



Tiago Manuel Fernandes Gonçalves

# CONFORTO TÉRMICO NO INTERIOR DE EDIFÍCIOS

THERMAL COMFORT IN BUILDINGS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções,  
orientada pelo Professor Doutor Paulo Fernando Antunes dos Santos

Coimbra, 6 de Outubro de 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



**FCTUC** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Tiago Manuel Fernandes Gonçalves

# CONFORTO TÉRMICO NO INTERIOR DE EDIFÍCIOS

## THERMAL COMFORT IN BUILDINGS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções,  
orientada pelo Professor Doutor Paulo Fernando Antunes dos Santos

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.  
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer  
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões  
que possa conter.

Coimbra, 6 de Outubro de 2017

**AGRADECIMENTOS**

O meu maior agradecimento é dirigido ao meu orientador Professor Paulo Fernando Antunes dos Santos pelo seu tempo, pelas críticas e sugestões, e pelo pragmatismo, que torna esta prova possível hoje.

A todos os professores da área de especialização em Construções pelos ensinamentos, compreensão, dedicação e disponibilidade.

À Professora Andreia Pereira pelos preciosos conselhos, apoio e ajuda prestada. Ao Senhor Nuno Almeida e ao Filipe Caramelo pela disponibilidade e ajuda na obtenção do programa utilizado.

À minha amiga Tânia por me ouvir e incontestável apoio. Ao Tiago, ao Kevin e ao Carlos pela primeira palavra e por todas as outras. Aos meus pais pela presença, ajuda constantes, empenho e assistência ao longo dos anos. À Carmo pela disponibilidade e preciosa ajuda nesta última jornada.

Por fim, a todos os docentes, colegas e amigos que acompanharam o meu percurso académico nos últimos anos.

**RESUMO**

Há muitos anos que o ser humano se preocupa com o seu bem-estar, daí a necessidade de investigar e de procurar permanentemente o conforto a nível térmico.

A questão do conforto térmico no interior dos edifícios sempre foi um assunto com uma certa complexidade na medida em que depende da análise de diversos parâmetros que incluem, entre outros, o nível metabólico, vestuário, temperatura e velocidade do ar e temperatura radiante.

Nesta dissertação pretende-se estudar a relação existente entre algumas estratégias passivas, com vista à melhoria do comportamento térmico dos edifícios, tais como a ventilação e o nível de conforto sentido pelos ocupantes do mesmo. Neste trabalho foi utilizado o programa de simulação dinâmica *Design Builder*.

O modelo que serviu de base ao presente estudo do comportamento térmico corresponde a um gabinete situado no laboratório de estruturas, no piso quatro, do departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra. O programa possui uma base de dados com diversos climas, no qual está incluído o clima que se pretende estudar, o da cidade de Coimbra, permitindo desta forma obter resultados com maior exatidão.

Os dados de entrada referidos ao longo da dissertação correspondem ao gabinete em estudo, a fim de se obterem resultados mais exatos. Posteriormente foram realizadas simulações, bem como a análise dos resultados obtidos. Os parâmetros analisados e que depois foram comparados são a temperatura do ar, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura de bolbo seco e humidade relativa.

Após a realização do estudo paramétrico foram retiradas algumas conclusões sobre qual a melhor orientação que o gabinete deve ter.

**Palavras-chave:** Conforto Térmico, Simulação Dinâmica, *Design Builder*, Edifícios, Escritórios.



**ABSTRACT**

For many years the human being has been concerned with their well-being, hence the need to investigate and constantly search for comfort at a thermal level.

The issue of thermal comfort inside buildings has always been a subject with a certain complexity in that it depends on the analysis of several parameters that include, among others, the metabolic level, clothing, temperature and air velocity and radiant temperature.

In this dissertation wants to study the relationship between some passive strategies, with a view to improving the thermal behavior of buildings, such as ventilation and comfort level felt by the occupants of the same. In this work we used the dynamic simulation program Design Builder.

The model that served as the basis for the present study of thermal behavior corresponds to an enclosure located in the four-floor structure laboratory of the Department of Civil Engineering of the University of Coimbra. The program has a database with several climates, which includes the climate to be studied, the city of Coimbra, in order to obtain results with greater accuracy.

The input data used in the program correspond to the study office in order to obtain more precision results. Subsequently, simulations were carried out, as well as the analysis of the results obtained. The parameters analyzed and then compared are air temperature, radiant temperature, operating temperature, dry bulb temperature and relative humidity.

After the parametric study, some conclusions were drawn about the best orientation that the office should have.

**Key words:** Thermal Comfort, Dynamic Simulation, Design Builder, Buildings, Offices.

## Índice

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento do Tema .....	1
1.2	Objetivos .....	2
1.3	Estrutura da Dissertação .....	2
2	CONFORTO TÉRMICO.....	4
2.1	Definição de Conforto Térmico .....	4
2.2	Fatores que Influenciam o Conforto Térmico.....	5
2.3	Balço Térmico do Corpo Humano .....	7
2.4	Categorias de Conforto .....	13
2.5	Índices de Conforto Térmico .....	15
2.6	Desconforto Térmico Local .....	16
2.6.1	Assimetria Radiante.....	17
2.6.2	Diferença Vertical de Temperatura do Ar .....	17
2.6.3	Temperatura do Pavimento.....	18
2.6.4	Correntes de Ar.....	19
2.7	Normas Sobre Conforto Térmico .....	20
2.7.1	ISO 7730:2005.....	20
2.7.2	ISO 7726:1998.....	20
2.7.3	ISO 8996:2004.....	20
2.7.4	ISO 10551:1995.....	21
2.7.5	ISO 9920:2007.....	21
2.7.6	ANSI/ASHRAE 55:2004.....	21
2.7.7	EN 15251:2007.....	21
2.8	Regulamentos.....	21
2.8.1	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) ..	22
2.8.2	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)..	22
2.9	Outras Ferramentas .....	22
2.9.1	Manequim Térmico .....	22
2.9.2	Aplicações Computacionais para Avaliação do Conforto Térmico .....	23
2.9.3	Analysis 1.5 .....	24
3	CASO DE ESTUDO .....	25
3.1	Principais Objetivos .....	25
3.2	Metodologia .....	25
3.3	<i>Design Builder</i> .....	26

---

3.4	Localização do Edifício e Condições Climáticas.....	26
3.5	Descrição dos Gabinetes .....	28
3.5.1	Gabinete 1 (P).....	28
3.5.2	Gabinete 2 (E).....	30
3.5.3	Gabinete 3 (S).....	31
3.5.4	Gabinete 4 (N) .....	31
3.6	Constituição da Envolvente .....	31
3.7	Dados de Entrada do Modelo.....	34
3.7.1	Construção do Modelo .....	34
3.7.2	Atividade .....	35
3.7.3	Elementos construtivos.....	36
3.7.4	Aberturas .....	37
3.7.5	Iluminação .....	38
3.7.6	AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.....	39
3.7.7	Simulação Dinâmica.....	40
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	41
4.1	Gabinete 1 (P) .....	42
4.2	Gabinete 2 (E).....	45
4.3	Gabinete 3 (S) .....	48
4.4	Gabinete 4 (N) .....	52
4.5	Resultados para os diferentes cenários de verão.....	55
5	CONCLUSÕES .....	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
	ANEXOS .....	64
	ANEXO A – Planta do piso 4.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Sensor de temperatura do ar e humidade relativa .....	6
Figura 2.2 – Psicrómetro giratório.....	6
Figura 2.3 – Termómetro de globo .....	7
Figura 2.4 – Anemómetro de paletas.....	7
Figura 2.5 - Formas de perda de calor do ser humano (Oliveira, 2008).....	8
Figura 2.6 – Valores da temperatura média operativa em função da temperatura média exterior (EN 15251, 2007).....	14
Figura 2.7 – Relação entre PPD e PMV (Houghten FC, 2002).....	16
Figura 2.8 – Desconforto térmico local causado pela assimetria radiante (EN ISO 7730, 2005)	17
Figura 2.9 – Desconforto térmico local causado pela diferença vertical de temperatura do ar (EN ISO 7730, 2005).....	18
Figura 2.10 - Desconforto local causado por pisos quentes e frios (EN ISO 7730, 2005).....	19
Figura 2.11 – Manequim térmico (Felix, Pereira, and Tribess, 2006) .....	23
Figura 2.12 – Folha de cálculo dos índices PMV e PPD.....	23
Figura 2.13 – Interface do programa (LabEEE, 1996) .....	24
Figura 3.1– Localização do departamento de Engenharia Civil (Google Earth).....	27
Figura 3.2 – Localização do gabinete SF.4.6 .....	28
Figura 3.3 – Alçado frontal do gabinete SF.4.6.....	29
Figura 3.4 – Planta do gabinete SF.4.6.....	30
Figura 3.5 – Localização do gabinete SF.4.12 (à esquerda) e planta (à direita).....	30
Figura 3.6 – Planta do gabinete 3 .....	31
Figura 3.7 – Planta do gabinete 4 .....	31
Figura 3.8 – Cortes da parede exterior (à esquerda) e interior (à direita) do gabinete SF.4.6.	32
Figura 3.9 – Cortes das laje superior (em cima) e inferior (em baixo) do gabinete SF.4.6.....	33
Figura 3.10 – Cortes da parede exterior (à esquerda) e interior (à direita) do gabinete SF.4.6.	33
Figura 3.11 – Cortes da laje superior (à esquerda) e inferior (à direita) do gabinete SF.4.6... 34	34
Figura 3.12 – Modelo tridimensional do gabinete SF.4.6 (à esquerda) e respetivo corredor (à direita).....	34
Figura 3.13 – Resultado da visualização das sombras para o dia 10 de Junho ( <i>print screen</i> do programa <i>Design Builder</i> ) .....	35
Figura 3.14 – Janela dos parâmetros de conforto térmico definidos no separador atividade para determinada zona ( <i>print screen</i> do programa <i>Design Builder</i> ).....	36

Figura 3.15 – Janela de caracterização dos elementos construtivos ( <i>print screen</i> do programa <i>Design Builder</i> ).....	37
Figura 3.16 – Janela de seleção dos materiais constituintes para o exemplo de uma parede exterior ( <i>print screen</i> do programa <i>Design Builder</i> ) .....	37
Figura 3.17 – Janela de seleção do tipo de vidro e sombreamento ( <i>print screen</i> do programa <i>Design Builder</i> ).....	38
Figura 3.18 – Janela de seleção do tipo de iluminação ( <i>print screen</i> do programa <i>Design Builder</i> ).....	39
Figura 3.19 – Janela de seleção do sistema AVAC ( <i>print screen</i> do programa <i>Design Builder</i> )	40
Figura 3.20 - Janela de simulação dinâmica ( <i>print screen</i> do programa <i>Design Builder</i> ) .....	40
Figura 4.1 – Variação das temperaturas e humidade relativa ao longo de uma semana típica de verão do gabinete 1 .....	43
Figura 4.2 – Temperatura operativa ao longo de uma semana típica de verão (à esquerda) e de uma semana típica de inverno (à direita) do gabinete 1 .....	43
Figura 4.3 – Relação entre os índices PPD e PMV (à esquerda) e percentagens das categorias de conforto (à direita) do gabinete 1 .....	45
Figura 4.4 - Variação das temperaturas e humidade relativa ao longo de uma semana típica de verão .....	47
Figura 4.5 - Temperatura operativa ao longo de uma semana típica de verão (à esquerda) e de uma semana típica de inverno (à direita) do gabinete 2 .....	47
Figura 4.6 - Relação entre os índices PPD e PMV (à esquerda) e percentagens das categorias (à direita) do gabinete 2 .....	48
Figura 4.7 - Variação das temperaturas e humidade relativa ao longo de uma semana típica de verão .....	50
Figura 4.8 – Temperatura operativa ao longo da semana típica de verão (à esquerda) e de uma semana típica de inverno (à direita) do gabinete 3 .....	50
Figura 4.9 - Relação entre os índices PPD e PMV (à esquerda) e percentagens das categorias (à direita) do gabinete 3 .....	51
Figura 4.10 - Variação das temperaturas e humidade relativa ao longo de uma semana típica de verão.....	53
Figura 4.11 - Temperatura operativa ao longo de uma semana típica de verão (à esquerda) e de uma semana típica de inverno (à direita) do gabinete 4.....	53
Figura 4.12 - Relação entre os índices PPD e PMV (à esquerda) e percentagens das categorias (à direita) do gabinete 4 .....	54

---

Figura 4.13 – Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 1 (caso de referência) .....	55
Figura 4.14 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 2 (sombreamento) .....	55
Figura 4.15 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 3 (ventilação natural).....	56
Figura 4.16 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 4 (ganhos internos) .....	56
Figura 4.17 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 1 (caso de referência) .....	57
Figura 4.18 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 2 (sombreamento) .....	58
Figura 4.19 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 3 (ventilação natural).....	58
Figura 4.20 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 4 (ganhos internos) .....	59



---

**ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 2.1 - Exemplos de atividades e respetivas taxas de metabolismo (EN ISO 7730, 2005)	11
Quadro 2.2 - Isolamento para algumas combinações de vestuário (McCullough and Jones, 1984).....	12
Quadro 2.3 – Explicação das categorias definidas pela norma (EN 15251, 2007) .....	13
Quadro 2.4 – Valores de PPD e PMV para edifícios (EN 15251, 2007).....	14
Quadro 2.5 – Escala de sensibilidade térmica (EN ISO 7730, 2005).....	15
Quadro 3.1 – Dados climáticos para uma zona específica do REH (REH, 2013).....	27
Quadro 3.2 – Características do Gabinete 1 .....	29
Quadro 3.3 – Parâmetros de conforto térmico.....	35
Quadro 3.4 – Dimensões dos elementos construtivos .....	36
Quadro 3.5 – Valores das características térmicas e óticas .....	38
Quadro 3.6 – Valores para a iluminação .....	39
Quadro 4.1 – Média da temperatura operativa dos quatro cenários do gabinete 1.....	42
Quadro 4.2 – Valores médios das temperaturas e humidade relativa da semana típica de verão do gabinete 1 .....	42
Quadro 4.3 – Média da temperatura operativa dos quatro cenários do gabinete 2.....	46
Quadro 4.4 – Valores médios das temperaturas e humidade relativa da semana típica de verão	46
Quadro 4.5 - Média da temperatura operativa dos quatro cenários do gabinete 3 .....	49
Quadro 4.6 - Valores médios das temperaturas e humidade relativa da semana típica de verão	49
Quadro 4.7 - Média da temperatura operativa dos quatro cenários do gabinete 4 .....	52
Quadro 4.8 - Valores médios das temperaturas e humidade relativa ao longo da semana típica de verão.....	52

---

**SIMBOLOGIA**

H – Produção interna de calor

$Q_{res}$  – Taxa total de perda de calor por respiração

$Q_s$  – Calor transferido por radiação e convecção entre o vestuário e o exterior

$Q_{sk}$  – Taxa total de perda de calor por evaporação

$C_{res}$  – Taxa de perda de calor convectivo na respiração

$E_d$  – Taxa de calor perdido por difusão do vapor através da pele

$E_{res}$  – Taxa de perda de calor evaporativo na respiração

$E_{sw}$  – Taxa de calor perdido por evaporação da transpiração

M – Taxa de metabolismo

$P_a$  – Pressão de vapor

$t_a$  – Temperatura do ar

$t_{sk}$  – Temperatura superficial da pele

W – Taxa de trabalho mecânico realizado

$A_{DuBois}$  – Área superficial do corpo

m – Massa do corpo

l – Altura do corpo

$F_{cl}$  – Fator de área do vestuário

$h_c$  – Condutância térmica superficial por convecção

$I_{cl}$  – Resistência térmica do vestuário

C + R – Perda de calor sensível da pele

$t_{cl}$  – Temperatura superficial da roupa

$\bar{t}_r$  – Temperatura radiante média

$t_o$  – Temperatura operativa

$f_{ef}$  – Área radiante efetiva

$\sigma$  – Constante de Stefan-Boltzmann

$\varepsilon$  – Emissividade

$clo$  – Calor conferido pelo vestuário

DR – Corrente de ar

$t_a$  – Temperatura do ar local

$\bar{v}_a$  – Velocidade média local do ar

Tu – Intensidade de turbulência local

## **ABREVIATURAS**

PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied

PMV – Predicted Mean Vote

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos edifícios de Comércio e Serviços

DEC – Departamento de Engenharia Civil

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento do Tema

Para a conclusão do Mestrado em Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, o tema da presente dissertação foi escolhido essencialmente pela sua pertinência, em virtude de a poupança de energia e a consequente proteção do ambiente serem cada vez mais uma preocupação a que todos devemos ser sensíveis.

Como o tema “Conforto térmico no interior de edifícios” é demasiado abrangente, após várias pesquisas, surgiu o interesse e a necessidade de focalizar o estudo em algo mais concreto. Desta forma, estudar o comportamento térmico de um gabinete ganha especial relevo visto tratar-se de um espaço onde as pessoas que aí trabalham passam grande parte do seu tempo. O conforto no local de trabalho é muito importante, pois o bem-estar das pessoas propicia, entre outras coisas, um melhor desempenho.

Relacionado com o atual tema existem várias normas relativas à avaliação do conforto em edifícios, sendo dois exemplos dessas normas a ISO 7730 (2005) e a ASHRAE Standard 55 (2004). A primeira é aplicada a ambientes térmicos moderados e tem como objetivo a determinação dos índices PMV e PPD. A última especifica as combinações e as condições de fatores ambientais térmicos admissíveis para um determinado número de pessoas.

Em Portugal existem várias regiões com diferentes condições climatéricas e até com microclimas nalgumas delas. As regiões situadas a norte são tendencialmente mais chuvosas e mais frias do que no sul. Sendo o clima um fator deveras importante para o comportamento térmico de um edifício, essa particularidade foi devidamente ponderada em face das características climatéricas de Coimbra, dado ser aí que se situa o objeto de estudo.

Na medida em que o estudo do conforto térmico é um tema complexo, foram criados programas de simulação dinâmica de edifícios, tornando o estudo mais simples e possibilitaram a criação de várias simulações, que permitiram que se pudesse optar por aquela que apresentasse melhor comportamento térmico. Na realização deste trabalho foi usado o programa *Design Builder*.

Há medida que os anos passam a sociedade vai-se tornando mais desenvolvida, necessitando de mais energia e de uma maior conforto térmico. Com isto existe um conceito denominado eficiência energética que permite fazer uma utilização responsável nos serviços que são utilizados no dia-a-dia (ADENE, 2017).

No final da dissertação é espectável que se consiga perceber quais são os fatores que influenciam o conforto térmico, os índices de conforto térmico e a razão pela qual as temperaturas e humidade relativa variam ao longo do dia no interior do gabinete consoante a orientação dos envidraçados.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação consiste na utilização do programa *Design Builder* de modo a avaliar o comportamento térmico de um gabinete situado na zona de Coimbra. Também será interessante conhecer os índices e os fatores que influenciam o conforto térmico, de modo a perceber como se podem melhorar.

Com o fim de realizar um melhor estudo e cumprir o objetivo traçado, delinearam-se algumas tarefas, tais como:

- Estudar e compreender o programa *Design Builder*;
- Modelação do espaço;
- Conhecer e introduzir os dados de entrada do modelo;
- Analisar os resultados em relação ao conforto térmico;
- Efetuar várias simulações com o intuito de perceber o que pode vir a ser melhorado.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos organizados da seguinte forma:

- Capítulo 1 - breve introdução ao tema escolhido, seus objetivos e estrutura.
- Capítulo 2 – definição de conforto térmico e a sua relevância no interior dos edifícios. Descrição dos índices de conforto térmico, dos fatores que o influenciam, bem como

das normas e regulamentos. Descrevem-se também as ferramentas capazes de calcular o conforto térmico.

- Capítulo 3 - descrição da metodologia para a avaliação do conforto térmico. Neste capítulo são ainda referidos os principais objetivos e a metodologia utilizada, ou seja, o *Design Builder*. É feita a exposição do caso de estudo e referida a zona climática em que o espaço se situa, descrição dos gabinetes, constituição da envolvente e os dados de entrada que vão servir para o cálculo do conforto térmico.
- Capítulo 4 – apresentação da análise de resultados referentes ao estudo realizado acerca do conforto térmico.
- Capítulo 5 - sintetização das principais conclusões retiradas.



## 2 CONFORTO TÉRMICO

### 2.1 Definição de Conforto Térmico

O conforto térmico varia consoante o ser humano e mostra a maneira como o corpo e o ambiente estão interligados. O corpo tem a função de se proteger ativando um mecanismo termorregulador que permite combater as condições de desconforto e manter o equilíbrio de temperatura no seu interior (Lamberts, 2008).

São várias as definições de conforto térmico, e como tal, pode ser descrito de várias formas. De acordo com a norma EN ISO 7730 (2005), é a condição da mente na qual é expressa satisfação com o ambiente térmico. Posto isto, consegue-se perceber que sendo um conceito vasto e que varia de pessoa para pessoa, também é um fator importante para a saúde e bem-estar do ser humano.

Todas as pessoas são diferentes e cada uma tem a sua perceção térmica. Esta varia de acordo com o seu metabolismo, vestuário, tipo de atividade, bem como o espaço em que se encontra. Por outro lado, se a perceção de cada individuo está relacionada com parâmetros individuais referidos anteriormente, também parâmetros ambientais tais como a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a velocidade e humidade do ar, exercem a sua influência.

Por outro lado, também existe a neutralidade térmica que segundo o dinamarquês Ole Fanger (1982) “É a condição na qual a pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente a seu redor”. Também segundo Shin-Iche Tanabe (1984) o conforto se pode definir como “...a condição da mente que expressa satisfação com a temperatura do corpo com um todo”.

O ser humano preocupa-se com o seu bem-estar, e o conforto térmico faz também parte dessa preocupação, tentando constantemente assegurar uma temperatura equilibrada. O corpo do ser humano não deve estar a uma temperatura inferior a 34°C nem superior a 37°C. Para isso acontecer, o seu organismo tem de estar em equilíbrio com o ambiente que o rodeia (Oliveira 2008).

O corpo humano possui um mecanismo de defesa que tem como função a libertação de calor para o ambiente. Essas perdas são dissipadas através da pele e da respiração. No calor dissipado através da pele ocorre uma perda sensível por convecção e radiação, e ainda a perda

latente de calor por evaporação do suor e por dissipação da humidade da pele. Através da respiração também há uma perda sensível de calor por convecção e perda latente de calor por evaporação.

## 2.2 Fatores que Influenciam o Conforto Térmico

Para que o corpo humano se sinta confortável é necessário que sejam observados determinado número de fatores que influenciam essa sensação.

A seguir descrevem-se esses fatores que se agrupam em variáveis individuais e variáveis ambientais.

### Variáveis Individuais

- Atividade
- Vestuário

### Variáveis Ambientais

- Temperatura do ar
- Humidade relativa do ar
- Temperatura média radiante
- Velocidade do ar

Todos os parâmetros das variáveis acima referidas têm influência na perda e ganho de energia térmica (calor), embora de formas diferentes. Os parâmetros que se podem considerar ter maior importância são a temperatura do ar e a temperatura média radiante, sendo sempre necessária a medição dos dois. E ainda há uma outra temperatura denominada de temperatura operativa, que é uma média dessas duas temperaturas referidas anteriormente.

O conforto térmico está relacionado com a temperatura do ar. Se a temperatura do ar for demasiado baixa, as perdas térmicas serão maiores e consequentemente sentir-se-á frio. Se a temperatura do ar for demasiado elevada, os ganhos serão superiores e em consequência sentir-se-á calor.

Na Figura 2.1 pode ver-se um sensor de temperatura, usado para medir a temperatura do ar e da humidade relativa.



Figura 2.1 – Sensor de temperatura do ar e humidade relativa

A humidade relativa do ar pode ser definida como a relação entre a quantidade de vapor de água do ar e a pressão máxima de vapor de água a uma determinada temperatura. Na Figura 2.2 está representado o psicrómetro giratório, um dos instrumentos que mede a humidade relativa.



Figura 2.2 – Psicrómetro giratório

As superfícies interiores de um espaço como por exemplo, janelas e paredes, transmitirão uma radiação para o seu interior. A média dessas radiações é denominada de temperatura média radiante.

A Figura 2.3 mostra um equipamento utilizado para medir a temperatura média radiante.



Figura 2.3 – Termómetro de globo

O parâmetro da velocidade do ar é definido pela sua velocidade e direção. Quanto maior for essa velocidade, maior será a perda de calor. Este parâmetro pode ser medido usando um anemómetro de paletas ou um termo anemómetro como se mostra na Figura 2.4.



Figura 2.4 – Anemómetro de paletas

### 2.3 Balanço Térmico do Corpo Humano

Num dado espaço, se houver dois ambientes com temperaturas diferentes, ou seja, um com temperaturas mais elevadas do que o outro, ocorre a passagem de calor de um ambiente para o outro, desaparecendo as diferenças de temperaturas. Essa passagem de calor é denominada transmissão de calor (Costa, 1974).

As formas de transmissão de calor podem descrever-se do seguinte modo:

- Convecção: Propagação do calor através da diferença de densidade de um fluido líquido ou gasoso quando a sua temperatura é modificada;

- **Condução:** Propagação do calor por meio do contacto de moléculas de duas ou mais substâncias com temperaturas diferentes que geralmente ocorre em materiais sólidos;
- **Radiação:** Emissão de energia por uma fonte na forma de ondas eletromagnéticas. Pode ser refletida, transmitida ou absorvida quando incide noutro corpo;
- **Evaporação:** Troca de calor com o meio ambiente através da vaporização que permite o arrefecimento da superfície da pele. A sensação de conforto térmico depende das trocas de calor do corpo para o meio ambiente e tem como objetivo manter a temperatura interna do corpo a 37°C.

O corpo humano difere de pessoa para pessoa, mas todas têm em comum as trocas de calor com o ambiente que se traduzem em ganhos e perdas de energia (Matias, 2010).

Sendo a atividade metabólica,  $M$ , dependente da atividade efetuada, a energia que é produzida no interior do corpo será repartida pelo calor libertado e pelo trabalho despendido. A Figura 2.5 mostra a forma como o calor é libertado para o meio ambiente através de varias formas, tais como a respiração cutânea, transpiração, respiração latente, respiração sensível, radiação e convecção (Oliveira, 2008).

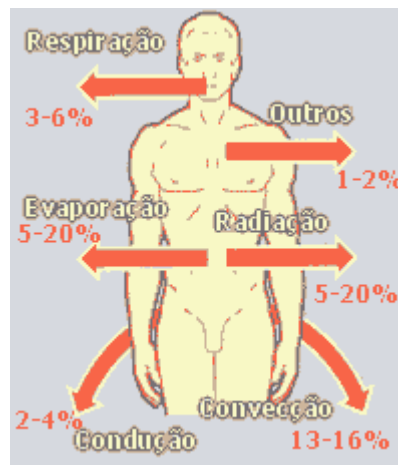


Figura 2.5 - Formas de perda de calor do ser humano (Oliveira, 2008)

Sendo o corpo humano uma fonte de constante transferência de calor com o meio ambiente, o equilíbrio térmico torna-se fundamental, sendo obtido quando a produção interna de calor é igual à dissipação de calor transferida para o meio ambiente, quer por respiração, quer pela superfície da pele.

A equação que dá o balanço térmico entre o corpo e o meio envolvente é representada na seguinte equação (2.1) (Quintela, 2016):

$$Q_s = H - Q_{sk} - Q_{res} \quad [W/m^2] \quad (2.1)$$

em que:

$H$  – Produção interna de calor [ $W/m^2$ ]

$Q_{res}$  – Taxa total de perda de calor por respiração [ $W/m^2$ ]

$Q_s$  – Calor transferido por radiação e convecção entre o vestuário e o exterior [ $W/m^2$ ]

$Q_{sk}$  – Taxa total de perda de calor por evaporação [ $W/m^2$ ]

Considerando as formas de perdas de calor por evaporação da transpiração e da respiração, obtêm-se as seguintes equações:

$$Q_{sk} = E_{sw} + E_d \quad [W/m^2] \quad (2.2)$$

$$Q_{res} = C_{res} + E_{res} \quad [W/m^2] \quad (2.3)$$

sendo:

$$E_{sw} = 0,42 \times (M - W - 58,15) \quad [W/m^2] \quad (2.4)$$

$$E_d = 3,05 \times 10^{-3} \times (256 \times t_{sk} - 3373 - p_a) \quad [W/m^2] \quad (2.5)$$

$$C_{res} = 0,0014 \times M \times (34 - t_a) \quad [W/m^2] \quad (2.6)$$

$$E_{res} = 1,72 \times 10^{-5} \times M \times (5867 - p_a) \quad [W/m^2] \quad (2.7)$$

Os termos das equações acima referidas são os seguintes:

$C_{res}$  – Taxa de perda de calor convectivo na respiração [ $W/m^2$ ]

$E_d$  – Taxa de calor perdido por difusão do vapor através da pele [ $W/m^2$ ]

$E_{res}$  – Taxa de perda de calor evaporativo na respiração [ $W/m^2$ ]



$E_{sw}$  – Taxa de calor perdido por evaporação da transpiração [ $W/m^2$ ]

$M$  – Taxa de metabolismo [ $W/m^2$ ]

$P_a$  – Pressão de vapor [Pa]

$t_a$  – Temperatura do ar [ $^{\circ}C$ ]

$t_{sk}$  – Temperatura superficial da pele [ $^{\circ}C$ ]

$W$  – Taxa de trabalho mecânico realizado [ $W/m^2$ ]

Como referido anteriormente, o corpo humano produz energia, e segundo Fanger (1970), a maior parte dessa energia é dissipada sob a forma de calor,  $H$ , sendo uma pequena parte convertida em trabalho mecânico exterior,  $W$ . A soma desses dois parâmetros dá origem à taxa de metabolismo,  $M$ , que pode ser obtida através da equação:

$$M = H + W \quad [W/m^2] \quad (2.8)$$

Numa atividade moderada, o trabalho mecânico exterior é aproximadamente nulo, fazendo com que na maior parte das situações a produção interna de calor seja igual ao metabolismo.

A equação a seguir exemplificada tem como objetivo calcular a área superficial do corpo humano, sendo necessário conhecer o seu peso e altura. Para as mulheres a área considerada normal é aproximadamente  $1,6m^2$  e para os homens  $1,8m^2$ . A equação apresenta-se da seguinte forma:

$$A_{DuBois} = m^{0,425} \times l^{0,725} \times 0,203 \quad (2.9)$$

em que:

$A_{DuBois}$  – Área superficial do corpo [ $m^2$ ]

$m$  – Massa do corpo [Kg]

$l$  – Altura do corpo [m]

O Quadro 2.1 mostra alguns valores da taxa de metabolismo para as diversas atividades que uma pessoa pode praticar.

Quadro 2.1 - Exemplos de atividades e respetivas taxas de metabolismo (EN ISO 7730, 2005)

Atividade	Taxa de metabolismo	
	W/m <sup>2</sup>	met
Repouso, deitado	46	0,8
Repouso, sentado	58	1,0
Atividade ligeira, sentado (escritório, escola, laboratório)	70	1,2
Atividade ligeira, em pé (compras, indústria ligeira)	93	1,6
Atividade média (vendedor, trabalho doméstico, trabalho com maquinaria)	116	2,0
Andar à velocidade de 2 km/h	110	1,9
Andar à velocidade de 3 km/h	140	2,4

$$1 \text{ met} = 58,15 \text{ W/m}^2$$

Os restantes termos da equação do balanço energético (equação (2.1)), apresentam-se de seguida:

$$C = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.10)$$

$$R = f_{ef} f_{cl} \varepsilon \sigma [(t_{cl} + 273,15)^4 - (\bar{t}_r + 273,15)^4] \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.11)$$

$$(C + R) = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) + f_{ef} f_{cl} \varepsilon \sigma [(t_{cl} + 273,15)^4 - (\bar{t}_r + 273,15)^4] \quad (2.12)$$

Os parâmetros a serem usados nas equações 2.10 a 2.12 são os seguintes:

$$F_{cl} - \text{Fator de área do vestuário} \begin{cases} 1,00 + 1,290I_{cl}, & I_{cl} < 0,078 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]} \\ 1,05 + 0,645I_{cl}, & I_{cl} > 0,078 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]} \end{cases}$$

$$h_c - \text{Condutância térmica superficial por convecção} - \text{maior valor de} \begin{cases} 12,1\sqrt{v_a} \\ 2,38[\theta_{cl} - \theta_a]^{0,25} \end{cases}$$

$$I_{cl} - \text{Resistência térmica do vestuário [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

$C + R$  – Perda de calor sensível da pele [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$t_{cl}$  – temperatura superficial da roupa [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\bar{t}_r$  – Temperatura radiante média [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_o$  – Temperatura operativa [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$f_{ef}$  – Área radiante efetiva [ $\text{m}^2$ ]

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$  – Constante de Stefan-Boltzmann

$\varepsilon$  - Emissividade

Todo o ser humano gosta de se sentir confortável e para isso, dependendo do ambiente térmico em que se encontra, deve vestir uma roupa adequada.

Assim, o vestuário que cada pessoa utiliza é considerado um fator muito importante para que sinta esse conforto. A unidade que define o calor conferido pelo vestuário é o clo. Considera-se 1 clo igual a  $0,155 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$  (Silva, 2006).

No Quadro 2.2 são apresentados alguns valores de isolamento para combinações de vestuário.

Quadro 2.2 - Isolamento para algumas combinações de vestuário (McCullough and Jones, 1984)

Vestuário	clo
Calções, camisola de manga curta	0,35
Calças, camisola de manga curta	0,44
Casaco, calças, camisola de manga curta	0,88
Calças, camisola de manga comprida	0,49
Saia até ao joelho, camisa de manga curta	0,50
Saia até ao joelho, camisa de manga comprida	0,58
Casaco, saia até ao joelho, camisa de manga comprida	1,02
Vestido de manga curta, meias até ao joelho, sandálias	0,48

## 2.4 Categorias de Conforto

A norma EN 15251 apresenta uma explicação genérica sobre o significado e uma sugestão de aplicação de cada categoria. O Quadro 2.3 apresenta a descrição da aplicabilidade das quatro categorias definidas pela norma.

Quadro 2.3 – Explicação das categorias definidas pela norma (EN 15251, 2007)

<b>Categoria</b>	<b>Explicação</b>
<b>I</b>	Alto nível de expectativa e é recomendada para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis com necessidades especiais como deficientes, doentes, crianças muito pequenas e idosos
<b>II</b>	Nível normal de expectativa e deve ser utilizado para novas construções e renovações
<b>III</b>	Um nível aceitável e moderado de expectativa e pode ser usado para edifícios existentes
<b>IV</b>	Valores fora dos critérios para as categorias anteriores. Esta categoria só deve ser aceite para uma parte limitada do ano

Enquanto a norma EN 16309 avalia as características térmicas de um tipo de um edifício usando os índices de conforto térmico PPD e PMV, a norma EN 15251 usa uma abordagem adaptativa com níveis de atividade típicos e isolamento térmico das roupas. Esta abordagem adaptativa deve ser usada para edifícios sem sistemas de arrefecimento durante o verão (Santos et al, 2016).

De acordo com a norma EN 15251 o nível de exigência dos ocupantes e o tipo de construção estão relacionados com cada categoria de conforto. A norma faz ainda referência a quatro categorias ambientais interiores, sendo a categoria I correspondente ao melhor desempenho de conforto térmico e a categoria IV ao pior desempenho.

O Quadro 2.4 apresenta os critérios para as categorias ambientais interiores baseados nos índices de conforto térmico PPD e PMV.

Quadro 2.4 – Valores de PPD e PMV para edifícios (EN 15251, 2007)

Categoria	Índices de conforto térmico	
	PPD (%)	PMV
I	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < +0,7
IV	> 15	PMV < -0,7 ou PMV > +0,7

Na Figura 2.6 é possível observar os valores da temperatura média operativa ( $\theta_o$ ) de conforto interior para edifícios sem sistemas de arrefecimento em função da temperatura média exterior ( $\theta_{rm}$ ).

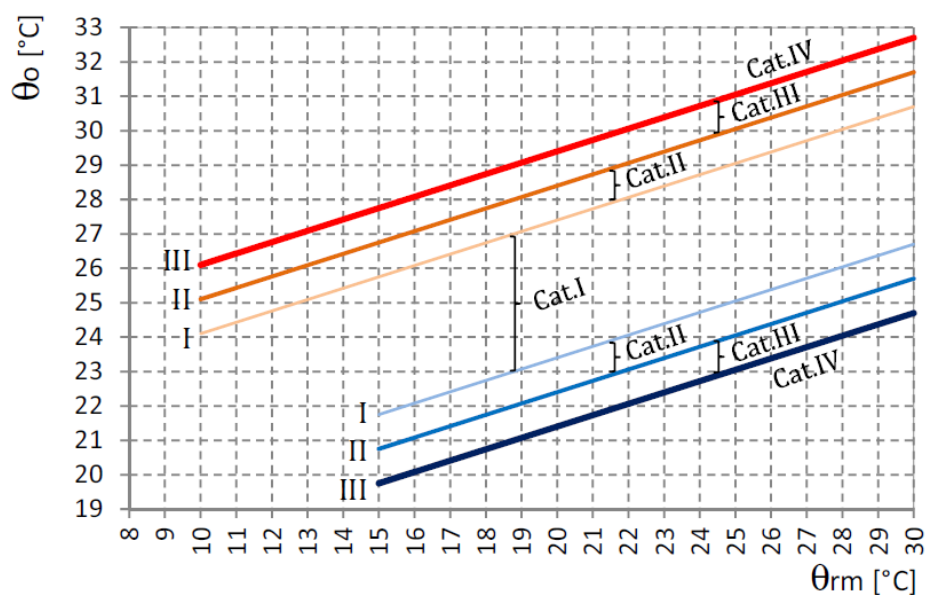


Figura 2.6 – Valores da temperatura média operativa em função da temperatura média exterior (EN 15251, 2007)

## 2.5 Índices de Conforto Térmico

A sensação térmica é importante para o ser humano pois através dessa sensação, pode usufruir do conforto ou sentir o desconforto do ambiente que o rodeia. Com o objetivo de avaliar a percepção térmica de cada corpo humano, existem índices de conforto térmico como o PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied – percentagem previsível de insatisfeitos) e o PMV (Predicted Mean Vote – voto previsto médio).

Nem sempre as pessoas se sentem confortáveis termicamente. Por vezes têm uma sensação de frio (quando as perdas são maiores que os ganhos térmicos), outras vezes uma sensação de calor (quando os ganhos são maiores que as perdas). O ideal seria não sentir frio nem calor, tendo uma sensação de conforto térmico.

Face a essas variantes, houve a necessidade de se criar o índice PMV que prevê os votos de um grande grupo de pessoas em relação a um determinado ambiente térmico.

A percepção térmica difere de pessoa para pessoa, sendo por isso importante a existência de uma escala de conforto térmico que mostre como ela varia, dependendo do espaço em que se encontra, do tipo de roupa que usa e da atividade que esteja a realizar.

No Quadro 2.5 são mostrados os valores da escala que o ambiente térmico pode ter em relação á opinião das pessoas, que vai de muito quente a muito frio.

Quadro 2.5 – Escala de sensibilidade térmica (EN ISO 7730, 2005)

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

Quando uma pessoa se sente confortável ou em equilíbrio térmico, o PMV é neutro, ou seja, é igual a zero.

A equação que descreve este índice de conforto térmico é a seguinte:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) S \quad (2.13)$$



Como cada pessoa tem a sua percepção térmica, é impossível criar-se um ambiente térmico que agrade de igual forma a todos, existindo assim uma percentagem de pessoas naturalmente insatisfeitas. O índice que apresenta uma previsão quantitativa da percentagem de pessoas insatisfeitas a nível térmico é o PPD.

Este índice de conforto térmico é determinado a partir do PMV e tem como equação:

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0,036PMV^4 + 0,2179PMV^2)} \quad (2.14)$$

Na Figura 2.7 é possível observar como variam os valores do índice PPD em função do índice PMV.

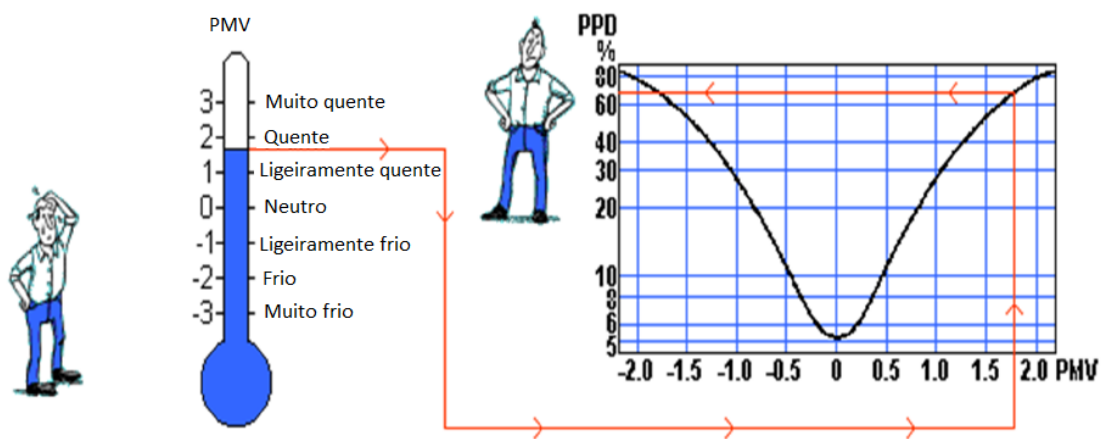


Figura 2.7 – Relação entre PPD e PMV (Houghten FC, 2002)

Com base no gráfico anterior constata-se que quando o índice PMV se torna igual a zero, ou seja, é neutro, o valor do índice PPD corresponde a 5% de pessoas insatisfeitas.

## 2.6 Desconforto Térmico Local

O desconforto térmico local ocorre quando existem fatores capazes de alterar a normalidade do ambiente. Esses fatores podem ser correntes de ar, assimetria radiativa, diferença vertical de temperatura e temperatura do piso.

### 2.6.1 Assimetria Radiante

Num dado ambiente existem tanto superfícies quentes como frias, e a radiação térmica a que o corpo está sujeito nesse mesmo ambiente pode não incidir sobre ele diretamente devido ao efeito que essas superfícies originam e ainda pelo efeito da luz solar. Assim, esta assimetria reduz a temperatura do ambiente que se poderia considerar aceitável, causando algum desconforto local (Lamberts, 2008).

Por vezes essas assimetrias radiantes podem ser elevadas, e nesse caso o conforto térmico das pessoas vai diminuir bastante o que pode levar a uma maior insatisfação e a uma maior necessidade de combater esse desconforto térmico.

Embora em muitos casos as habitações sejam bem isoladas, há sempre zonas por onde a radiação térmica se dissipa mais. Essas zonas são as janelas, superfícies não isoladas, máquinas, etc.

A Figura 2.8 a seguir considerada mostra a previsão da percentagem de pessoas insatisfeitas com habitações, em função da assimetria radiante de temperatura em diferentes situações tendo como referência a norma EN ISO 7730 (2005).

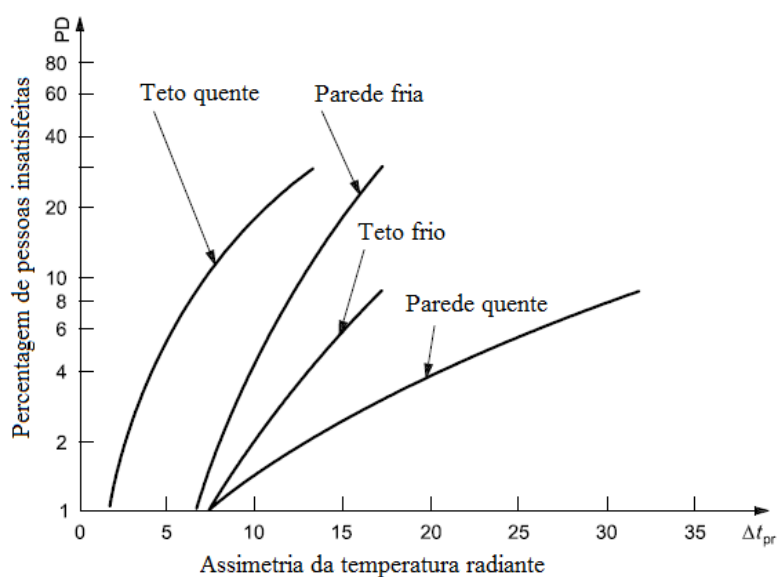


Figura 2.8 – Desconforto térmico local causado pela assimetria radiante (EN ISO 7730, 2005)

### 2.6.2 Diferença Vertical de Temperatura do Ar

O ser humano gosta de se sentir bem a nível térmico e para isso o seu corpo deve estar todo à mesma temperatura. Esta diferença vertical de temperatura do ar faz com que a temperatura do ar ao nível da cabeça, sendo mais quente, seja diferente da temperatura ao nível do

tornozelo. O facto de essa diferença de temperatura se acentuar, faz com que a pessoa note algum desconforto térmico (Lamberts, 2008).

Na Figura 2.9 é mostrada a percentagem prevista de ocupantes insatisfeitos, causada pela diferença de temperatura do ar entre o nível da cabeça e o nível do tornozelo.

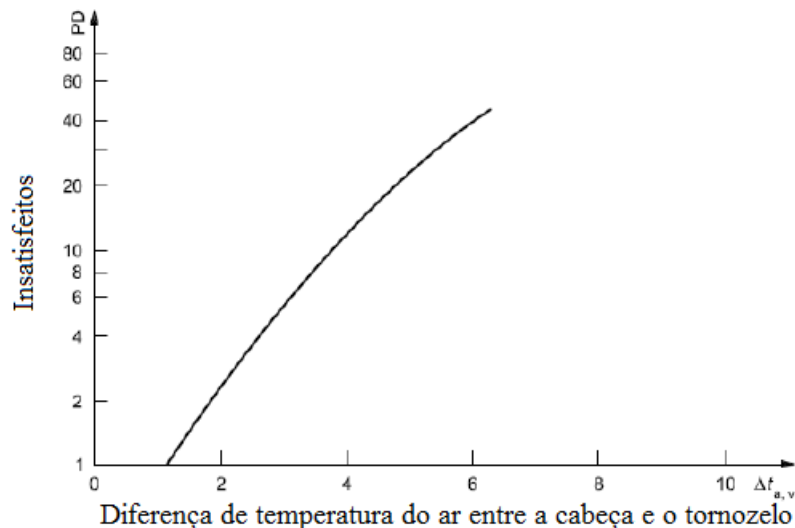


Figura 2.9 – Desconforto térmico local causado pela diferença vertical de temperatura do ar (EN ISO 7730, 2005)

Para que o ser humano tenha um conforto térmico aceitável, de acordo com a norma ASHRAE (2004) existe um valor máximo para a diferença vertical de temperatura do ar. Esta diferença verifica-se na sua maior parte entre a cabeça e os tornozelos, por isso mesmo não deve ser ultrapassado o valor de 3 °C.

### 2.6.3 Temperatura do Pavimento

A temperatura do pavimento é um fator importante para o conforto dos habitantes. Sendo muito quente ou muito frio, pode causar algum desconforto para quem lá habita (Lamberts, 2008).

A Figura 2.10 mostra a percentagem de pessoas insatisfeitas relativamente à temperatura do piso. Os dados apresentados neste gráfico foram obtidos tanto para pessoas que usam sapatos no interior das casas, como para pessoas que não os usam. Dessa forma foi verificado que o revestimento do piso é um fator importante no conforto térmico quando as pessoas se encontram sem sapatos (EN ISO 7730, 2005).

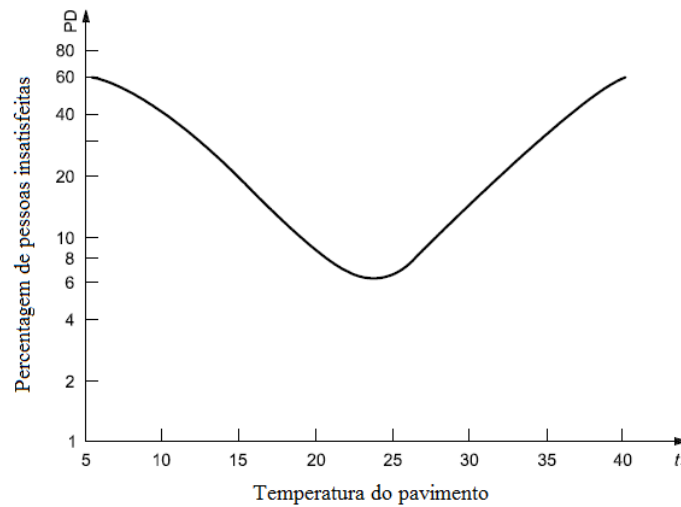


Figura 2.10 - Desconforto local causado por pisos quentes e frios (EN ISO 7730, 2005)

Para não haver temperaturas nem muito baixas nem muito altas, a norma ASHRAE (2004) sugere um intervalo de valores que são permitidos para a temperatura do pavimento. O intervalo varia de 19 a 29 °C para que quando uma pessoa andar na sua superfície não sinta qualquer desconforto térmico.

#### 2.6.4 Correntes de Ar

As correntes de ar são uma das causas de desconforto para o ser humano, e estas atuam principalmente nas partes em que não existe tanta proteção como a zona da cabeça e a zona do pescoço (Felix et al. 2012).

Uma das situações em que estas correntes de ar podem ser de maior incómodo é em locais fechados, como por exemplo escritórios. Quando isso acontece, a medida que as pessoas encontram para atenuar essa mudança de temperatura é fechar as janelas ou aumentar a temperatura do interior (Lamberts, 2008).

As correntes de ar são incomodativas, e a equação seguinte mostra a porcentagem de pessoas insatisfeitas devido a essas correntes (EN ISO 7730, 2005).

$$DR = (34 - t_a)(\bar{v}_a - 0,05)^{0,62}(0,37 \times \bar{v}_a \times Tu + 3,14) \quad (2.15)$$

onde:

DR – Corrente de ar

t<sub>a</sub> – Temperatura do ar local [°C]

$\bar{v}_a$  – Velocidade média local do ar [m/s]

Tu - Intensidade de turbulência local [%]

## **2.7 Normas Sobre Conforto Térmico**

O conforto térmico foi desde sempre um tema muito vasto devido às suas variáveis, aos parâmetros e aos fatores que o influenciam num determinado espaço. E por haver sempre alguma ambiguidade e subjetividade à volta deste tema, surgiu por parte de investigadores a criação de algumas normas por forma a clarificar o que é a sensação de conforto térmico.

### **2.7.1 ISO 7730:2005**

Esta norma é aplicada a ambientes térmicos moderados e tem como objetivo a determinação dos índices PMV e PPD e especificações das condições para conforto.

De modo a definir o índice de conforto térmico PMV acima descrito, é necessário o conhecimento ou medição dos parâmetros físicos do ambiente (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade do ar), bem como dos parâmetros pessoais (atividade e vestuário). Nesta norma também é possível ficar a conhecer o índice PPD que se refere à percentagem de pessoas insatisfeitas com o meio envolvente.

O desconforto térmico resulta de um aumento ou diminuição de temperatura em várias zonas do corpo. Os fatores que se relacionam com este desconforto são as correntes de ar, assimetria radiante, temperatura do piso e diferença vertical de temperatura. Numa outra versão desta norma o único fator que era abordado eram as correntes de ar, mas com esta versão atualizada consegue-se observar como funciona cada parâmetro.

Nesta nova versão também é apresentado um método para avaliação de conforto térmico para intervalos de tempo longos, devido ao ambiente térmico no interior de edifícios não ser sempre o mesmo e não se conseguir colocar essa temperatura dentro dos limites recomendados.

### **2.7.2 ISO 7726:1998**

O assunto abordado nesta norma passa pela análise de parâmetros físicos em ambientes térmicos moderados, como em ambientes extremos e análises de stress térmico, e tem como objetivo definir e apresentar métodos para medir esses mesmos parâmetros.

### **2.7.3 ISO 8996:2004**

A norma tem como objetivo a determinação da taxa de calor metabólico através de diferentes métodos no contexto da ergonomia do ambiente climático. A determinação desta taxa pode ser utilizada também para outras situações como por exemplo o custo energético de empregos, atividades desportivas e o custo total de uma atividade.

#### **2.7.4 ISO 10551:1995**

Esta norma tem por objeto a verificação da influência do ambiente térmico usando escalas de julgamento em relação à ergonomia de ambientes térmicos que possibilitem a comparação de dados sobre aspetos subjetivos do conforto térmico e fornece ainda dados e bases para a construção.

#### **2.7.5 ISO 9920:2007**

Esta norma descreve alguns métodos para estimar a resistência à perda de calor seco, isolamento térmico e perda de calor por evaporação num regime permanente para diferentes tipos de roupa.

#### **2.7.6 ANSI/ASHRAE 55:2004**

O propósito da norma passa por especificar as combinações e as condições de fatores ambientais térmicos admissíveis para um determinado número de pessoas que frequentem o mesmo espaço. Esta norma foi atualizada em 2013, contendo também um método para determinar quais as condições térmicas aceitáveis em espaços ventilados.

#### **2.7.7 EN 15251:2007**

O objetivo da norma é especificar os parâmetros ambientais interiores que têm impacto no desempenho dos edifícios a nível energético abordando a qualidade do ar, ambiente térmico, iluminação e acústica e a avaliação do mesmo.

### **2.8 Regulamentos**

O conforto térmico está relacionado com o desempenho energético dos edifícios na medida em que se torna importante o edifício ter determinadas características e determinados parâmetros que assegurem esse conforto.

A temperatura de conforto térmico nem sempre é constante e o intervalo de valores em que ela varia é de 18 °C a 25 °C.

Valores máximos de necessidades energéticas e valor mínimo de taxa de renovação de ar são outros exemplos de parâmetros importantes para se sentir conforto num edifício.

Os regulamentos nacionais que têm como objetivo promover e assegurar um melhor desempenho energético são o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de

Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

### **2.8.1 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)**

Este regulamento tem em vista definir quais os requisitos, os parâmetros e as metodologias para os vários edifícios de habitação, novos ou que necessitem de intervenções, a nível do seu desempenho energético para assim obter um melhor comportamento térmico e com isto conseguir minimizar o risco de condensações na envolvente e ter uma melhor eficiência dos seus sistemas técnicos.

### **2.8.2 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)**

O presente regulamento visa estabelecer regras a adotar no projeto, construção, alteração, operação e manutenção de comércio e serviços e nos seus sistemas técnicos. Com o intuito de promover uma melhor qualidade do ar interior, uma melhor eficiência energética, a prevenção de patologias e o conforto térmico são adotados requisitos para assim caracterizar o seu desempenho.

## **2.9 Outras Ferramentas**

### **2.9.1 Manequim Térmico**

Uma das formas para se avaliar o conforto térmico num lugar é o uso do manequins térmicos e manequins com sensores aquecidos.

A medição dos parâmetros para determinação do conforto térmico através de manequins tem as suas vantagens. São capazes de avaliar em simultâneo os efeitos da temperatura do ar, trocas de calor radiante com superfícies e corpos que os rodeiam, velocidades de ar e ganhos de calor solar (Silva, 2001).

Por outro lado, este método também tem as suas desvantagens. É que a temperatura de um ser humano é diferente da temperatura do manequim e a velocidade é baixa se a compararmos com um processo regulado por temperatura (Silva, 2001).

Como se pode verificar na Figura 2.11 o manequim térmico é composto por 16 sensores repartidos pelo corpo. Em outros casos o manequim é normalmente dividido em 16 ou 32 segmentos, em que cada segmento corresponde ao diferente tipo de roupa.

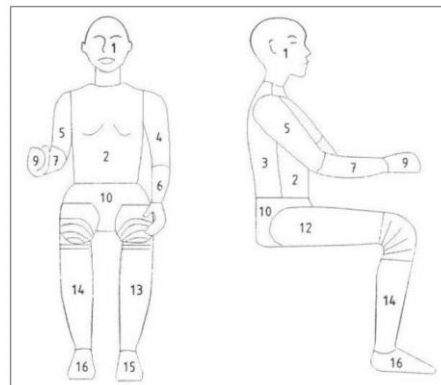


Figura 2.11 – Manequim térmico (Felix, Pereira, and Tribess, 2006)

### 2.9.2 Aplicações Computacionais para Avaliação do Conforto Térmico

Com base no método desenvolvido por Fanger, que determina os índices de conforto térmico PMV e PPD, o Professor Manuel Carlos Gameiro da Silva desenvolveu uma ferramenta que tem por base umas folhas de cálculo em Microsoft Excel para determinar esses mesmos índices.

O método tem por objetivo determinar o conforto térmico que uma determinada pessoa sente num dado ambiente com base no índice PMV. Este índice é calculado com base na equação de balanço térmico do corpo humano que relaciona a percepção térmica da pessoa com o calor que o seu corpo liberta para o ambiente (Silva, 2016).

Na Figura 2.12 é possível observar a estrutura da folha de cálculo dos índices de conforto térmico PMV e PPD.

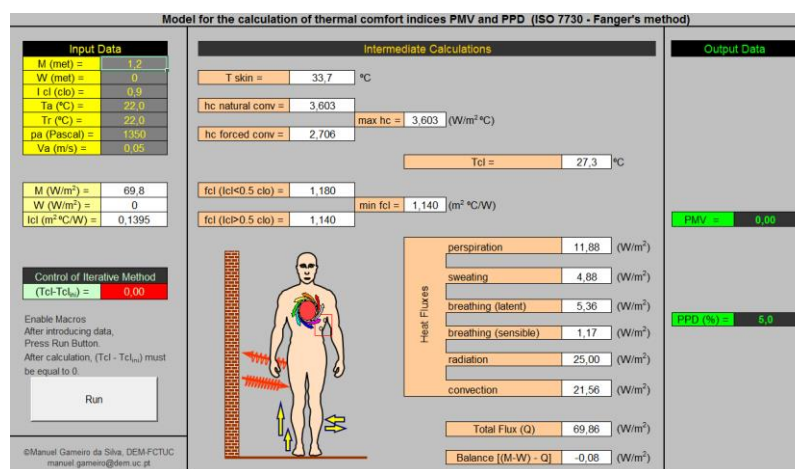


Figura 2.12 – Folha de cálculo dos índices PMV e PPD



### 2.9.3 Analysis 1.5

É um *software* que avalia as condições de conforto térmico segundo a norma ISO 7730 e avalia as condições do ambiente através de uma carta psicrométrica. A ferramenta foi desenvolvida no Brasil, na Universidade Federal de Santa Catarina.

A Figura 2.13 mostra os parâmetros a serem calculados na avaliação do conforto térmico e os parâmetros ambientais. À esquerda existem botões que mostram o cálculo desses parâmetros e o resultado da carta psicrométrica.

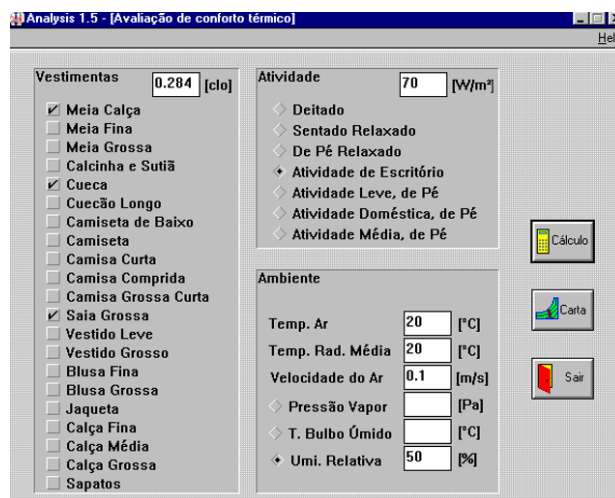


Figura 2.13 – Interface do programa (LabEEE, 1996)

## 3 CASO DE ESTUDO

### 3.1 Principais Objetivos

Para que o ser humano se sinta confortável e bem consigo mesmo é preciso criar condições para que tal aconteça. Como visto no capítulo anterior, para se obter essa sensação de conforto térmico é necessário que se verifiquem vários índices e parâmetros.

Este trabalho tem como principal objetivo a determinação do conforto térmico no interior de um gabinete e os procedimentos para o fazer são os seguintes:

- Escolha de vários gabinetes com o intuito de conseguir obter os mais diversos resultados e por fim poder concluir com mais exatidão a forma como varia o conforto no seu interior;
- Medição do respetivo espaço e criação da geometria do modelo no programa *Design Builder* que vai ser usado para o efeito;
- Medição e registo dos vários parâmetros ambientais tanto interiores como exteriores, e posterior análise do conforto e desconforto térmico;
- Avaliação dos parâmetros individuais através do número de pessoas que usualmente frequentam o espaço.

### 3.2 Metodologia

Com o objetivo de analisar as condições de conforto térmico no interior de gabinetes no departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, vão ser modelados esses respetivos espaços no programa *Design Builder*.

Foram feitas as medições de um gabinete e avaliadas as suas condições ambientais e também a avaliação dos vários parâmetros. Com o intuito de obter resultados mais coerentes, a escolha dos restantes gabinetes para estudo deveu-se à semelhança da sua geometria e uma área muito próxima do gabinete escolhido inicialmente.

As vantagens de o estudo ter sido efetuado em espaços idênticos foi a possibilidade de avaliar o mesmo lugar, mas com orientações solares diferentes e assim conseguir obter um maior

número de resultados para o estudo do conforto térmico, visto que a radiação solar é um fator importante para o espaço interior.

### **3.3 Design Builder**

O *software Design Builder* é uma ferramenta importante para a avaliação do comportamento térmico dos edifícios. Permite modelar o espaço a estudar e através da introdução das características que o compartimento tenha, como por exemplo as características das superfícies e dos equipamentos instalados, obter simulações fiáveis acerca do conforto térmico.

Com este *software* também é possível avaliar fachadas em termos visuais, avaliar a ventilação natural e modelar a iluminação natural. Possui ainda um módulo CFD que permite obter resultados mais detalhados acerca do conforto térmico no interior dos edifícios (Santos).

Esta ferramenta está associada a um programa de simulação chamado *EnergyPlus*. O programa contém modelos de cálculo que permitem simular diferentes cargas térmicas em edifícios.

Numa primeira abordagem é preciso inserir a localização do edifício no programa. Com a localização definida como Coimbra, que constava na base de dados, é aberta uma área de trabalho onde vai ser desenhado o modelo do espaço pretendido.

Após o desenho do modelo, existem vários separadores na parte superior da área de trabalho onde se podem definir os intervalos de temperatura que se pretende, as características construtivas do edifício, o valor dos ganhos energéticos e a introdução de equipamentos.

Com vista a obter resultados mais rigorosos, foram selecionados alguns fatores relevantes que poderiam influenciar o cálculo. Nessa medida, o estudo foi feito em várias horas do dia, durante a noite, com e sem pessoas no gabinete.

Para cumprir os objetivos propostos para o estudo do conforto térmico foram feitas várias simulações no programa. Posteriormente foram registados os valores do comportamento térmico relativos aos diferentes espaços.

### **3.4 Localização do Edifício e Condições Climáticas**

O edifício onde se situam os gabinetes em estudo é o departamento de Engenharia Civil e localiza-se na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. É composto

por cinco pisos, sendo que os gabinetes que vão servir para o estudo paramétrico se situam no quarto piso do laboratório de Estruturas.

A Figura 3.1 mostra uma fotografia aérea da localização do departamento de Engenharia Civil onde se encontra assinalado com uma seta a localização dos gabinetes em estudo.



Figura 3.1– Localização do departamento de Engenharia Civil (Google Earth)

A nível de comportamento térmico de um edifício, as condições climáticas a que este é sujeito são importantes. No Quadro 3.1 é possível observar parâmetros que caracterizam a cidade de Coimbra.

Quadro 3.1 – Dados climáticos para uma zona específica do REH (REH, 2013)

Cidade	Zona climática de Inverno	Número de graus dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Zona climática de Verão	Temperatura exterior média (°C)	Z <sub>REF</sub> (m)
Coimbra	I2	1304	6,3	V2	20,9	67

### 3.5 Descrição dos Gabinetes

De modo a obter resultados com maior exatidão relativamente ao conforto térmico, foram representados quatro gabinetes com as mesmas dimensões e características, com diferentes orientações solares, sendo elas, poente, nascente, norte e sul.

Nos subcapítulos seguintes serão representados os gabinetes (alçados e plantas), bem como as suas dimensões e características. À frente de cada número estão representadas as respetivas orientações, entre parêntesis, de modo a facilitar a vida ao leitor.

#### 3.5.1 Gabinete 1 (W)

O gabinete 1 correspondente ao gabinete SF.4.6 e situa-se no quarto piso no laboratório de Estruturas. Na Figura 3.2 encontra-se assinalado com um círculo a localização do respetivo gabinete que vai servir de referência.

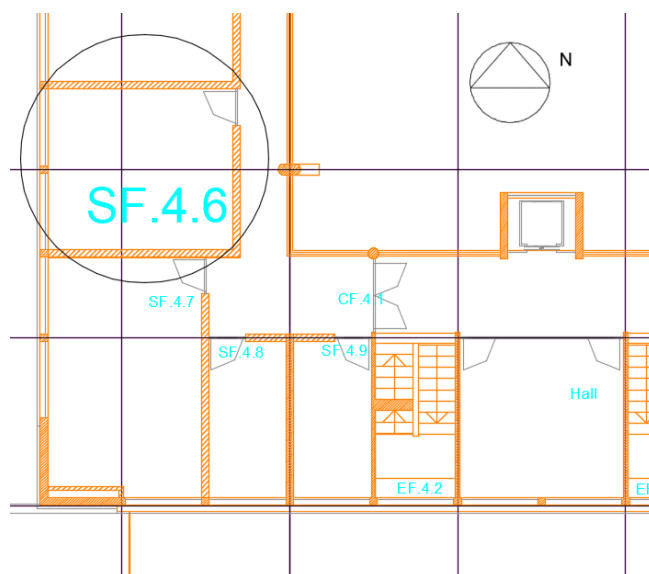


Figura 3.2 – Localização do gabinete SF.4.6

O gabinete situa-se entre outros dois compartimentos, respetivamente o gabinete SF.4.7 e o gabinete SF.4.5. As características do gabinete SF.4.6 são apresentadas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Características do Gabinete 1

	Gabinete 1
Localização	DEC <sup>1</sup>
Orientação da fachada	Poente
Comprimento	4,97m
Largura	4,27m
Volume útil	53,7m <sup>3</sup>
Pé direito	2,53m
Área envidraçada	4,54m <sup>2</sup>

Normalmente é ocupado por duas pessoas durante o dia, e durante a noite encontra-se desocupado. Em determinadas horas do dia é possível que haja mais que duas pessoas dentro do espaço referido.

O gabinete contém no seu interior mesas, cadeiras, armários, computadores e um ar condicionado. Na Figura 3.3 e Figura 3.4 está representado o alçado frontal e a planta do gabinete SF.4.6.

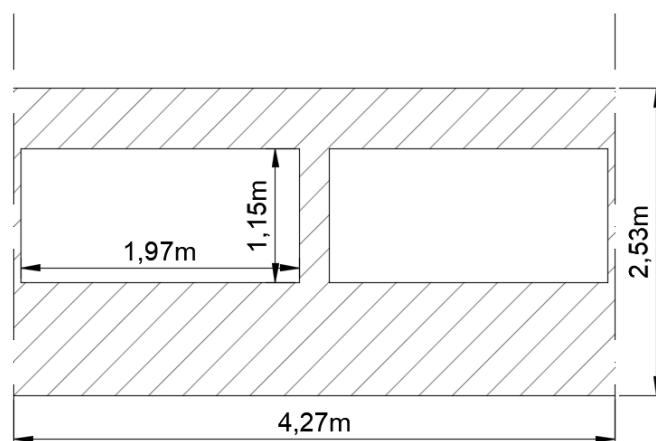


Figura 3.3 – Alçado frontal do gabinete SF.4.6

<sup>1</sup> DEC – Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra

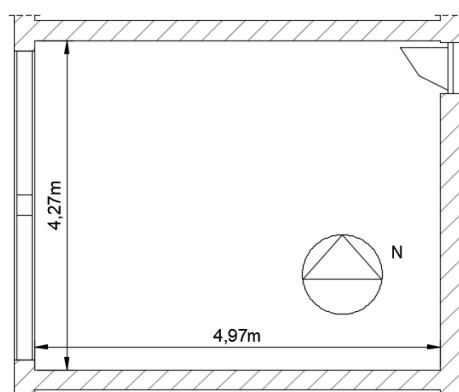


Figura 3.4 – Planta do gabinete SF.4.6

### 3.5.2 Gabinete 2 (E)

O segundo gabinete a ser estudado situa-se no lado oposto do primeiro, ou seja, orientado a nascente. Este compartimento foi escolhido por apresentar a mesma geometria e as mesmas características do primeiro, mas uma orientação dos vãos envidraçados distinta. A Figura 3.5 mostra a localização e a planta do gabinete SF.4.12.

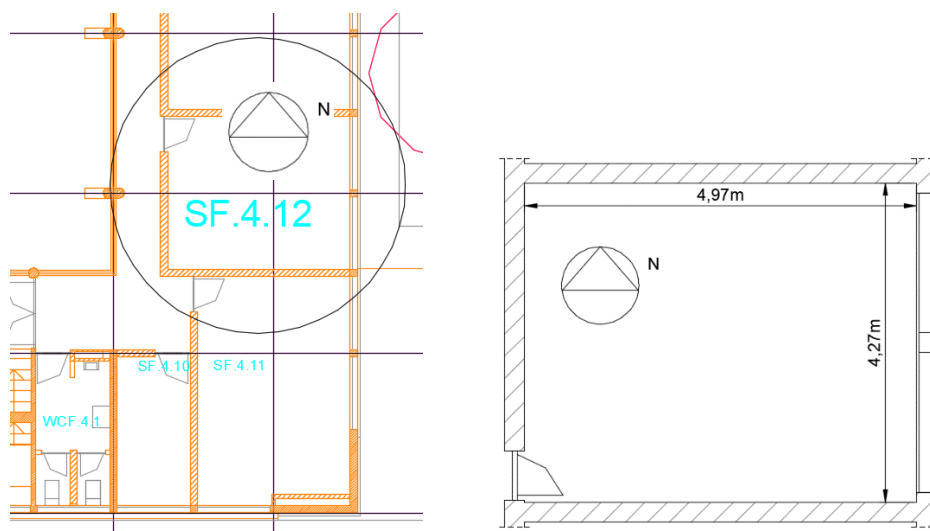


Figura 3.5 – Localização do gabinete SF.4.12 (à esquerda) e planta (à direita)

### 3.5.3 Gabinete 3 (S)

O terceiro gabinete a ser estudado é orientado a sul. Como no edifício em causa não há nenhum gabinete com esta orientação, não é possível mostrar a sua localização. Na Figura 3.6 é possível observar uma possível ilustração da planta do gabinete 3.

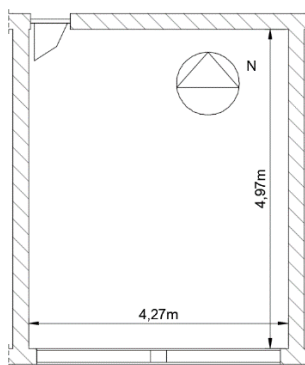


Figura 3.6 – Planta do gabinete 3

### 3.5.4 Gabinete 4 (N)

O gabinete 4 é orientado a norte e pelas mesmas razões do anterior, não é possível mostrar a sua localização. Na Figura 3.7 fica uma possível ilustração da planta do gabinete 4.

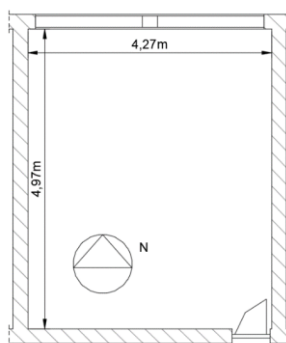


Figura 3.7 – Planta do gabinete 4

## 3.6 Constituição da Envolvente

Para o estudo do conforto térmico do gabinete é necessário o conhecimento dos elementos construtivos que o constituem. Com base no caderno de encargos do Departamento de Engenharia Civil, é possível caracterizar a envolvente.



O gabinete é delimitado por uma parede exterior, três paredes interiores, um pavimento e um teto interior. Como representado na Figura 3.2, a parede exterior é composta por duas áreas envidraçadas, duas paredes interiores fazem a divisória com outros gabinetes e a outra parede interior está voltada para o corredor onde existe uma porta.

Os elementos construtivos são constituídos da seguinte forma:

- A parede exterior tem uma espessura de 27cm, em que 4cm são de isolamento EPS pelo exterior, 1cm de reboco na face interior, 0,5cm de barramento final na parte exterior e os restantes 21,5cm de betão.
- As paredes interiores têm 22cm de espessura, em que 20cm é alvenaria simples de tijolo e 1cm de reboco em cada lado.
- A laje superior (teto) é uma laje maciça em betão armado pintada que tem 35cm de espessura e é constituída por 5cm de *parquet* de eucalipto, 10cm de betonilha de enchimento e regularização e envernizamento.
- A laje inferior (pavimento) é uma laje maciça em betão armado que tem 35cm de espessura e é constituída por 5 cm de *parquet* de eucalipto, 10 cm de betonilha de enchimento e regularização e envernizamento.
- As janelas são constituídas por um dispositivo de sombreamento de persianas de lâminas e vidro duplo.

A Figura 3.8 apresenta os cortes da parede exterior e interior do gabinete SF.4.6.

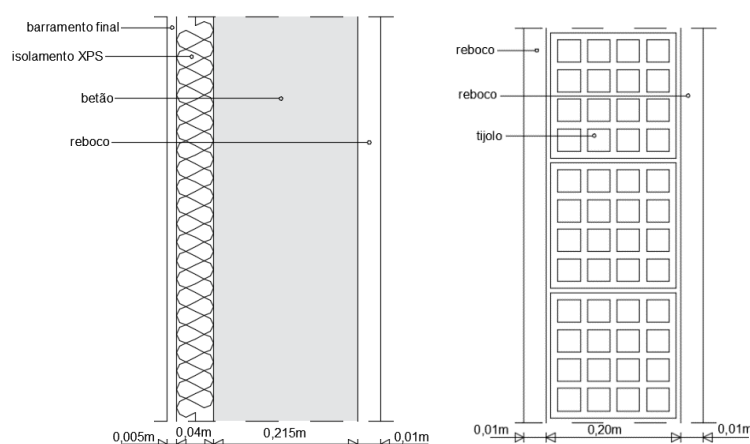


Figura 3.8 – Cortes da parede exterior (à esquerda) e interior (à direita) do gabinete SF.4.6

A Figura 3.9 mostra os cortes da laje superior (teto) e inferior (pavimento) do gabinete SF.4.6.

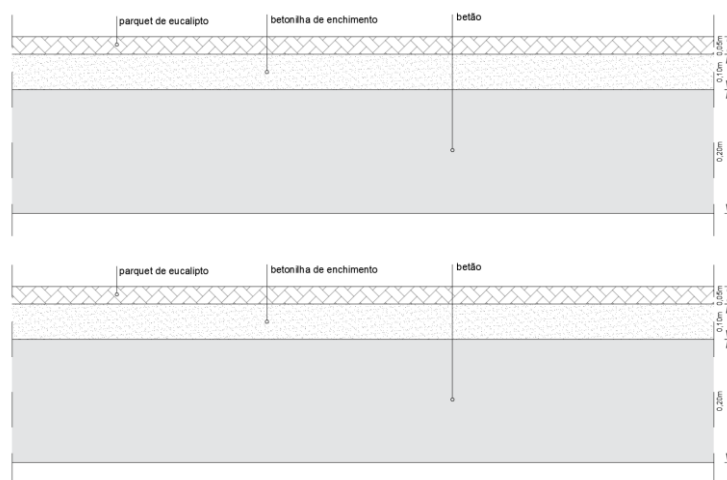


Figura 3.9 – Cortes das laje superior (em cima) e inferior (em baixo) do gabinete SF.4.6

Na Figura 3.10 é possível ver os cortes da parede exterior e interior do gabinete SF.4.6 retirados do programa *Design Builder*.

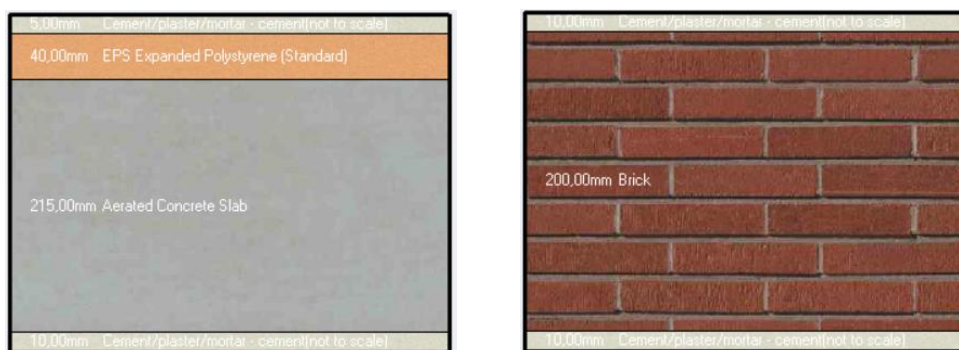


Figura 3.10 – Cortes da parede exterior (à esquerda) e interior (à direita) do gabinete SF.4.6.

Por último, na Figura 3.11 estão representados os cortes da laje superior (teto) e da laje inferior (pavimento) do gabinete SF.4.6 retirados do programa *Design Builder*.

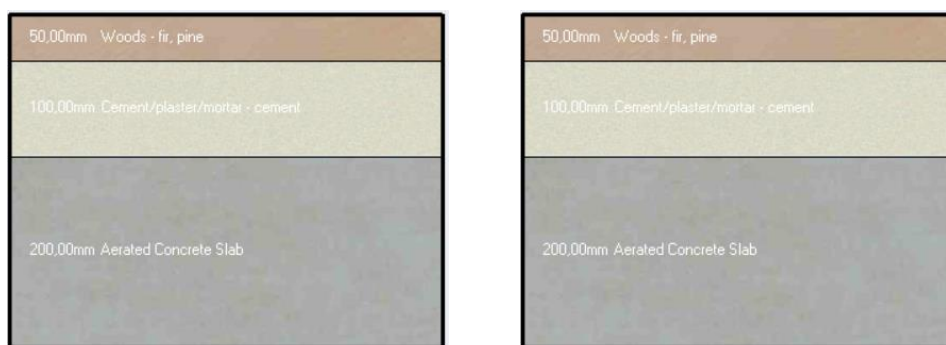


Figura 3.11 – Cortes da laje superior (à esquerda) e inferior (à direita) do gabinete SF.4.6

### 3.7 Dados de Entrada do Modelo

Após a caracterização da envolvente, é feita a introdução dos dados no programa *Design Builder*. O programa contém uma lista com vários materiais, onde é possível também criar ou alterar esses materiais.

Embora o programa tenha um template definido para a construção do modelo, é necessário a introdução de alguns dados que se relacionem com aquilo que pretendemos.

Nos seguintes subcapítulos são apresentados os valores introduzidos nos separadores da atividade, elementos construtivos, aberturas, iluminação e AVAC. Com o objetivo de estudar o conforto térmico, posteriormente proceder-se-á à simulação do modelo.

#### 3.7.1 Construção do Modelo

Primeiro foi feita a modelação tridimensional do espaço no programa, como é possível verificar na Figura 3.12.

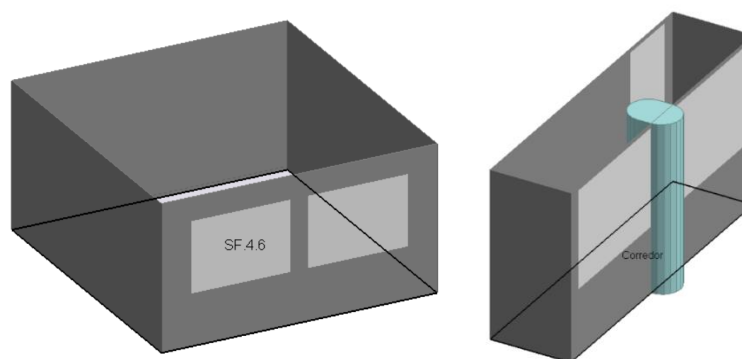


Figura 3.12 – Modelo tridimensional do gabinete SF.4.6 (à esquerda) e respetivo corredor (à direita).

Após a construção do modelo, é possível observar na Figura 3.13 as sombras projetadas para o dia 10 de Junho às 15h.

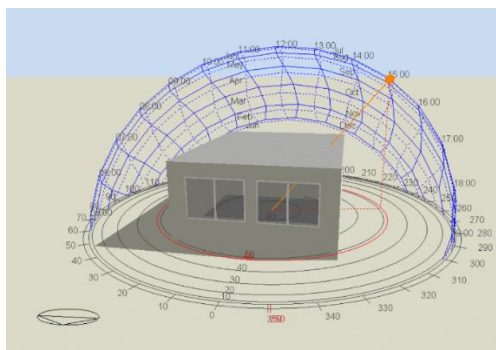


Figura 3.13 – Resultado da visualização das sombras para o dia 10 de Junho (*print screen* do programa *Design Builder*)

### 3.7.2 Atividade

No separador da atividade é possível escolher ou definir os requisitos pretendidos para cada zona do edifício. Os parâmetros considerados para o gabinete SF.4.6 foram a densidade de ocupação, o metabolismo, o isolamento do vestuário tanto para inverno como para verão, as temperaturas de aquecimento e arrefecimento, a ventilação e os ganhos internos associados a computadores do gabinete.

Os valores dos parâmetros de conforto térmico considerados para efeito de cálculo encontram-se descritos no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Parâmetros de conforto térmico

Densidade de ocupação	0,12 pessoas/m <sup>2</sup>
Metabolismo	0,90 met
Roupa de inverno	1 clo
Roupa de verão	0,50 clo
Computadores	5W/m <sup>2</sup>

A Figura 3.14 mostra os parâmetros do separador da atividade para o exemplo de uma zona destinada ao gabinete.

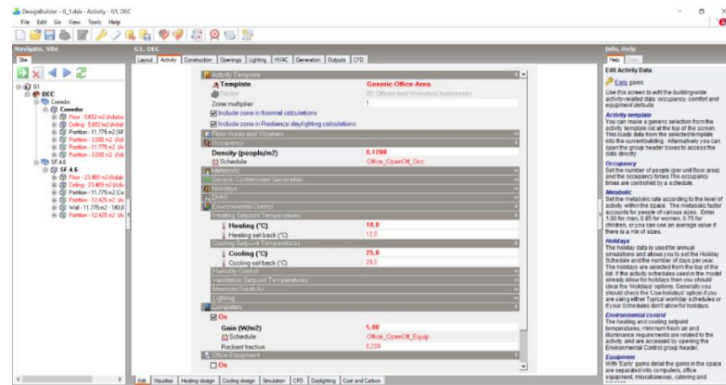


Figura 3.14 – Janela dos parâmetros de conforto térmico definidos no separador atividade para determinada zona (*print screen* do programa *Design Builder*)

### 3.7.3 Elementos construtivos

Relacionado com a construção, o programa permite definir a envolvente que cada edifício tem. Como descrito anteriormente no ponto 3.6, os elementos construtivos selecionados foram a parede exterior, três paredes interiores sendo que uma delas está entre o gabinete e o corredor, e ainda um pavimento e teto interior. É ainda possível definir a renovação de ar por hora, 1,2 rph, que este compartimento apresenta devido às características da sua envolvente.

As dimensões dos elementos construtivos encontram-se descritas no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Dimensões dos elementos construtivos

	Barramento final	Isolamento EPS	Betão	Reboco	Tijolo	Parquet de eucalipto	Betonilha de enchimento
Parede exterior	0,5cm	4cm	21,5cm	1cm			
Parede interior				2cm	20cm		
Laje superior			20cm			5cm	10cm
Laje inferior			20cm			5cm	10cm

Na Figura 3.15 está representado o separador dos parâmetros referentes à caracterização construtiva da envolvente opaca.

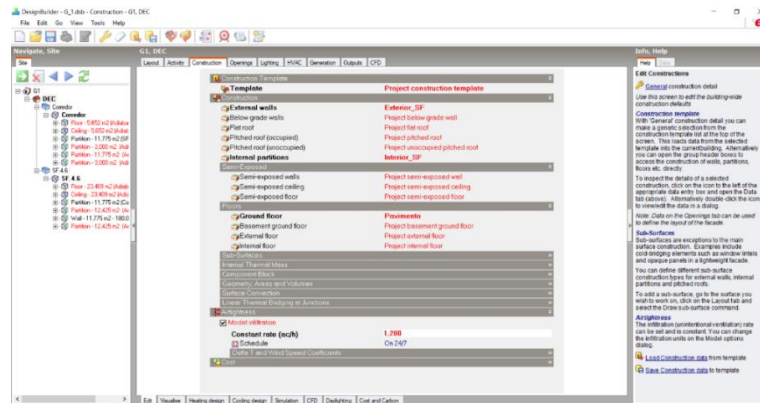


Figura 3.15 – Janela de caracterização dos elementos construtivos (*print screen* do programa *Design Builder*)

Na Figura 3.16 é possível observar a caracterização construtiva para o exemplo de uma parede exterior. Nesta figura é possível observar os materiais constituintes e a espessura.

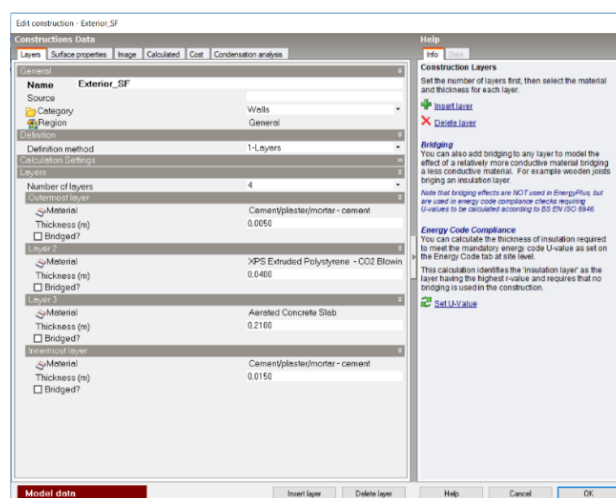


Figura 3.16 – Janela de seleção dos materiais constituintes para o exemplo de uma parede exterior (*print screen* do programa *Design Builder*)

### 3.7.4 Aberturas

Nesta fase é possível definir as dimensões das janelas, tanto externas como internas. A outra opção que também é importante definir é o sombreamento, que faz com que o sol não incida diretamente no espaço interior.

Os valores dos parâmetros considerados neste separador encontram-se descritos no Quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Valores das características térmicas e óticas

Altura das janelas	1,15m
Comprimento das janelas	1,97m
Dispositivo de sombreamento	Persianas de lâminas
Tipo de vidro	Vidro duplo

As dimensões usadas para o desenho das janelas foram descritas no ponto 3.6. Os valores das características térmicas e óticas estão representados na Figura 3.17.

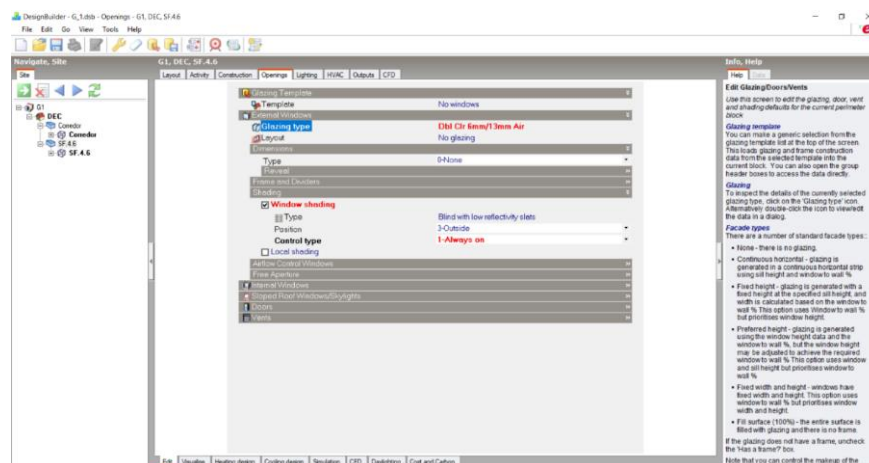


Figura 3.17 – Janela de seleção do tipo de vidro e sombreamento (*print screen* do programa *Design Builder*)

### 3.7.5 Iluminação

Como se pode verificar na Figura 3.18 é definido o tipo de iluminação que o espaço contém, bem como a sua potência.

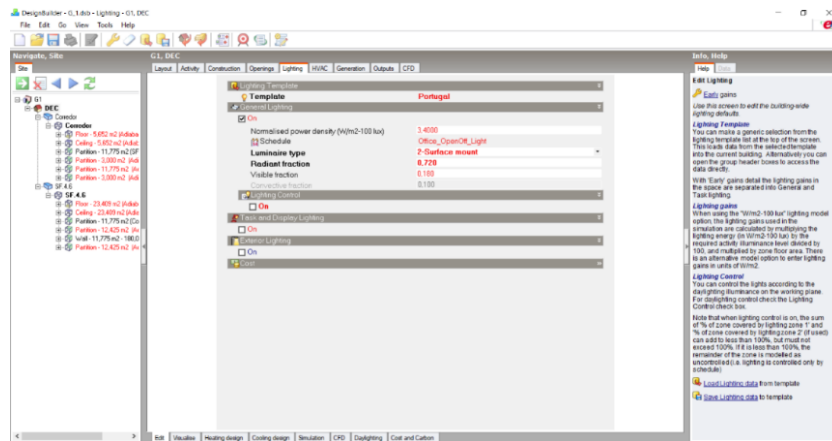


Figura 3.18 – Janela de seleção do tipo de iluminação (*print screen* do programa *Design Builder*)

Os valores dos parâmetros considerados neste separador encontram-se descritos no Quadro 3.6.

Quadro 3.6 – Valores para a iluminação

Tipo de iluminação	montagem em superfície
Fração radiante	0,72
Potência	3,40 W/m <sup>2</sup>

### 3.7.6 AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

A ventilação deste espaço é uma ventilação natural e é feita manualmente através da abertura de janelas e porta, visto não ter qualquer outro tipo de equipamento que permita a circulação do ar.

O valor escolhido para a ventilação natural foi 1,2 nr/h, visto que quanto maior é este valor maior é a ventilação. Como o estudo paramétrico vai ser passivo, o ar condicionado não vai funcionar. A Figura 3.19 apresenta o valor a ser introduzido no separador AVAC.



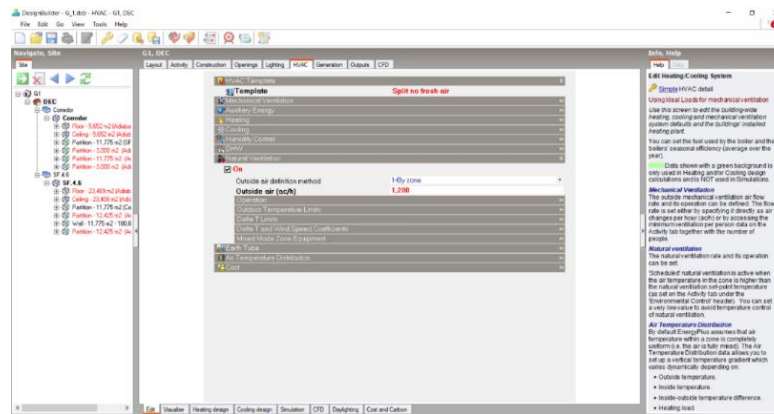


Figura 3.19 – Janela de seleção do sistema AVAC (*print screen* do programa *Design Builder*)

### 3.7.7 Simulação Dinâmica

Após a introdução de todos os valores nos diferentes separadores, é possível determinar o desempenho energético do gabinete através de simulações dinâmicas num determinado período de tempo e a forma como são apresentados os resultados (anualmente, por mês, diariamente, por hora).

A Figura 3.20 mostra a janela de edição de opções de cálculo.

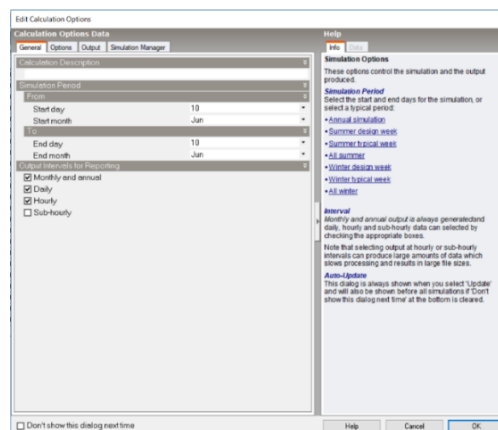


Figura 3.20 - Janela de simulação dinâmica (*print screen* do programa *Design Builder*)

No final de cada simulação o *Design Builder* permite que os resultados sejam visualizados em forma de gráficos, tabelas e grelhas.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O quarto capítulo da presente dissertação é dedicado à análise e discussão dos resultados obtidos após a simulação dos modelos dos quatro gabinetes apresentados no capítulo anterior. Por esse motivo, este capítulo encontra-se dividido em cinco subcapítulos, sendo que, os quatro primeiros correspondem às diferentes orientações dos gabinetes (W, E, S, N) e o último corresponde à análise dos cenários.

Numa primeira etapa serão apresentados os quadros síntese e os respetivos gráficos, procedendo-se de seguida a uma análise e comparação dos resultados dos gabinetes, sendo por fim realizados comentários sobre os gráficos dos índices de conforto térmico PPD e PMV. Assim, os cenários anteriormente referidos descrevem-se da seguinte forma:

- Cenário 1 – Caso de referência em que não existe dispositivo de sombreamento, nem ventilação nem ganhos internos no gabinete;
- Cenário 2 – É referente ao sombreamento do gabinete;
- Cenário 3 – É referente à ventilação natural (janelas abertas) do gabinete (1,2 rph);
- Cenário 4 – É referente aos ganhos internos (computadores) do gabinete (5,0 W/m<sup>2</sup>).

Após a realização de várias simulações dos gabinetes nas distintas orientações, foram obtidos os resultados em relação aos seguintes parâmetros:

- Temperatura do ar (°C)
- Temperatura radiante (°C) – Média da temperatura radiante do espaço
- Temperatura operativa (°C) – Média da temperatura do ar e da temperatura radiante
- Temperatura do bolbo seco (°C) – Temperatura exterior sem o efeito da humidade e radiação
- Humidade relativa (%) - Quantidade de vapor de água existente no ar
- PMV – Voto previsto médio
- PPD (%) – Percentagem previsível de insatisfeitos

Nos seguintes subcapítulos é feito um estudo passivo, sem AVAC a funcionar.

#### 4.1 Gabinete 1 (W)

Numa primeira abordagem foi realizada uma simulação do gabinete, orientado a poente, sem a existência de qualquer dispositivo de proteção solar, nem ventilação (janelas fechadas) e sem ganhos internos originados pelos computadores. De seguida, foi colocado o dispositivo de sombreamento, abriram-se as janelas e consideraram-se os ganhos internos (computadores). O Quadro 4.1 mostra a média da temperatura operativa do gabinete orientado a poente dos quatro cenários estudados.

Quadro 4.1 – Média da temperatura operativa dos quatro cenários do gabinete 1

	Temperatura Operativa (°C)				
	13 Julho	14 Julho	15 Julho	16 Julho	17 Julho
Cenário 1	42,23	42,44	43,60	44,40	45,18
Cenário 2	24,05	24,15	25,52	26,54	27,35
Cenário 3	22,02	22,06	23,06	23,79	24,12
Cenário 4	22,12	22,16	23,49	24,37	24,76

Relativamente ao cenário 1, nota-se que os valores da temperatura operativa média são bastante elevados em comparação aos restantes cenários. Após a realização do estudo do cenário 2 a temperatura diminuiu ligeiramente, tendo aumentado com a introdução dos ganhos internos.

O Quadro 4.2 representa os valores médios das temperaturas e humidade relativa ao longo de uma semana típica de verão (13 Julho a 17 julho), bem como o valor médio semanal.

Quadro 4.2 – Valores médios das temperaturas e humidade relativa da semana típica de verão do gabinete 1

Data	Temp. ar interior (°C)	Temp. ar exterior (°C)	Temp. Radiante (°C)	Temp. Operativa (°C)	Temp. do Bolbo Seco (°C)	Humidade Relativa (%)
13 Julho	21,72	26,00	22,54	22,12	18,66	68,98
14 Julho	21,87	27,00	22,47	22,16	19,44	65,82
15 Julho	23,31	27,00	23,71	23,49	18,65	64,16
16 Julho	24,16	28,00	24,60	24,37	19,05	62,23
17 Julho	24,45	28,00	25,16	24,76	18,46	59,56
Valor médio semanal	23,31	27,00	23,71	23,49	18,66	64,16

Como é possível observar através do quadro anterior, o valor médio da temperatura operativa no interior do gabinete aumenta ao longo da semana. Com o dispositivo de sombreamento e a ventilação natural verifica-se que a temperatura do ar interior é relativamente baixa comparada com a temperatura do ar exterior. Os valores da humidade relativa são altos devido à existência de uma maior percentagem de humidade no verão.

A Figura 4.1 mostra os resultados apresentados no quadro anterior em forma de gráfico. No gráfico superior a linha azul clara representa a temperatura do ar, a linha vermelha representa a temperatura radiante, a linha verde representa a temperatura operativa e a linha azul escura representa a temperatura do bolbo seco. No inferior está representada a humidade relativa.

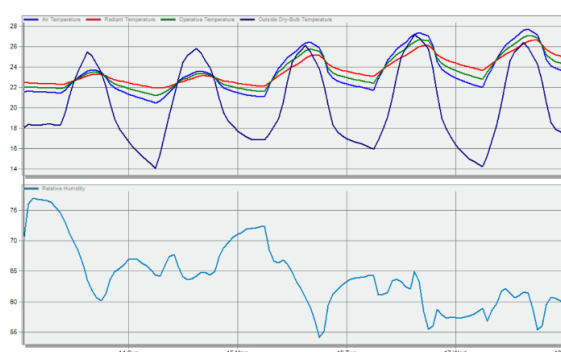


Figura 4.1 – Variação das temperaturas e humidade relativa ao longo de uma semana típica de verão do gabinete 1

A temperatura mais relevante e importante no interior do gabinete é a temperatura operativa. Assim sendo, a Figura 4.2 mostra graficamente os valores que esta adquire relativamente ao gabinete orientado a poente (gabinete 1) para a semana típica de verão e de inverno nos diferentes cenários.

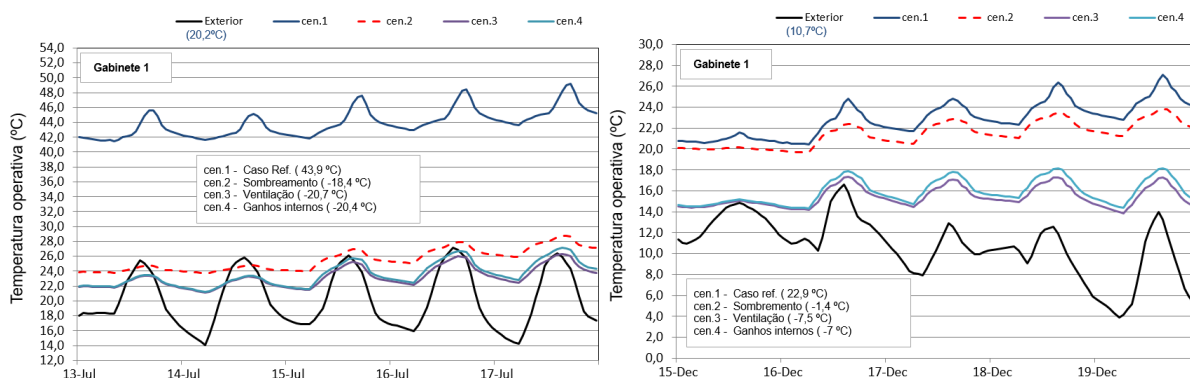


Figura 4.2 – Temperatura operativa ao longo de uma semana típica de verão (à esquerda) e de uma semana típica de inverno (à direita) do gabinete 1

Como se pode verificar no gráfico do verão, para a situação de referência, o valor da temperatura operativa média é bastante elevada atingindo os 43,9 °C.

De seguida foi simulada a colocação de um dispositivo de sombreamento composto por persianas de lâminas pelo exterior. Como o objetivo da colocação do dispositivo era reduzir a temperatura interior do gabinete, o propósito foi conseguido, reduzindo a temperatura operativa média para 25,5 °C.

Como o valor da temperatura operativa ainda é elevado, foi tido em conta a ventilação natural do gabinete. Realizaram-se duas simulações do modelo, uma com taxa de renovação por hora de 0,6 e outra com 1,2. Visto que o pretendido é aumentar a circulação do ar, optou-se por 1,2 rph. Posto isto, a temperatura operativa média reduziu para 23,2 °C.

Por fim, foram considerados os ganhos internos dos computadores, visto ser a parcela mais significativa. Com a energia que é libertada, a temperatura operativa no interior do gabinete subiu para 23,6 °C.

Como no período da tarde as temperaturas do ar no exterior são mais elevadas, a temperatura operativa no interior do gabinete orientado a poente será mais elevada do que nas restantes orientações dos envidraçados.

Durante o verão, o gabinete com esta orientação acaba por ter um efeito muito negativo devido à radiação que incide sobre este desde o meio-dia até ao pôr-do-sol. Sendo esta a fachada mais problemática no verão, é também responsável por grandes cargas térmicas no edifício.

O facto de esta fachada receber pouca radiação durante poucas horas da tarde durante a estação de inverno, faz com que o efeito da radiação seja reduzido. Através do gráfico é possível verificar que a existência do dispositivo de sombreamento não diminui muito a temperatura operativa média, uma vez que a radiação é fraca fazendo com que o dispositivo não tenha grande efeito. Com a abertura de janelas a temperatura diminuiu ainda mais, tendo aumentado sensivelmente com a introdução dos ganhos internos.

Por último, foram determinados os índices de conforto térmico. Como o programa *Design Builder* só calcula o índice PMV do gabinete, através da equação 2.14 é possível calcular o índice PPD.

A Figura 4.3 mostra como variam os valores do índice PPD em função do índice PMV e as percentagens de tempo, do cenário 4, correspondente a cada uma das quatro categorias de conforto no período de verão.

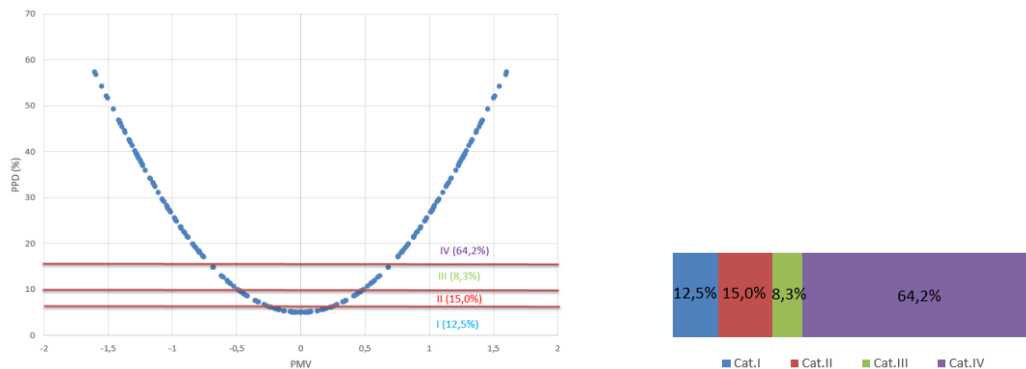


Figura 4.3 – Relação entre os índices PPD e PMV (à esquerda) e percentagens das categorias de conforto (à direita) do gabinete 1

Tal como referido anteriormente, existem quatro categorias de conforto interior em edifícios e as linhas vermelhas representadas no gráfico anterior separam essas mesmas categorias. Nos dois gráficos da figura estão retratadas as percentagens que cada categoria assume, sendo a categoria I a melhor categoria de conforto térmico e a categoria IV a pior. Através da análise da figura é possível verificar que as percentagens das categorias I, II e III são consideravelmente inferiores comparativamente à categoria IV.

## 4.2 Gabinete 2 (E)

Neste caso foi feita uma rotação ao modelo tridimensional orientando-o a nascente. Dessa forma, tentou-se perceber qual seria a influência que a orientação dos envidraçados do gabinete têm na temperatura operativa, nas restantes temperaturas e humidade relativa. Por último, procurou-se também compreender como variam os índices de conforto térmico PPD e PMV.

No Quadro 4.3 estão representados os valores que a temperatura operativa adquire, em relação ao gabinete orientado a nascente, para cada um dos quatro cenários descritos anteriormente ao longo de uma semana típica de verão.

Quadro 4.3 – Média da temperatura operativa dos quatro cenários do gabinete 2

	Temperatura Operativa (°C)				
	13 Julho	14 Julho	15 Julho	16 Julho	17 Julho
Cenário 1	29,68	31,43	32,67	34,51	36,00
Cenário 2	23,36	23,71	25,06	26,12	26,97
Cenário 3	21,63	21,83	22,88	23,67	24,03
Cenário 4	21,72	21,93	23,28	24,25	24,71

Diferente do que acontece no gabinete anterior, o cenário 1 não apresenta valores tão elevados. Ao longo da semana a temperatura operativa média vai aumentando devido ao aumento da temperatura no exterior. Com a existência do dispositivo de sombreamento há menos radiação solar direta, logo a temperatura operativa no interior vai diminuir. Devido à abertura das janelas, a circulação do ar vai fazer com que a temperatura operativa também diminua, aumentando com os ganhos internos.

De seguida no Quadro 4.4 estão representados os valores médios das temperaturas e humidade relativa durante a semana típica de verão e o valor médio semanal.

Quadro 4.4 – Valores médios das temperaturas e humidade relativa da semana típica de verão

Data	Temp. ar interior (°C)	Temp. ar exterior (°C)	Temp. Radiante (°C)	Temp. Operativa (°C)	Temp. do Bolbo Seco (°C)	Humidade Relativa (%)
13 Julho	21,36	26,00	22,10	21,72	18,66	69,90
14 Julho	21,62	27,00	22,24	21,93	19,44	66,79
15 Julho	23,08	27,00	23,42	23,27	18,65	66,08
16 Julho	23,98	28,00	24,42	24,25	19,05	63,06
17 Julho	24,25	28,00	25,04	24,71	18,46	60,19
Valor médio semanal	23,08	27,00	23,42	23,27	18,66	66,08

Com os envidraçados orientados a nascente a temperatura operativa média diminuiu, bem como as restantes temperaturas. A diferença entre a temperatura do ar e a temperatura exterior é significativa devido à existência do dispositivo de sombreamento e à ventilação natural. Os valores da humidade relativa tiveram um ligeiro aumento.

Na Figura 4.4 é possível observar os resultados apresentados no quadro anterior em forma de gráfico.

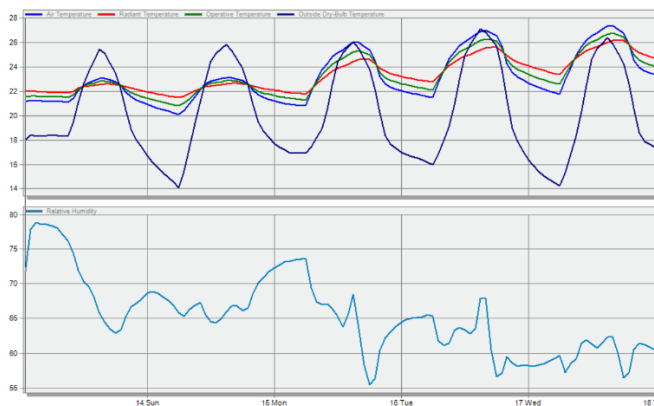


Figura 4.4 - Variação das temperaturas e humidade relativa ao longo de uma semana típica de verão

A Figura 4.5 mostra, em forma de gráfico, os valores que a temperatura operativa assume relativamente ao gabinete orientado a nascente, após a simulação do modelo numa semana típica de verão e numa semana típica de inverno nos diferentes cenários.

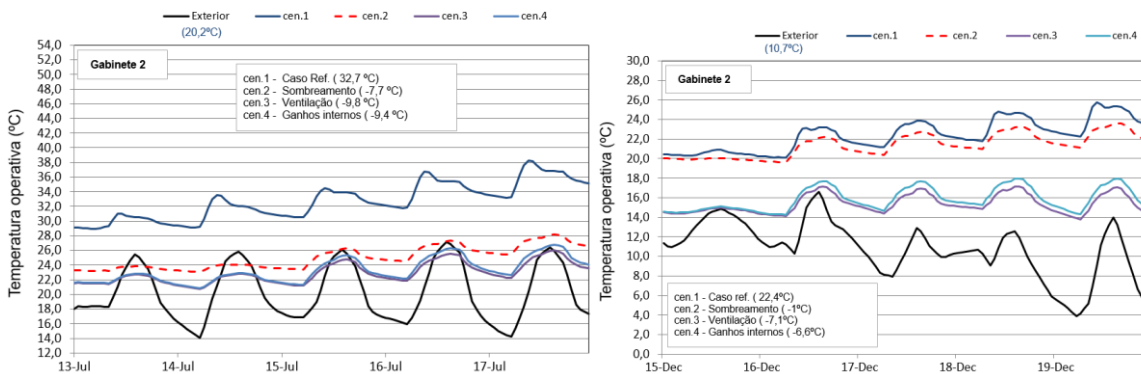


Figura 4.5 - Temperatura operativa ao longo de uma semana típica de verão (à esquerda) e de uma semana típica de inverno (à direita) do gabinete 2

Como é possível verificar através do gráfico de verão, na situação de referência, a temperatura operativa média tem o valor de 32,7 °C.

Com a colocação do dispositivo de sombreamento, a abertura das janelas e a existência dos ganhos internos a temperatura operativa reduziu, ficando com uma temperatura média final de 23,3 °C.

Embora haja uma elevada incidência da radiação solar no gabinete com esta orientação, a temperatura operativa média diminuiu comparativamente com o gabinete orientado a poente devido ao sol da manhã não ser tao forte, ou seja, os efeitos da ação solar atuam desde o



nascer do sol até ao meio-dia. Como os ângulos de incidência são perpendiculares aos envidraçados a captação da energia solar é maximizada.

No inverno, o gabinete orientado a nascente tem uma menor temperatura operativa média do que o gabinete orientado a poente, devido ao facto da fachada a nascente receber pouca radiação durante poucas horas da manhã. Tal como visto anteriormente, com o dispositivo de sombreamento a temperatura não diminui significativamente, continuando assim a diminuir com a ventilação natural e a aumentar com os ganhos internos.

Por último, foram determinados os índices de conforto térmico. Na Figura 4.6 é possível observar como variam os valores do índice PPD em função do índice PMV e as percentagens do tempo ocupado pelos edifícios, do período de verão no cenário 4, nas quatro categorias de conforto.

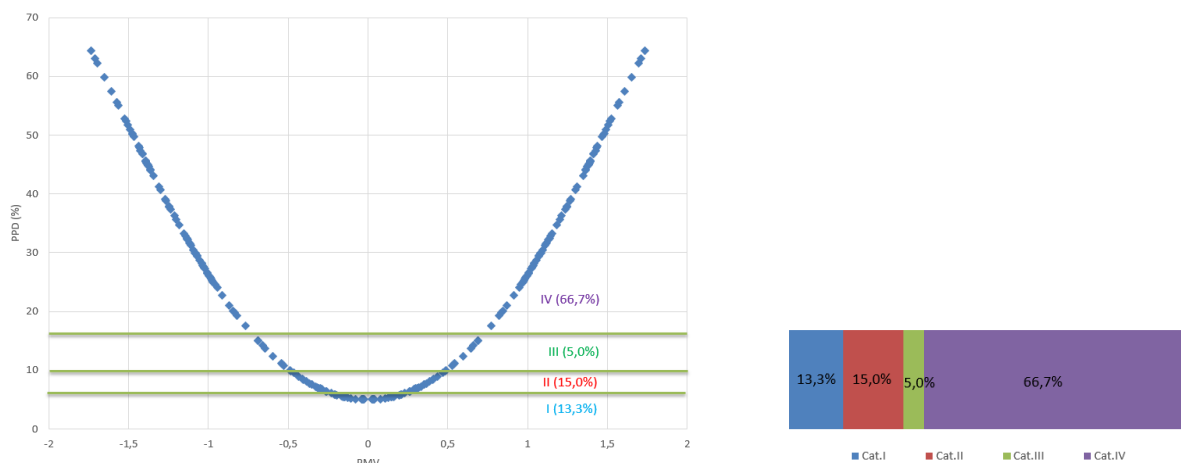


Figura 4.6 - Relação entre os índices PPD e PMV (à esquerda) e percentagens das categorias (à direita) do gabinete 2

Em relação ao gabinete orientado a poente, a percentagem da categoria I do gabinete orientado a nascente aumentou, o que significa que há uma maior concordância em relação ao conforto sentido. Por outro lado, o ligeiro aumento da percentagem da categoria IV mostra que algumas pessoas já não colocam o espaço na categoria III, considerando-o mais desconfortável. A categoria II não sofreu nenhuma alteração.

### 4.3 Gabinete 3 (S)

Repetindo o procedimento feito anteriormente, os valores obtidos para o gabinete 3, orientado a sul, relativamente aos valores que a temperatura operativa adota para cada um dos quatro

cenários descritos anteriormente ao longo da semana típica de verão, encontram-se representados no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 - Média da temperatura operativa dos quatro cenários do gabinete 3

	Temperatura Operativa (°C)				
	13 Julho	14 Julho	15 Julho	16 Julho	17 Julho
Cenário 1	31,56	31,93	33,26	34,10	34,83
Cenário 2	23,61	23,76	25,09	26,09	26,88
Cenário 3	21,76	21,84	22,81	23,52	23,84
Cenário 4	21,86	21,94	23,24	24,12	24,51

Comparativamente ao gabinete orientado a poente, este também apresenta valores de temperatura operativa média mais baixos no cenário 1. Por outro lado, em relação ao gabinete orientado a nascente, a temperatura operativa média é mais elevada nos três primeiros dias da semana.

Os valores médios das temperaturas e humidades relativas da semana típica de verão e o valor médio semanal encontram-se representados no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 - Valores médios das temperaturas e humidade relativa da semana típica de verão

Data	Temp. ar interior (°C)	Temp. ar exterior (°C)	Temp. Radiante (°C)	Temp. Operativa (°C)	Temp. do Bolbo Seco (°C)	Humidade Relativa (%)
13 Julho	21,49	26,00	22,29	21,86	18,66	69,06
14 Julho	21,63	27,00	22,25	21,94	19,44	66,67
15 Julho	23,09	27,00	23,46	23,24	18,65	65,05
16 Julho	23,92	28,00	24,32	24,12	19,05	62,87
17 Julho	24,18	28,00	24,85	24,51	18,46	60,44
Valor médio semanal	23,09	27,00	23,46	23,24	18,66	65,05

Comparativamente com o gabinete anterior, o valor médio semanal da temperatura operativa diminuiu, bem como o valor da humidade relativa. Apesar da temperatura do ar interior ter aumentado continua a ser uma diferença considerável em relação à temperatura do ar exterior.

Na Figura 4.7 é possível observar os resultados apresentados no quadro anterior em forma de gráfico.

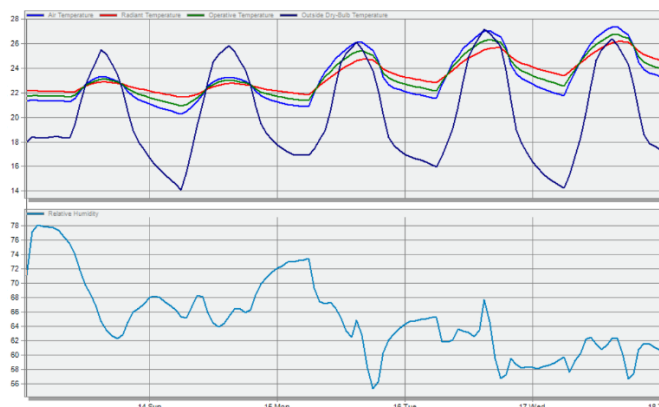


Figura 4.7 - Variação das temperaturas e humidade relativa ao longo de uma semana típica de verão

A Figura 4.8 mostra, em forma de gráfico, os valores que a temperatura operativa toma relativamente ao gabinete orientado a sul após a simulação do modelo da semana típica de verão e numa semana típica de inverno nos diferentes cenários.

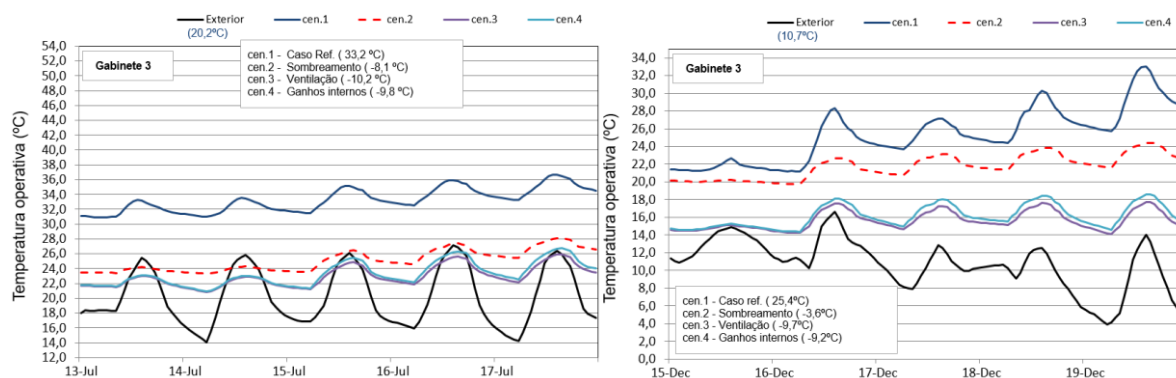


Figura 4.8 – Temperatura operativa ao longo da semana típica de verão (à esquerda) e de uma semana típica de inverno (à direita) do gabinete 3

Como é possível verificar através do gráfico, na situação de referência, a temperatura operativa média toma o valor de 33,2 °C.

Com a colocação do dispositivo de sombreamento, a abertura das janelas e a existência dos ganhos internos, a temperatura operativa reduziu 9,8 °C, ficando com uma temperatura média final de 23,4 °C.

Ao longo do ano os envidraçados orientados a sul recebem uma maior radiação solar do que os restantes, sendo no verão uma fachada mais fácil de proteger dessa mesma radiação. Visto que o percurso do sol é sempre vertical, os ganhos solares são reduzidos uma vez que a incidência da radiação solar apresenta grandes ângulos.

Em comparação com os gabinetes 1 e 2, no inverno, o gabinete orientado a sul apresenta uma temperatura operativa média superior, porque é nesta fachada que há maiores ganhos solares. Com a colocação das persianas a temperatura diminuiu ligeiramente, por isso talvez não seja necessário a colocação de persianas nesta altura do ano. Para os restantes cenários o raciocínio é o mesmo realizado anteriormente.

Da mesma forma, determinaram-se os índices de conforto térmico PPD e PMV e as percentagens do tempo ocupado pelos edifícios nas quatro categorias como está representado na Figura 4.9.

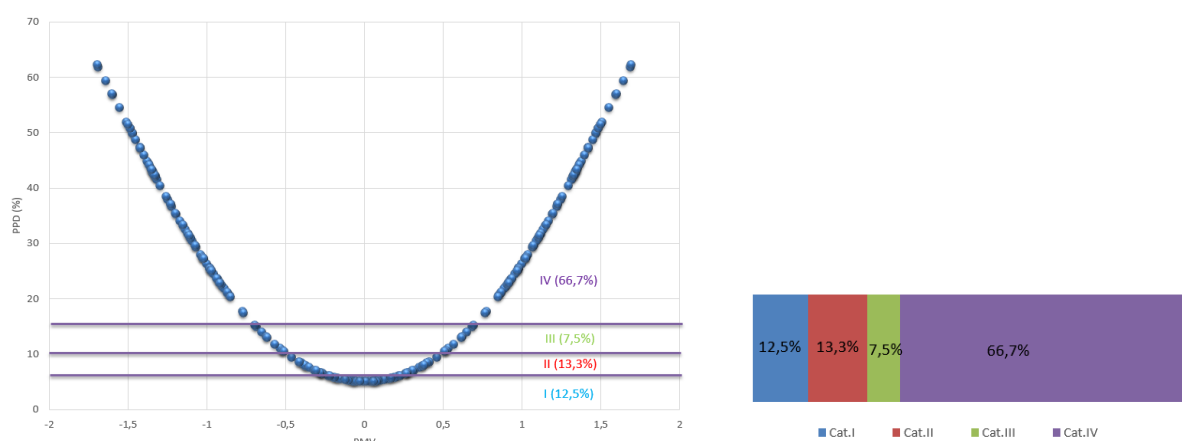


Figura 4.9 - Relação entre os índices PPD e PMV (à esquerda) e percentagens das categorias (à direita) do gabinete 3

O gabinete orientado a sul sofreu ligeiras diminuições e aumentos de percentagens comparativamente ao gabinete a nascente. As percentagens das categorias I e II diminuíram enquanto a categoria III aumentou, querendo isto dizer que a maior parte das pessoas não se sentem tão confortáveis a nível térmico. Como o valor da categoria IV não se alterou, continua a existir uma grande percentagem de pessoas insatisfeitas.

Em relação ao gabinete orientado a poente verificaram-se alterações nas categorias II, III e IV. O facto da percentagem da categoria IV ter sido a única a aumentar, revela a insatisfação das pessoas relativamente às condições do ambiente no interior do espaço.

#### 4.4 Gabinete 4 (N)

Por último, o gabinete a ser estudado encontra-se orientado a norte. No Quadro 4.7 é possível observar os valores que a temperatura operativa adquire para cada um dos quatro cenários descritos anteriormente ao longo da semana típica de verão.

Quadro 4.7 - Média da temperatura operativa dos quatro cenários do gabinete 4

	Temperatura Operativa (°C)				
	13 Julho	14 Julho	15 Julho	16 Julho	17 Julho
Cenário 1	25,85	26,24	27,74	28,79	29,62
Cenário 2	23,15	23,25	24,60	25,57	26,34
Cenário 3	21,48	21,53	22,54	23,21	23,52
Cenário 4	21,57	21,63	22,94	23,83	24,21

O gabinete com esta orientação é o que revela valores mais baixos de temperatura operativa no cenário 1. Tal como acontece nos gabinetes anteriores, com a introdução do sombreamento e a ventilação natural a temperatura operativa média diminui.

Os valores médios das temperaturas e humidade relativa da semana típica de verão, bem como o valor médio semanal encontram-se representados no Quadro 4.8.

Quadro 4.8 - Valores médios das temperaturas e humidade relativa ao longo da semana típica de verão

Data	Temp. ar interior (°C)	Temp. ar exterior (°C)	Temp. Radiante (°C)	Temp. Operativa (°C)	Temp. do Bolbo Seco (°C)	Humidade Relativa (%)
13 Julho	21,23	26,00	21,96	21,57	18,66	70,75
14 Julho	21,35	27,00	21,88	21,63	19,44	67,92
15 Julho	22,86	27,00	23,11	22,94	18,65	68,12
16 Julho	23,64	28,00	23,96	23,83	19,05	64,65
17 Julho	23,86	28,00	24,48	24,21	18,46	61,45
Valor médio semanal	22,86	27,00	23,11	22,94	18,66	67,92

Através do quadro anterior é possível observar que o gabinete orientado a norte é o que tem menor valor médio semanal de temperatura de ar interior. Essa diferença de temperatura faz com que o valor da humidade relativa aumente, uma vez que com uma menor radiação solar crie mais humidade. Posto isto, a temperatura operativa também diminui, como será explicado posteriormente.

Na Figura 4.10 é possível observar os resultados apresentados no quadro anterior em forma de gráfico.

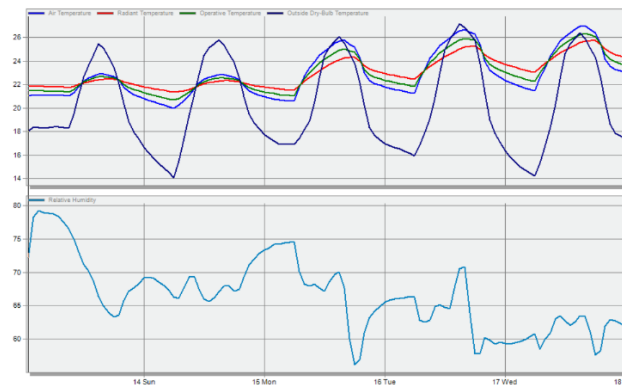


Figura 4.10 - Variação das temperaturas e humidade relativa ao longo de uma semana típica de verão

Na Figura 4.11 é possível observar os valores que a temperatura operativa assume relativamente ao gabinete orientado a norte após a simulação do modelo numa semana típica de verão e numa semana típica de inverno nos diferentes cenários.

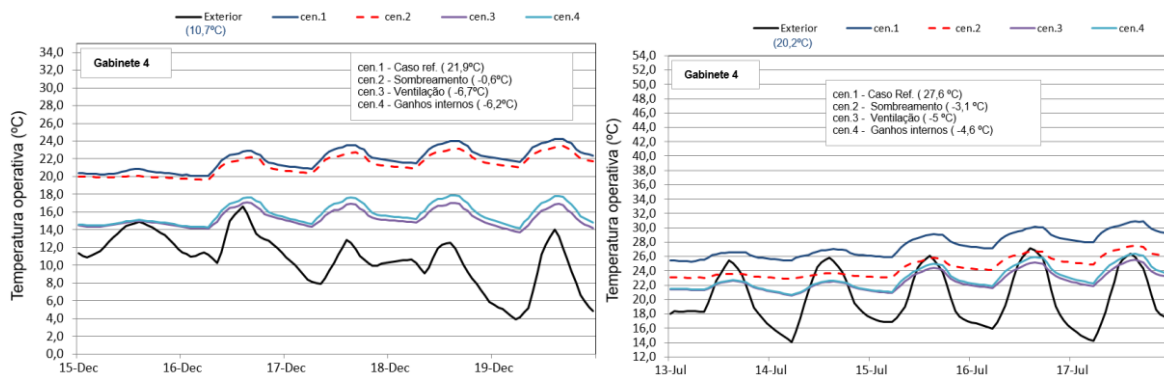


Figura 4.11 - Temperatura operativa ao longo de uma semana típica de verão (à esquerda) e de uma semana típica de inverno (à direita) do gabinete 4

De acordo com o gráfico, a temperatura operativa média assume o valor de 27,6 °C. Com a colocação do dispositivo de sombreamento, a abertura das janelas e a existência dos ganhos internos a temperatura operativa reduziu, obtendo uma temperatura final de 23,0 °C.

No verão o quadrante norte é o que origina menos problemas para o gabinete em termos de radiação solar. Essa radiação só é transmitida no início da manhã e no final da tarde. Assim, através dos resultados apresentados anteriormente é possível observar que o gabinete orientado a norte é o que apresenta menor valor médio de temperatura operativa.

No inverno, os envidraçados orientados a norte são os que apresentam menor temperatura operativa média, porque durante esta estação não recebem radiação direta. No cenário 2, a temperatura diminuiu ligeiramente ficando próxima da inicial. Mais uma vez a temperatura diminui e aumenta, com a ventilação natural e ganhos internos respetivamente.

Na Figura 4.12 é possível observar como variam os valores do índice PPD em função do índice PMV e as percentagens do tempo ocupado pelos edifícios nas quatro categorias.

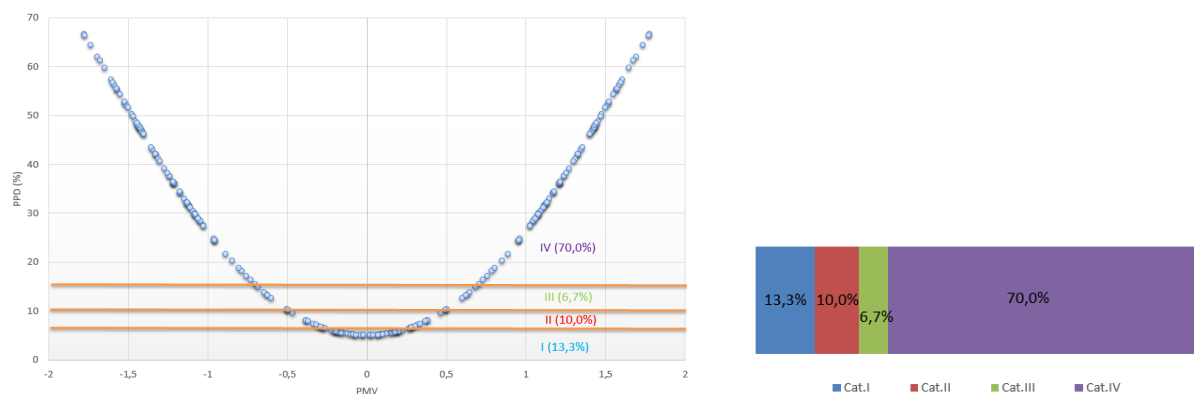


Figura 4.12 - Relação entre os índices PPD e PMV (à esquerda) e percentagens das categorias (à direita) do gabinete 4

Apesar de o gabinete orientado a norte ter uma das melhores percentagens na categoria I, apresenta também a pior percentagem na categoria IV. Comparando com os restantes gabinetes é possível observar também que as percentagens da categoria II e III diminuem. Através das análises feitas anteriormente, conclui-se que o gabinete orientado a norte não apresenta um conforto térmico propício ao bem-estar das pessoas.

#### 4.5 Resultados para os diferentes cenários de verão

Após a apresentação dos valores médios da temperatura operativa dos quatro cenários para a semana típica de verão, foi comparada a temperatura operativa dos diferentes gabinetes em cada cenário.

A Figura 4.13 mostra a variação da temperatura operativa dos gabinetes para o cenário 1 ao longo da semana.

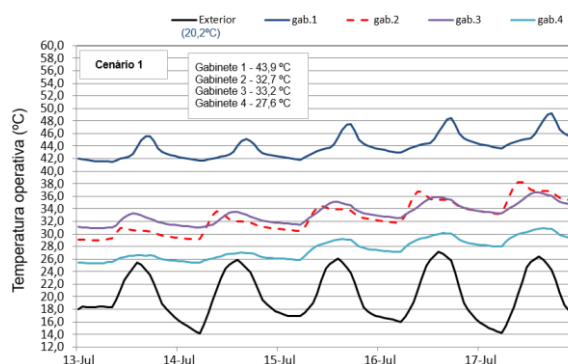


Figura 4.13 – Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 1 (caso de referência)

Através da figura anterior é fácil perceber que existe uma diferença considerável entre a temperatura do gabinete 1, orientado a poente, e dos restantes gabinetes. O gabinete orientado a norte (gabinete 4) apresenta a temperatura mais baixa porque durante o período de verão o sol não incide tanto nessa fachada. O gabinete orientado a nascente (gabinete 2) e a sul (gabinete 3) apresentam uma temperatura operativa muito próxima.

Na Figura 4.14 é possível observar a forma como a temperatura operativa varia ao longo da semana com o dispositivo de sombreamento ativo, ou seja, o cenário 2.

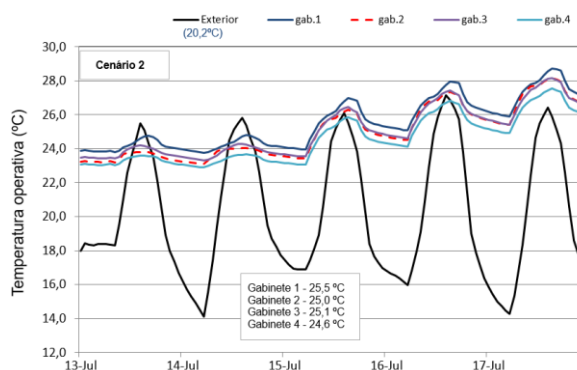


Figura 4.14 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 2 (sombreamento)



No cenário 2 (dispositivos de sombreamento ativos) as temperaturas diminuíram consideravelmente, sendo esta descida mais significativa no gabinete 1, orientado a poente. As temperaturas neste cenário estão muito mais próximas, devido a redução dos ganhos solares, diminuindo a importância da orientação dos envidraçados.

Na Figura 4.15, com a abertura das janelas, é possível verificar a influência que a ventilação natural tem na temperatura interior dos gabinetes.

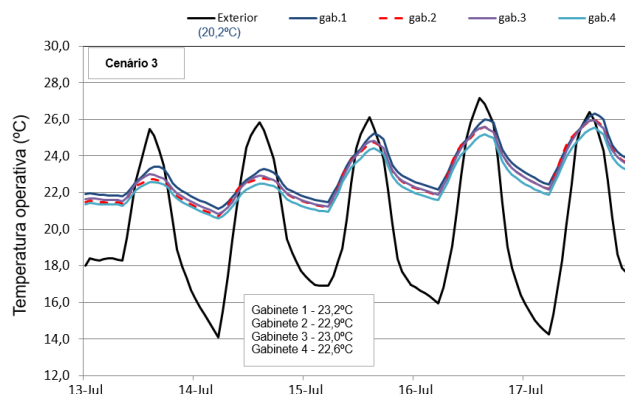


Figura 4.15 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 3 (ventilação natural)

Dada a circulação do ar existente nos gabinetes, a temperatura operativa média diminuiu. Tal como no cenário anterior, a temperatura do gabinete 1 continua a ser ligeiramente superior e a do gabinete 4 a menor, mantendo-se as temperaturas do gabinete 2 e 3 muito próximas.

Com a ativação dos ganhos internos, a temperatura operativa média subiu ligeiramente, tal como ilustrado na Figura 4.16.

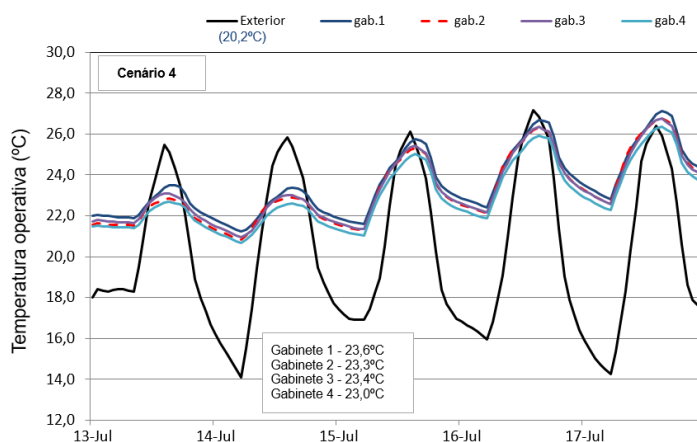


Figura 4.16 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 4 (ganhos internos)

Como é possível verificar na figura anterior, a presença de ganhos internos aumentou sensivelmente os valores das temperaturas no interior dos gabinetes. Após a simulação dos quatro cenários é possível verificar que a temperatura operativa média do gabinete 1 continua a ser superior, a temperatura do gabinete 3 é ligeiramente superior à do gabinete 2 e o gabinete 4 tem a menor temperatura operativa média.

#### 4.6 Resultados para os diferentes cenários de inverno

Após a apresentação dos valores médios da temperatura operativa dos quatro cenários para a semana típica de inverno, foi comparada a temperatura operativa dos diferentes gabinetes em cada cenário.

A Figura 4.17 mostra a variação da temperatura operativa dos gabinetes para o cenário 1 ao longo da semana.

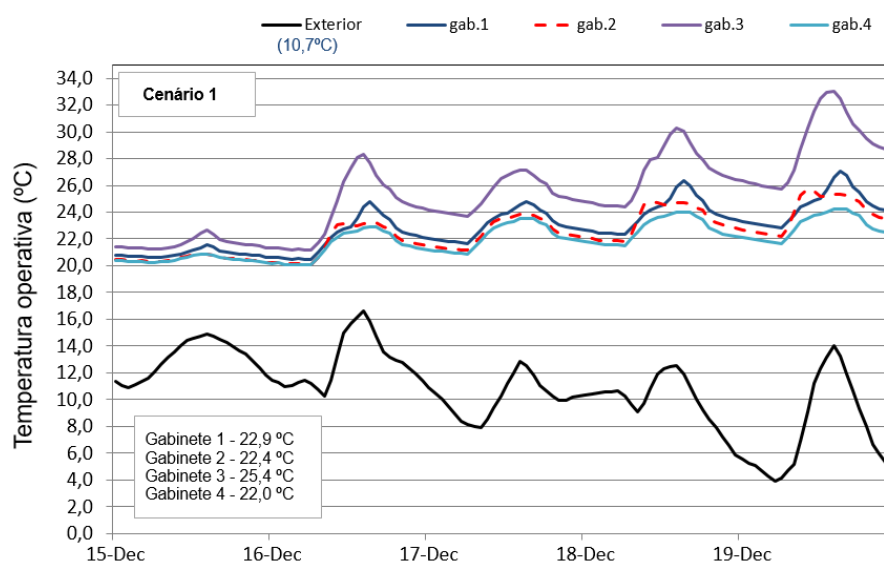


Figura 4.17 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 1 (caso de referência)

Através do gráfico é possível verificar que as temperaturas operativas dos gabinetes no caso de referência são próximas, destacando-se a meio da semana o gabinete orientado a sul (gabinete 3). O gabinete orientado a norte é o que apresenta a temperatura operativa média inferior.

Na Figura 4.18 é possível observar a forma como a temperatura operativa varia ao longo da semana com o dispositivo de sombreamento ativo, ou seja, o cenário 2.

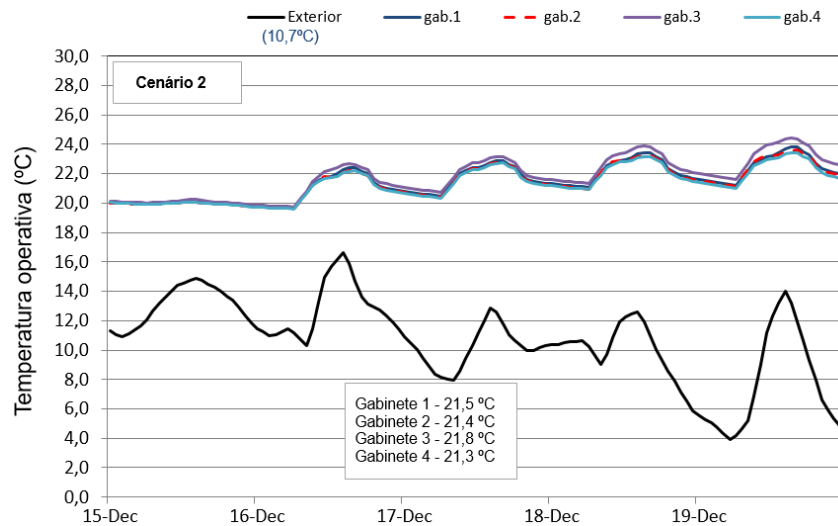


Figura 4.18 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 2 (sombreamento)

No cenário 2, a temperatura operativa do gabinete orientado a poente diminuiu, não se evidenciando tanto como no cenário 1. Embora as temperaturas dos gabinetes 1 e 2 (orientados a poente e nascente) também tenham diminuído, o gabinete 4 (orientado a norte) continua a ter a temperatura inferior.

Na Figura 4.19, com a abertura das janelas, é possível verificar a influência que a ventilação natural tem na temperatura interior dos gabinetes.

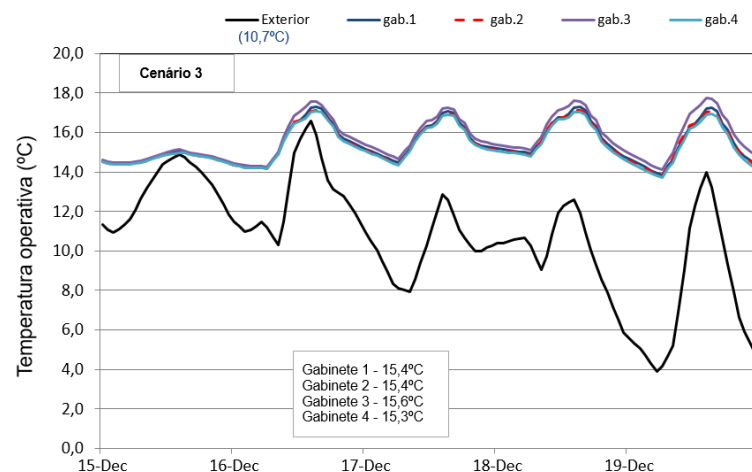


Figura 4.19 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 3 (ventilação natural)

Como o ar ficou mais fresco, a temperatura operativa média diminuiu. As temperaturas dos gabinetes 1 e 2 (orientados a poente e nascente) ficaram iguais, sendo a temperatura do gabinete 3 (orientado a sul) superior e a do gabinete 4 (orientado a norte) inferior.

Com a ativação dos ganhos internos, a temperatura operativa média subiu ligeiramente, tal como ilustrado na Figura 4.20.

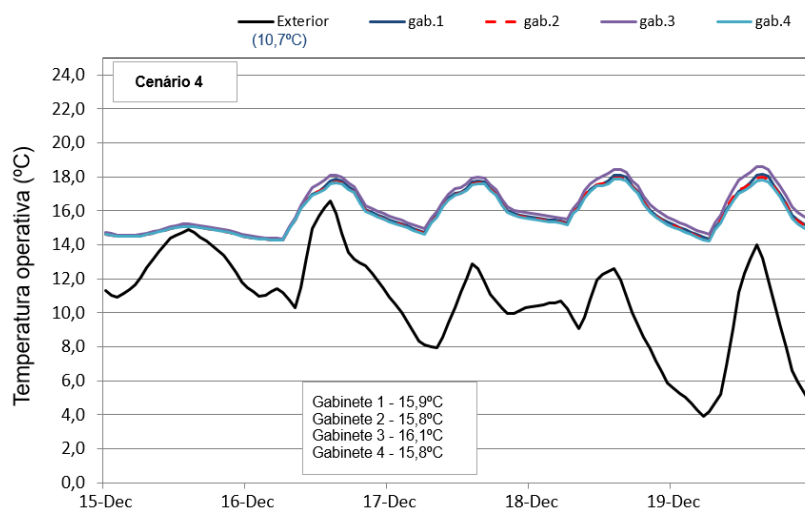


Figura 4.20 - Variação da temperatura operativa dos gabinetes no cenário 4 (ganhos internos)

Por último, com os ganhos internos, as temperaturas operativas médias aumentaram sensivelmente. Assim, o gabinete 3 (orientado a sul) tem uma temperatura operativa superior em relação aos restantes, o que significa que é o espaço mais agradável a nível de conforto térmico. O gabinete 1 (orientado a poente) é ligeiramente superior ao gabinete 2 (orientado a nascente) e o gabinete 4 inferior (orientado a norte) relativamente a estes.

## 5 CONCLUSÕES

Nesta dissertação foi abordado o conforto térmico, nomeadamente os fatores que o influenciam, as categorias e os índices do mesmo, bem como as normas e regulamentos deste. Feita a revisão sobre esta temática, foi realizado o caso de estudo em que envolvia gabinetes e as diferentes orientações. Após o caso de estudo, foi realizado um estudo paramétrico do mesmo.

Os parâmetros estudados foram a temperatura do ar, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura do bolbo seco, humidade relativa e os índices de conforto térmico PPD e PMV. Embora os assuntos retratados fossem mais teóricos, espera-se que os resultados apresentados com as diferentes orientações dos envidraçados tenham conduzido a um maior esclarecimento sobre qual a melhor orientação que um espaço deve ter.

É importante realçar que a qualidade do ambiente interior dos gabinetes do departamento de Engenharia Civil é um assunto importante para ser abordado, visto que se as condições de desconforto forem muito acentuadas o desempenho de quem trabalha nesse espaço pode ser comprometido.

Com a utilização do programa *Design Builder* e após realizadas diversas simulações do modelo, conclui-se que o programa apresenta uma interface simples e atrativa para quem o utiliza. Este trabalho permitiu também adquirir conhecimentos sobre o programa.

O sol, sendo uma fonte de calor, tem especial importância no que diz respeito ao aquecimento de um espaço. A temperatura operativa é a temperatura que se deve ter em conta para o estudo do conforto térmico no interior de um gabinete, dado ser a média da temperatura do ar e da temperatura radiante.

Após a conclusão do estudo, que teve como principal objetivo comparar o conforto térmico sentido no interior dos gabinetes nas diferentes orientações solares, é possível retirar as seguintes conclusões:

- A orientação dos envidraçados dos gabinetes é um fator importante para a determinação do nível de conforto térmico, dependendo da posição do sol durante o dia.

- O dispositivo de sombreamento e a ventilação natural dos gabinetes mostraram-se uma mais valia para a diminuição da temperatura operativa no seu interior, uma vez que com a colocação do dispositivo de sombreamento a passagem da radiação solar direta é impedida e com a abertura das janelas é permitida a passagem de ar mais fresco (ventilação natural).
- Durante o verão, com a existência de ganhos internos nos gabinetes a média da temperatura operativa aumenta. Porém, esse aumento não é muito significativo, sendo o seu valor de apenas  $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ .
- Durante o inverno, com a existência de ganhos internos o aumento é de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Como o ambiente está mais frio, os ganhos internos fazem com que a temperatura aumente mais.
- O gabinete com maior temperatura operativa média é o orientado a poente porque a radiação solar incide sobre ele à tarde (radiação mais intensa que de manhã) e também pelo facto de neste quadrante a radiação solar ser mais perpendicular nos envidraçados orientados a poente.
- Nos diferentes cenários, o gabinete orientado a poente é o que apresenta maior temperatura operativa média e o gabinete orientado a norte a menor.
- O gabinete orientado a poente tem uma percentagem 64,2% na categoria de conforto IV e o gabinete orientado a norte tem uma percentagem de 70%.
- Na categoria de conforto I, os gabinetes que têm maior percentagem são os gabinetes orientados a norte e a nascente.
- Durante o verão a melhor alternativa para a orientação do gabinete é a nascente e durante o inverno a sul.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, A.P. (2011) "Simulação térmica multizona de um edifício escolar: uma comparação de programas no âmbito do RSECE", Tese de mestrado integrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, Guimarães.
- Almeida, H. (2010) "Análise do Conforto Térmico de Edifícios Utilizando as Abordagens Analítica e Adaptativa", Tese de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Agência para a Energia (ADENE), <http://www.adene.pt>, data da consulta: 13/4/2017
- Cartas, J. (2011) "Simulação dinâmica de um edifício de escritórios com os programas EnergyPlus e Trace 700", Tese de mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Coelho, D.A. (2014) "Avaliação do Conforto Térmico em salas de aula", Tese de mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação, Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viseu, Viseu.
- Costa, M.F. (2013) "Aplicação do Design Builder à Avaliação de Soluções de Aquecimento e Arrefecimento de Edifícios para Diferentes Zonas Climáticas Portuguesas", Tese de mestrado integrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Carlos, Manuel and M. C. Gameiro Silva. 2017. "Measurements of Comfort in Vehicles Measurements of Comfort in Vehicles." (April 2002).
- Envcoglobal Limited (ENVCO), <http://envcoglobal.com>, data da consulta: 15/3/2017
- Frota, A., Schiffer, S. (2001). "Manual de Conforto Térmico". Studio Nobel, São Paulo.
- Fernandes, C.M. (2014) "Níveis de conforto térmico para os utilizadores de salas de operações", Tese de mestrado em Engenharia Humana, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães.
- Ferreira, L.F. (2012) "Identificação e Caracterização dos Principais Fatores que Afetam os Parâmetros que Caracterizam a Qualidade do Ambiente Interior dos Edifícios", Tese de mestrado integrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães.
- Ferreira, B.M. (2014) "Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios: Análise da Influência da Orientação e Inércia Térmica", Tese de mestrado, Engenharia Civil do Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra.
- Felix, V., Pereira, M., Tribess, A. (2006). "Avaliação das Condições de Conforto Térmico e Desconforto Local para diferentes Sistemas de Condicionamento de Ar em Ambientes de Escritório Utilizando Manequim" ENTAC 2006, Brasil, pp. 355-363.
- Felix, V., Pereira, M., Moura, D., Tribess, A. (2012). "Análise de Desconforto Térmico Local de Ambientes Cirúrgicos Com o Uso de Manequim, Medição de Variáveis Ambientais e Avaliação Subjetiva." Associação Nacional de Tecnologia Do Ambiente Construído, Vol. 12 (1), pp. 115-129.
- Garrido, D.E. (2013) "Avaliação do desempenho energético de um grande edifício de serviços existente", Tese de mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto

- Superior de Engenharia do Porto, Porto.
- REH. 2013. "Regulamento de Desempenho Energético Dos Edifícios de Habitação (REH), Síntese Da Regulamentação Aplicável." 127.
- Lamberts, R., Xavier, A. (2008). "Conforto e Stress Térmico", Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.
- McCullough, E., Jones, B., Huck, J. (1984). "A Comprehensive Data Base for Estimating Clothing Insulation" ASHRAE Transactions, No. 2888 (RP-411), pp. 29-47.
- Machado, R.A. (2014) "Reabilitação de Edifícios Visando a Eficiência Energética", Tese de mestrado integrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães.
- Neves, D.P. (2009) "Conforto térmico num edifício de ensino superior: análise da situação actual e identificação dos parâmetros relevantes para melhoramento energético", Tese de mestrado, Departamento de Engenharia Geográfica Geográfica e Energia da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Norma EN ISO 7730 (2005) "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".
- Norma EN 15251 (2007) "Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics".
- Norma ASHRAE Standard 55 (2004) "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy".
- Nunes, R.I. (2013) "Aplicação do RSECE a Pequeno Edifício de Serviços, com Climatização e Análise Comparativa de Resultados", Tese de mestrado em Energia e Climatização de Edifícios, Universidade do Algarve.
- Oliveira, A.R. (2008) "Avaliação da Incerteza na Determinação dos Índices de Conforto Térmico PMV e PPD", Tese de mestrado integrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Quintela, D. e Gaspar, A. (2016) "Ambientes Térmicos Moderados - Fundamentos". Departamento de Engenharia Mecânica da F.C.T da Universidade de Coimbra, edição 2015/2016, Coimbra.
- REH - "Regulamento de Desempenho Energético Dos Edifícios de Habitação", aprovado pelo Decreto-Lei nº 118/2013 de 20/08
- Ruas, A.C. (2001) "Avaliação de Conforto Térmico - Contribuição à Aplicação Prática das Normas Internacionais", Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- Silva, M. (2016) "Aplicações Computacionais para Avaliação do Conforto Térmico" Estudos em Destaque 2016, Coimbra, Portugal, pp. 56-68.
- Santos, P. (2015) "Thermal Behaviour and Energy Efficiency in Buildings", Departamento de Engenharia Civil da F.C.T da Universidade de Coimbra, edição de 2015/2016, Coimbra.
- Santos, P., Gervásio, H., Pereira, A., Simões da Silva, L., Bettencourt, A. (2017). "Comparative life cycle social assessment of buildings: health and comfort criterion", EDP Sciences, 2017, Coimbra, Portugal, pp. 1-18.
- Silva, P.C. (2006) "Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE", Tese de mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães.



## ANEXOS

### ANEXO A – Planta do piso 4

