data

ISEL

1.7 - Closet

1. General Details:

Floor Area 3,4 m²
 Avg. Ceiling Height 2,6 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage **GENERAL: Corridor**
 OA Requirement 1 0,0 L/s/person
 OA Requirement 2 0,30 L/(s·m²)
 Space Usage Defaults **ASHRAE Standard 62.1-2010**

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type **Recessed (Unvented)**
 Wattage 8,5 Watts
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule **N - Luz quartos**

2.2. Task Lighting:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule **None**

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule **None**

3. Walls, Windows, Doors:

(No Wall, Window, Door data).

4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	3,4	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type **Cobertura**

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
 Design Heating 0,00 L/s
 Energy Analysis 0,00 L/s
 Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type **Floor Above Conditioned Space**
(No additional input required for this floor type).

7. Partitions:

7.1. 1st Partition Details:

(No partition data).

2.4. People:

Occupancy 0,0 Person
 Activity Level **Office Work**
 Sensible 71,8 W/person
 Latent 60,1 W/person
 Schedule **None**

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
 Schedule **None**
 Latent 0 W
 Schedule **None**

7.2. 2nd Partition Details:

Partition Type **Wall Partition**
 Area 6,5 m²
 U-Value 2,839 W/(m²·°K)
 Uncondit. Space Max Temp 27,0 °C
 Ambient at Space Max Temp 35,0 °C
 Uncondit. Space Min Temp 15,0 °C
 Ambient at Space Min Temp 3,5 °C

Space Input Data

ISEL

Garagem

1. General Details:

Floor Area 89,3 m²
Avg. Ceiling Height 2,4 m
Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage User-Defined
OA Requirement 1 0,0 L/s/person
OA Requirement 2 0,0 L/(s·m²)
Space Usage Defaults **ASHRAE Standard 62.1-2010**

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
Wattage 0,00 W/m²
Ballast Multiplier 1,00
Schedule None

2.2. Task Lighting:

Wattage 0,00 W/m²
Schedule None

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,00 W/m²
Schedule None

3. Walls, Windows, Doors:

(No Wall, Window, Door data).

4. Roofs, Skylights:

(No Roof or Skylight data).

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
Design Heating 0,00 L/s
Energy Analysis 0,00 L/s
Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type Floor Above Conditioned Space
(No additional input required for this floor type).

7. Partitions:

(No partition data).

2.4. People:

Occupancy 0,0 Person
Activity Level Office Work
Sensible 71,8 W/person
Latent 60,1 W/person
Schedule None

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
Schedule None
Latent 0 W
Schedule None

Space Input Data

ISEL

Zona Técnica

1. General Details:

Floor Area 1,5 m²
Avg. Ceiling Height 2,4 m
Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage User-Defined
OA Requirement 1 0,0 L/s/person
OA Requirement 2 0,0 L/(s·m²)
Space Usage Defaults **ASHRAE Standard 62.1-2010**

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
Wattage 0,00 W/m²
Ballast Multiplier 1,00
Schedule None

2.2. Task Lighting:

Wattage 0,00 W/m²
Schedule None

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 0,00 W/m²
Schedule None

3. Walls, Windows, Doors:

(No Wall, Window, Door data).

4. Roofs, Skylights:

(No Roof or Skylight data).

5. Infiltration:

Design Cooling 0,00 L/s
Design Heating 0,00 L/s
Energy Analysis 0,00 L/s
Infiltration occurs only when the fan is off.

6. Floors:

Type Floor Above Conditioned Space
(No additional input required for this floor type).

7. Partitions:

(No partition data).

2.4. People:

Occupancy 0,0 Person
Activity Level Office Work
Sensible 71,8 W/person
Latent 60,1 W/person
Schedule None

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0 W
Schedule None
Latent 0 W
Schedule None

Air System Sizing Summary for AC-split (1zona)

Prepared by: ISEL

Air System Information

Air System Name **AC-split (1zona)**
Equipment Class **TERM**
Air System Type **SPLT-FC**

Number of zones **1**
Floor Area **138,6** m²
Location **Lisboa, Portugal**

Sizing Calculation Information

Calculation Months **Jan to Dec**
Sizing Data **Calculated**

Zone L/s Sizing **Sum of space airflow rates**
Space L/s Sizing **Individual peak space loads**

Ventilation Sizing Summary for AC-split (1zona)

Prepared by: ISEL

1. Summary

Ventilation Sizing Method Sum of Space OA Airflows

2. Space Ventilation Analysis Table

Zone Name / Space Name	Mult.	Floor Area (m²)	Maximum Occupants	Maximum Supply Air (L/s)	Required Outdoor Air (L/s/person)	Required Outdoor Air (L/(s·m²))	Required Outdoor Air (L/s)	Required Outdoor Air (% of supply)	Uncorrected Outdoor Air (L/s)
Zone 1									
0.2 - Sala estar	1	42,3	1,0	278,7	2,50	0,30	0,0	0,0	15,2
0.1 - Sala jantar	1	15,3	1,0	185,4	2,50	0,30	0,0	0,0	7,1
0.3 - Cozinha	1	16,1	1,0	43,6	3,80	0,60	0,0	0,0	13,5
1.1 - Quarto A	1	14,2	2,0	81,7	2,50	0,30	0,0	0,0	9,3
1.2 - Quarto B	1	21,8	1,0	201,7	2,50	0,30	0,0	0,0	9,0
1.3 - Quarto C	1	18,8	1,0	179,8	2,50	0,30	0,0	0,0	8,1
1.4 - Quarto D	1	10,1	1,0	74,7	2,50	0,30	0,0	0,0	5,5
Totals (incl. Space Multipliers)				1045,6					67,7

Air System Design Load Summary for AC-split (1zona)

Prepared by: ISEL

	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1700			HEATING DATA AT DES HTG		
	COOLING OA DB / WB	33,6 °C / 20,5 °C		HEATING OA DB / WB	3,9 °C / 0,4 °C	
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	41 m²	6029	-	41 m²	-	-
Wall Transmission	78 m²	217	-	78 m²	640	-
Roof Transmission	65 m²	365	-	65 m²	563	-
Window Transmission	41 m²	798	-	41 m²	1974	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Floor Transmission	74 m²	29	-	74 m²	207	-
Partitions	67 m²	31	-	67 m²	221	-
Ceiling	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Overhead Lighting	23 W	18	-	0	0	-
Task Lighting	6 W	6	-	0	0	-
Electric Equipment	24 W	45	-	0	0	-
People	1	115	38	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
>> Total Zone Loads	-	7653	38	-	3605	0
Zone Conditioning	-	11099	38	-	3529	0
Plenum Wall Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Roof Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Lighting Load	0%	0	-	0	0	-
Exhaust Fan Load	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Ventilation Load	61 L/s	558	93	21 L/s	414	0
Ventilation Fan Load	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Space Fan Coil Fans	-	188	-	-	-64	-
Duct Heat Gain / Loss	0%	0	-	0%	0	-
>> Total System Loads	-	11846	131	-	3879	0
Terminal Unit Cooling	-	11846	0	-	0	0
Terminal Unit Heating	-	0	-	-	3879	-
>> Total Conditioning	-	11846	0	-	3879	0
Key:	Positive values are clg loads			Positive values are htg loads		
	Negative values are htg loads			Negative values are clg loads		

Zone Design Load Summary for AC-split (1zona)

Prepared by: ISEL

Zone 1	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1700 COOLING OA DB / WB 33,6 °C / 20,5 °C OCCUPIED T-STAT 25,0 °C			HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 3,9 °C / 0,4 °C OCCUPIED T-STAT 21,0 °C		
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	41 m ²	6029	-	41 m ²	-	-
Wall Transmission	78 m ²	217	-	78 m ²	640	-
Roof Transmission	65 m ²	365	-	65 m ²	563	-
Window Transmission	41 m ²	798	-	41 m ²	1974	-
Skylight Transmission	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Door Loads	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Floor Transmission	74 m ²	29	-	74 m ²	207	-
Partitions	67 m ²	31	-	67 m ²	221	-
Ceiling	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Overhead Lighting	23 W	18	-	0	0	-
Task Lighting	6 W	6	-	0	0	-
Electric Equipment	24 W	45	-	0	0	-
People	1	115	38	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
>> Total Zone Loads	-	7653	38	-	3605	0

AC-split (1zona) Input Data

Prepared by: ISEL

1. General Details:

Air System Name **AC-split (1zona)**
 Equipment Type **Terminal Units**
 Air System Type **Split DX Fan Coil**
 Number of zones **1**
 Ventilation **Direct Ventilation**

2. Ventilation System Components:

(Common Ventilation System not used: no inputs)

3. Zone Components:

Space Assignments:

Zone 1: Zone 1	
0.2 - Sala estar	x1
0.1 - Sala jantar	x1
0.3 - Cozinha	x1
1.1 - Quarto A	x1
1.2 - Quarto B	x1
1.3 - Quarto C	x1
1.4 - Quarto D	x1

Thermostats and Zone Data:

Zone **All**
 Cooling T-stat: Occ. **25,0** °C
 Cooling T-stat: Unocc. **27,0** °C
 Heating T-stat: Occ. **21,0** °C
 Heating T-stat: Unocc. **19,0** °C
 T-stat Throttling Range **1,00** °K

Thermostat Schedule **AC**
 Unoccupied Cooling is **Not Available**

Common Terminal Unit Data:

Cooling Coil:
 Design Supply Temperature **16,0** °C
 Coil Bypass Factor **0,100**
 Cooling Source **Air-Cooled DX**
 Schedule **JFMAMJJASOND**

Heating Coil:
 Design Supply Temperature **30,0** °C
 Heating Source **Air Source Heat Pump**
 Schedule **JFMAMJJASOND**

Fan Control **Cycled**
 Ventilation Sizing Method **Sum of Space OA Airflows**

Terminal Units Data:

Zone **All**
 Terminal Type **Fan Coil**
 Minimum Airflow **0,00** L/s/person
 Fan Performance **100** Pa
 Fan Overall Efficiency **50** %

4. Sizing Data (Computer-Generated):

System Sizing Data:

Sizing Data:
 Cooling Supply Temperature **16,0** °C
 Heating Supply Temperature **30,0** °C

Hydronic Sizing Specifications:

Chilled Water Delta-T **5,6** °K
 Hot Water Delta-T **11,1** °K

Safety Factors:

Cooling Sensible **0** %
 Cooling Latent **0** %
 Heating **0** %

Zone Sizing Data:

Zone Airflow Sizing Method **Sum of space airflow rates**
 Space Airflow Sizing Method **Individual peak space loads**

AC-split (1zona) Input Data

Prepared by: ISEL

Zone	Supply Airflow (L/s)	Zone Htg Unit (kW)	Reheat Coil (kW)	Ventilation (L/s)
1	1045,6	-	-	67,7

5. Equipment Data

Terminal Cooling Units - Air-Cooled DX

Zone	Estimated Maximum Load (kW)	Design OAT (°C)	Equipment Sizing	Gross Cooling Capacity (kW)	Capacity Oversizing Factor (%)	Compressor + OD Fan Power (kW)	ARI Performance Rating	Units	Conventional Cutoff OAT (°C)
1	11,8	35,0	Auto-Sized	13,6	15	-	Auto-Calculated (3,810)	SEER	5,0

*Auto-Calculated = Calculated per ASHRAE 90.1 Minimum Equipment Efficiency.

Terminal Heating Units - ASHP

Zone	Estimated Maximum Load (kW)	Design OAT (°C)	Equipment Sizing	Gross Heating Capacity (kW)	Capacity Oversizing Factor (%)	Compressor + OD Fan Power (kW)	ARI Performance Rating	Units	Cutoff OAT (°C)
1	3,9	4,5	Auto-Sized	4,8	25	-	Auto-Calculated (7,700)	HSPF	0,0

*Auto-Calculated = Calculated per ASHRAE 90.1 Minimum Equipment Efficiency.

Auxiliary Heating Type **Electric Resistance**
 Auxiliary Heating Upper Cutoff **4,4** °C