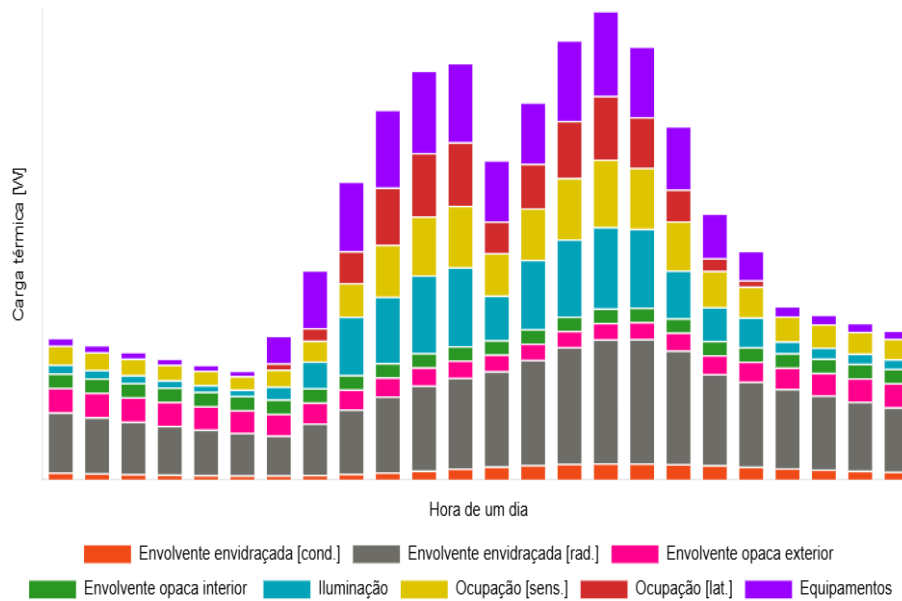




ISEL



Desenvolvimento de uma Aplicação Computacional para o Cálculo de Cargas Térmicas em Edifícios

ABEL MATEUS LOPES AGOSTINHO
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de Especialização de Energia, Refrigeração e Climatização

Orientadores:

Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca
Doutor Fernando Paulo Neves da Fonseca Cardoso Carreira

Júri:

Presidente: Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte

Vogais:

Doutor Pedro Miguel de Abreu e Silva
Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Desenvolvimento de uma Aplicação Computacional para o Cálculo de Cargas Térmicas em Edifícios

ABEL MATEUS LOPES AGOSTINHO

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica,
na Área de Especialização de Energia, Refrigeração e Climatização

Orientadores:

Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca, ISEL/IPL
Doutor Fernando Paulo Neves da Fonseca Cardoso Carreira,
ISEL/IPL

Júri:

Presidente: Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte, ISEL/IPL

Vogais:

Doutor Pedro Miguel de Abreu e Silva, ISEL/IPL
Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca, ISEL/IPL

maio de 2025

Agradecimentos

Começo por agradecer aos meus orientadores, professora Cláudia Casaca e professor Fernando Carreira, pela excelente orientação e acompanhamento de todo o trabalho desenvolvido, sugestões e conhecimento transmitido.

Agradeço aos meus pais, por todo o apoio e motivação que me deram ao longo desta grande jornada.

Por fim, quero também agradecer aos meus irmãos por toda a motivação e conselhos que me transmitiram.

Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor

Lisboa, 5 de maio de 2025

Desenvolvimento de uma Aplicação Computacional para o Cálculo de Cargas Térmicas em Edifícios

Resumo

O presente trabalho visa o desenvolvimento de uma aplicação computacional para o cálculo de cargas térmicas em edifícios que possa ser utilizada através da internet. A modelação dos edifícios é realizada através da definição e parametrização dos vários elementos construtivos dos espaços, nomeadamente, paredes exteriores e interiores, cobertura, pavimento e vãos envidraçados. A aplicação também permite parametrizar as cargas térmicas internas existentes num edifício, tais como, a iluminação, equipamentos e cargas adicionadas devido à atividade humana. Esta parametrização é realizada através de uma interface gráfica inserida numa arquitetura cliente-servidor, desenvolvida em HTML e PHP, sendo os dados armazenados numa base de dados em MySQL, para permitir a utilização através da internet, num sistema multiutilizador. O cálculo das cargas térmicas foi desenvolvido em Python, implementando o método da função de transferência. A transmissão de calor que ocorre no edifício é calculada com base nos mecanismos de condução, convecção e radiação, considerando as condições climatéricas, materiais, elementos construtivos, espaços, iluminação, equipamentos, perfis de ocupação, entre outros. Além disso, foi integrado o cálculo da radiação solar incidente, a complementar as condições climatéricas. Os resultados obtidos pelos módulos de cálculo desenvolvidos foram validados através da comparação com um programa comercial destinado ao cálculo de cargas térmicas. Como caso de estudo, analisou-se um espaço de escritórios, tendo-se observado um desvio máximo de 5,8%, na carga térmica de uma parede orientada a norte. No que respeita à carga térmica sensível total, obteve-se um valor de 4301 W com um desvio relativo de apenas 0,2% face ao programa comercial utilizado, evidenciando a boa concordância do programa de cálculo desenvolvido. Estes resultados permitiram validar o programa de cálculo desenvolvido em Python, assim como a eficácia da aplicação web proposta.

Palavras-chave: Cargas térmicas, aplicação computacional, desenvolvimento *web*, *Python*, base de dados relacional.

Development of a Computational Application for the Calculation of Thermal Loads in Buildings

Abstract

The aim of this work is to develop a computational application for the calculation and analysis of thermal loads in buildings that can be used via web. The modelling of a building involves the definition and parameterisation of the various constructive elements, including external and internal walls, roof, floor and glazed surfaces. Moreover, the application also allows the parameterisation of internal thermal loads, including lighting, equipment and occupancy. This parameterisation is carried out through a graphical user interface based on a client-server architecture, using HTML and PHP, being the data stored in a MySQL database, allowing web use and a multi-user system. The thermal load calculation modules have been developed in Python, implementing the transfer function Method. The quantification of the heat transfer occurring in the building considers the phenomena of conduction, convection and radiation, based on climatic conditions, materials, construction elements, lighting, equipment and occupancy profiles, among other factors. Incident solar radiation is also calculated to support the climatic data. The results obtained by the calculation modules were validated with a commercial thermal load calculation application. The validation was carried out on an office space, where the maximum deviation was 5.8% for a north-facing wall load. The sum of all loads resulted in a sensible load of 4301 W, resulting in a deviation of 0.2% in relation to the commercial application. This allowed the validation of the calculation program developed in Python, as well as the web application.

Keywords: Thermal loads, computational application, web development, Python, relational database

Lista de símbolos

Alfabeto romano

Símbolo	Significado	Unidade
A	área de superfície	[m ²]
a_j	coeficientes de absorção solar do vidro	-
Alt_{sl}	ângulo de altitude solar	[°]
A_{sl}	constante solar aparente	[W/m ²]
AZ_{sl}	ângulo de azimute solar	[°]
AZ_{sl-sp}	ângulo de azimute solar-superfície	[°]
B	coeficiente extinção atmosférica	-
b_n, c_n e d_n	coeficientes da função transferência	-
C	fator de difusão atmosférica	-
e_j	espessura da camada j	[m]
ET	equação do tempo	[min]
F_{carga}	fator de carga	-
F_{sa}	fator de equipamentos adicionais	-
F_{ul}	fator de utilização	-
h_0	coeficiente de convecção na superfície exterior	[W/(m ² ·K)]
h_{ang}	ângulo da hora solar	[°]
h_{local}	hora local	[h]
h_{solar}	hora solar	[h]
I_{abs}	irradiância absorvida	[W/m ²]
I_D	irradiância direta	[W/m ²]
I_d	soma da irradiância difusa e refletida	[W/m ²]
I_{dg}	irradiância refletida pelo solo	[W/m ²]
I_{DN}	irradiância direta normal	[W/m ²]
I_{ds}	irradiância difusa	[W/m ²]
$Incl_{sp}$	ângulo de inclinação da superfície	[°]
I_T	irradiância total	[W/m ²]
I_{trans}	irradiância transmitida	[W/m ²]
Lat	latitude	[°]
$Limit_{converg}$	limite de convergência	-
$Limit_{iter}$	limite de iterações	-
l_{local}	longitude do local	[°]
l_{st}	longitude da hora local	[°]

Símbolo	Significado	Unidade
n_{dias}	número de dias desde o início do ano	[dias]
N_i	fração do calor absorvido em direção ao interior do espaço	-
n_{iter}	número de iterações	-
N_{ocup}	Número de ocupantes	-
$q_{e,\theta}$	ganho térmico na envolvente opaca exterior na hora θ	[W]
$q_{envidraçado,c}$	ganho térmico de condução do vão envidraçado	[W]
$q_{envidraçado,r}$	ganho térmico de radiação do vão envidraçado	[W]
$q_{equipamentos}$	ganho térmico de equipamentos	[W]
$q_{ocupação,l}$	ganho térmico latente de ocupação	[W]
$q_{ocupação,s}$	ganho térmico sensível de ocupação	[W]
$q_{p,interior}$	ganho térmico na envolvente opaca interior	[W]
$q_{pessoa,l}$	ganho latente por ocupante	[W/ocup.]
$q_{pessoa,s}$	ganho sensível por ocupante	[W/ocup.]
Q_θ	carga térmica na hora θ	[W]
$q_{\theta-n}$	ganho térmico em n horas anteriores	[W]
$Q_{\theta-n}$	carga térmica em n horas anteriores	[W]
R_i	resistência térmica de cada camada	[(m ² ·K)/W]
R_{se}	resistência térmica da superfície exterior	[(m ² ·K)/W]
R_{si}	resistência térmica da superfície interior	[(m ² ·K)/W]
R_t	resistência térmica total da solução construtiva	[(m ² ·K)/W]
SC	fator de sombreamento	-
$SHGF$	fator de ganho térmico solar	[W/m ²]
sp_{az}	ângulo de azimute de superfície	[°]
t_{adj}	temperatura do espaço em contacto com a parede ou teto	[°C]
t_{ext}	temperatura exterior	[°C]
t_{int}	temperatura interior	[°C]
t_j	coeficientes de transmissão solar do vidro	-
$t_{sol,\theta-n}$	temperatura exterior sol-ar na hora $\theta-n$	[°C]
U	coeficiente de transmissão térmica	[W/(m ² ·K)]
v_n	coeficientes da função transferência da origem do ganho	-
$W_{equipamentos}$	potência do equipamento	[W]
W_{lamp}	potência das lâmpadas	[W]

Símbolo	Significado	Unidade
w_n	coeficientes da função transferência do tipo de construção	-
Y	razão entre a radiação difusa em superfície vertical e horizontal	-

Alfabeto grego

Símbolo	Significado	Unidade
α	absortividade da superfície exterior	-
ΔR	diferença entre a radiação de grande comprimento de onda refletida pela atmosfera e vizinhança que incide na superfície e a radiação emitida pelo corpo negro à temperatura exterior	[W/m ²]
ΔT_{GMT}	diferença da hora local e hora de Greenwich	[h]
ε	emissividade hemisférica da superfície	-
θ	ângulo de incidência	[°]
λ	condutibilidade térmica da camada j	[W/(m·K)]
ρ_g	refletância do solo	-

Siglas e acrónimos

<i>AJAX</i>	<i>Asynchronous JavaScript and XML (JavaScript e XML assíncrono)</i>
<i>API</i>	<i>Application Programming Interface (Interface de programação de aplicações)</i>
<i>AVAC</i>	<i>Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado</i>
<i>BIM</i>	<i>Building Information Modeling (Modelo de informação do edifício)</i>
<i>CAD</i>	<i>Computer-Aided Design (Desenho assistido por computador)</i>
<i>CSS</i>	<i>Cascading Style Sheets (Folhas de estilo em cascata)</i>
<i>CFD</i>	<i>Computational Fluid Dynamics (Dinâmica de fluidos computacional)</i>
<i>CLTD</i>	<i>Cooling Load Temperature Difference (Carga de arrefecimento por diferença de temperatura)</i>
<i>CRUD</i>	<i>Create, Read, Update, Delete (Criar, Ler, Atualizar e Eliminar)</i>
<i>HTML</i>	<i>HyperText Markup Language (Linguagem de Marcação de HiperTexto)</i>
<i>HTTP</i>	<i>HyperText Transfer Protocol (Protocolo de Transferência de HiperTexto)</i>
<i>JSON</i>	<i>JavaScript Object Notation (Notação de Objeto JavaScript)</i>
<i>PDO</i>	<i>PHP Data Objects (Objeto de dados PHP)</i>
<i>PHP</i>	<i>PHP Hypertext Preprocessor (Preprocessador de Hipertexto PHP)</i>
<i>SGBD</i>	<i>Sistema de Gestão de Bases de Dados</i>
<i>SQL</i>	<i>Structured Query Language (Linguagem de Consulta Estruturada)</i>
<i>URL</i>	<i>Uniform Resource Locator (Localizador de Recurso Uniforme)</i>
<i>UTA</i>	<i>Unidade de Tratamento de Ar</i>

Índice

AGRADECIMENTOS	i
DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
LISTA DE SÍMBOLOS	ix
SIGLAS E ACRÓNIMOS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE TABELAS	xxi
ÍNDICE DE LISTAGENS	xxiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO DO TEMA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	4
2 ESTADO DA ARTE	7
2.1 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS.....	7
2.1.1 <i>Hourly Analysis Program</i>	7
2.1.2 <i>Commercial HVAC Load Calculation</i>	9
2.1.3 <i>CYPETHERM LOADS</i>	9
2.1.4 <i>SIMSCALE</i>	11
2.1.5 <i>Outros</i>	13
2.2 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS.....	15
2.2.1 <i>Método do balanço de Calor</i>	15
2.2.2 <i>Método das séries temporais radiativas</i>	16
2.2.3 <i>Método da função de transferência</i>	17
2.3 CÁLCULO DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE.....	25
3 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO WEB	35
3.1 ARQUITETURA DO SISTEMA.....	36
3.2 PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DA BASE DE DADOS.....	37
3.2.1 <i>Definição das entidades</i>	38
3.2.2 <i>Definição dos atributos</i>	39
3.2.3 <i>Definição das relações entre entidades</i>	40
3.2.4 <i>Implementação em sistema de gestão de base de dados</i>	42
3.3 INTERFACE WEB E PROGRAMAÇÃO DO LADO DO CLIENTE.....	45
3.3.1 <i>Estrutura das interfaces web</i>	46
3.3.2 <i>Autenticação e gestão de conta de utilizador</i>	47

3.3.3	<i>Gestão de registos de edifícios</i>	48
3.3.4	<i>Gestão de registos dos espaços dos edifícios</i>	51
3.3.5	<i>Gestão de registos dos dados que modelam o edifício</i>	53
3.3.6	<i>Apresentação dos resultados das simulações</i>	57
3.3.7	<i>Funcionalidades adicionais</i>	63
3.4	PROGRAMAÇÃO DO LADO DO SERVIDOR.....	65
3.4.1	<i>Autenticação e autorização</i>	65
3.4.2	<i>Comunicação com a base de dados e manipulação de dados</i>	70
3.4.3	<i>Validação de formulários</i>	73
3.4.4	<i>Execução do programa de cálculo de cargas térmicas</i>	75
3.5	PROGRAMA DE CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS EM EDIFÍCIOS.....	76
3.5.1	<i>Obter a identificação do utilizador e da simulação</i>	77
3.5.2	<i>Leitura dos dados do edifício armazenados na base de dados</i>	77
3.5.3	<i>Implementação do algoritmo de cálculo de cargas térmicas</i>	79
3.5.4	<i>Armazenamento dos resultados do cálculo na base de dados</i>	84
4	VALIDAÇÃO DO PROGRAMA DE CÁLCULO	85
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO EXEMPLO EM ANÁLISE.....	85
4.2	TESTES E RESULTADOS.....	90
4.2.1	<i>Análise 1: Cálculo das cargas térmicas</i>	90
4.2.2	<i>Análise 2: Cálculo da radiação solar incidente</i>	93
5	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	97
5.1	CONCLUSÕES.....	97
5.2	TRABALHO FUTURO.....	99
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
	APÊNDICES	105
	APÊNDICE I – DIAGRAMA ENTIDADE-RELAÇÃO.....	107
	APÊNDICE II – RELATÓRIO DE CARGAS TÉRMICAS DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA.....	109
	APÊNDICE III – POTÊNCIA DE EQUIPAMENTOS DO EXEMPLO DE ANÁLISE.....	115
	APÊNDICE IV – RELATÓRIO DE CARGAS TÉRMICAS E DADOS INTRODUZIDOS NO HAP.....	117
	ANEXOS	121
	ANEXO I – ATRASO DE 30 MINUTOS PARA O CÁLCULO DE RADIAÇÃO SOLAR NO HAP.....	123

Índice de figuras

FIGURA 1.1 – TRANSMISSÃO DE CALOR POR CONDUÇÃO E CONVECÇÃO NUMA PAREDE COMPOSTA POR VÁRIAS CAMADAS (ADAPTADO DE PARASCHIV ET AL. (2020)).	2
FIGURA 2.1 – RELATÓRIO DE CARGAS TÉRMICAS OBTIDAS NO HAP.	8
FIGURA 2.2 - CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DE A) CLIMATIZAÇÃO E B) VENTILAÇÃO, ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS.	8
FIGURA 2.3 – PARAMETRIZAÇÃO DE UM ESPAÇO NO CYPETHERM LOADS (TOP-INFORMÁTICA, 2021).	10
FIGURA 2.4 – CARGAS TÉRMICAS PARA UMA ZONA DE VÁRIOS ESPAÇOS: A) DURANTE UM ANO; B) NO MÊS DE MAIOR CARGA (JULHO) OBTIDOS A PARTIR DO CYPETHERM LOADS (TOP-INFORMÁTICA, 2021).	11
FIGURA 2.5 – CARGAS TÉRMICAS NO ESPAÇO REFEITÓRIO (FIGURA 2.4): A) DURANTE UM ANO; B) MÊS DE MAIOR CARGA (JULHO) OBTIDO A PARTIR DO CYPETHERM LOADS (TOP-INFORMÁTICA, 2021).	11
FIGURA 2.6 – ENERGIA CINÉTICA TURBULENTA (K) PARA A GEOMETRIA CONVENCIONAL, FORMA DE LAGRIMA, CURVATURA OTIMIZADA E TUBÉRCULO (RALIN BUKREEV, 2023).	13
FIGURA 2.7 – INTERFACE GRÁFICA PARA ADICIONAR UM ESPAÇO (GONÇALVES, 2016).	14
FIGURA 2.8 – DIAGRAMA MÉTODO DE BALANÇO DE CALOR (ASHRAE, 2021).	15
FIGURA 2.9 – DIAGRAMA DO MÉTODO DAS SÉRIES TEMPORAIS RADIATIVAS (ASHRAE, 2021).	16
FIGURA 2.10 – DIAGRAMA DO MÉTODO DE FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA (MCQUISTON & SPITLER, 1992).	17
FIGURA 2.11 – REPRESENTAÇÃO DO GANHO TÉRMICO E DA CARGA TÉRMICA CONSIDERANDO FENÔMENOS DE CONVECÇÃO E RADIAÇÃO (ADAPTADO DE ASHRAE (1997)).	24
FIGURA 2.12 – ÂNGULOS SOLARES E DA SUPERFÍCIE (ADAPTADO DE ASHRAE (1997)).	27
FIGURA 2.13 – MOVIMENTO DA TERRA EM TORNO DO SOL (GOSWAMI, 2015).	28
FIGURA 2.14 – RADIAÇÃO DIRETA, DIFUSA E REFLETIDA NUM PAINEL FOTOVOLTAICO (OURRAOUI & AHAITOUF, 2022).	30
FIGURA 3.1 – ARQUITETURA CLIENTE-SERVIDOR (ADAPTADO DE AZUL, 2010).	37
FIGURA 3.2 - CHAVES PRIMÁRIAS E ESTRANGEIRAS DAS TABELAS A) DE EDIFÍCIOS E B) DE UTILIZADORES.	42
FIGURA 3.3 – TABELA RESULTANTE DA JUNÇÃO DA TABELA DE EDIFÍCIOS COM UTILIZADORES.	43
FIGURA 3.4 – DIAGRAMA ER DA BASE DE DADOS DESENVOLVIDO NO <i>MYSQL WORKBENCH</i> .	44
FIGURA 3.5 – SINCRONIZAÇÃO DO DIAGRAMA ENTIDADE-RELAÇÃO COM BASE DE DADOS.	45
FIGURA 3.6 – FLUXO DE NAVEGAÇÃO DAS INTERFACES <i>WEB</i> .	46
FIGURA 3.7 – PÁGINA INICIAL DA APLICAÇÃO <i>WEB</i> .	47
FIGURA 3.8 - FORMULÁRIO PARA A) CRIAR CONTA DE UTILIZADOR E B) INICIAR DE SESSÃO.	47
FIGURA 3.9 – PÁGINA DE MANIPULAÇÃO DOS EDIFÍCIOS.	48
FIGURA 3.10 – CAIXA DE DIÁLOGO PARA A) CRIAR E B) EDITAR EDIFÍCIOS.	49
FIGURA 3.11 – CAIXA DE DIÁLOGO PARA O UTILIZADOR CONFIRMAR A INTENÇÃO DE ELIMINAR UM REGISTO.	51
FIGURA 3.12 – PÁGINA DE MANIPULAÇÃO DE ESPAÇOS.	52
FIGURA 3.13 – PÁGINA DE PARAMETRIZAÇÃO DO ESPAÇO.	52

FIGURA 3.14 – PÁGINA DE DEFINIÇÃO DE PAREDES EXTERIORES PARA UM ESPAÇO.....	53
FIGURA 3.15 – FORMULÁRIO PARA CRIAR PAREDES EXTERIORES.	53
FIGURA 3.16 – FORMULÁRIO PARA CRIAR PAREDES, TETOS E PAVIMENTOS INTERIORES.	54
FIGURA 3.17 – INTERFACE GRÁFICA DE CRIAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.	55
FIGURA 3.18 – FLUXOGRAMA DE CÁLCULO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA E MASSA SUPERFICIAL POR EVENTO DE ALTERAÇÃO DE CADA CAMADA.	56
FIGURA 3.19 – FLUXOGRAMA DO CÁLCULO DO COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISSÃO DE UMA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA.....	56
FIGURA 3.20 – PÁGINA PARA CALCULAR E APRESENTAR RESULTADOS.....	57
FIGURA 3.21 – INFORMAÇÃO SOBRE O EDIFÍCIO E ESPAÇOS NO RELATÓRIO DE CARGAS TÉRMICAS.	58
FIGURA 3.22 – DETALHE DAS CARGAS TÉRMICAS OBTIDAS NA DATA E HORA DE CÁLCULO NA APLICAÇÃO.....	58
FIGURA 3.23 – DISTRIBUIÇÃO DA CARGA TÉRMICA NAS DIFERENTES ORIGENS PARA A HORA DE CÁLCULO.....	59
FIGURA 3.24 – OBTER CARGAS TÉRMICAS POR TIPO DE ELEMENTO UTILIZANDO AJAX PARA EXECUTAR PHP.	60
FIGURA 3.25 – EVOLUÇÃO DA CARGA TÉRMICA POR ORIGENS AO LONGO DO DIA DE CÁLCULO. 61	
FIGURA 3.26 – EVOLUÇÃO DA CARGA TÉRMICA MÁXIMA AO LONGO DE UM ANO.	62
FIGURA 3.27 – INTERFACE DE APRESENTAÇÃO DE RELATÓRIO DO CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS.	63
FIGURA 3.28 – INTERFACE DE GESTÃO DE PAREDES EXTERIORES EM MODO ESCURO.	63
FIGURA 3.29 – APARÊNCIA DA INTERFACE EM DISPOSITIVOS MÓVEIS PARA A) GESTÃO DOS EDIFÍCIOS B) GESTÃO DOS MATERIAIS E C) PARAMETRIZAÇÃO DOS ESPAÇOS.	64
FIGURA 3.30 – PROCESSO DE CRIAÇÃO DE CONTA DE UTILIZADOR.	66
FIGURA 3.31 – ESTABELECIMENTO DA COMUNICAÇÃO CLIENTE-SERVIDOR COM RECURSO A SESSÕES E <i>COOKIES</i> (MDN CONTRIBUTORS, 2024).....	67
FIGURA 3.32 – PROCESSO DE AUTENTICAÇÃO DO UTILIZADOR.	69
FIGURA 3.33 – FLUXOGRAMA GERAL DO PROGRAMA DE CÁLCULO.	76
FIGURA 3.34 – PROCESSO DE LEITURA DOS DADOS DA BASE DE DADOS NO PROGRAMA EM PYTHON.....	78
FIGURA 3.35 – SEQUÊNCIA DE CÁLCULO DAS CARGAS TÉRMICAS POR ORIGEM E DADOS NECESSÁRIOS PARA O CÁLCULO.	80
FIGURA 3.36 – DADOS UTILIZADOS PARA CALCULAR A IRRADIÂNCIA E FATOR DE GANHO TÉRMICO SOLAR.....	82
FIGURA 3.37 – SEQUÊNCIA DE CÁLCULO DA IRRADIÂNCIA SOLAR E FATOR DE GANHO TÉRMICO SOLAR COM OS DADOS NECESSÁRIOS PARA O CÁLCULO.	83
FIGURA 4.1 – PLANTA DO ESPAÇO EM ESTUDO.....	86
FIGURA 4.2 – PERFIL DE ILUMINAÇÃO NUM ESCRITÓRIO (REPÚBLICA PORTUGUESA, 2006).	89
FIGURA 4.3 – PERFIL DE OCUPAÇÃO (REPÚBLICA PORTUGUESA, 2006).	89
FIGURA 4.4 – PERFIL DE UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS (REPÚBLICA PORTUGUESA, 2006)....	90
FIGURA 4.5 – DISTRIBUIÇÃO DA CARGA SENSÍVEL TOTAL POR ORIGEM.....	92

FIGURA 4.6 – IRRADIÂNCIA TOTAL NO INSTANTE DE CARGA TÉRMICA MÁXIMA.	93
FIGURA 4.7 – EVOLUÇÃO HORÁRIA DE IRRADIÂNCIA SOLAR TOTAL EM SETEMBRO PARA A) NORTE, B) OESTE, C) SUL E A D) ESTE.	94
FIGURA 4.8 – EVOLUÇÃO DA IRRADIÂNCIA SOLAR TOTAL MÁXIMA DURANTE EM 12 MESES PARA A) NORTE, B) OESTE, C) SUL E A D) ESTE.	95

Índice de tabelas

TABELA 3.1 – ENTIDADES E ATRIBUTOS.	39
TABELA 3.2 – RELAÇÕES ENTRE ENTIDADES.	41
TABELA 4.1 – DADOS GEOGRÁFICOS DE LISBOA.	86
TABELA 4.2 – DADOS METEOROLÓGICOS DE LISBOA.	86
TABELA 4.3 – SOLUÇÃO CONSTRUTIVA DE PAREDES EXTERIORES.	87
TABELA 4.4 – SOLUÇÃO CONSTRUTIVA DE PAREDES INTERIORES.	87
TABELA 4.5 – ÁREA DAS SUPERFÍCIES OPACAS E ENVIDRAÇADAS.	88
TABELA 4.6 – CARGA TÉRMICA MÁXIMA.	91

Índice de listagens

LISTAGEM 3.1 – HTML: ESTRUTURA DA CAIXA DE DIÁLOGO PARA CRIAÇÃO DE EDIFÍCIOS.	49
LISTAGEM 3.2 – JAVASCRIPT: INSTRUÇÕES PARA VISUALIZAR E OCULTAR CAIXA DE DIÁLOGO. .	49
LISTAGEM 3.3 – JAVASCRIPT: ABRIR E FECHAR CAIXA DE DIÁLOGO DE EDIÇÃO DE ELEMENTOS.	50
LISTAGEM 3.4 – HTML: BOTÃO PARA APAGAR UM ESPAÇO.	51
LISTAGEM 3.5 – HTML: ELEMENTO <i>CANVAS</i> PARA APRESENTAÇÃO DE GRÁFICO.	59
LISTAGEM 3.6 – JAVASCRIPT: SELEÇÃO DO ELEMENTO COM CLASSE <i>DAY_HOURLY_PIE_CHART</i> E LEITURA DOS SEUS DADOS.	59
LISTAGEM 3.7 – MENSAGEM JSON DE ENVIO DAS CARGAS TÉRMICAS.	60
LISTAGEM 3.8 – JAVASCRIPT: CRIAÇÃO DE GRÁFICO CIRCULAR.	61
LISTAGEM 3.9 – JAVASCRIPT: CRIAÇÃO DE GRÁFICO DE BARRAS.	62
LISTAGEM 3.10 – JAVASCRIPT: ESTRUTURA DA VARIÁVEL <i>GRAPHDATASET</i> PARA GRÁFICOS DE BARRAS.	62
LISTAGEM 3.11 – PHP: <i>HASHING</i> DA PALAVRA-PASSE UTILIZANDO A FUNÇÃO <i>PASSWORD_HASH</i>	66
LISTAGEM 3.12 – PHP: VERIFICAÇÃO DA PALAVRA-PASSE UTILIZANDO A FUNÇÃO <i>PASSWORD_VERIFY</i>	67
LISTAGEM 3.13 – PHP: FUNÇÃO PARA DEFINIR OS PARÂMETROS DOS <i>COOKIES</i>	68
LISTAGEM 3.14 – PHP: AUTENTICAÇÃO DO UTILIZADOR DEFININDO A VARIÁVEL <i>\$_SESSION["USER_ID"]</i>	68
LISTAGEM 3.15 – PHP: VERIFICAÇÃO DE UTILIZADOR AUTENTICADO.	69
LISTAGEM 3.16 – PHP: VERIFICAÇÃO DO EDIFÍCIO SELECIONADO.	70
LISTAGEM 3.17 – PHP: ATRIBUIÇÃO DO OBJETO DE DADOS PARA COMUNICAÇÃO COM A BASE DE DADOS.	70
LISTAGEM 3.18 – PHP: OBTER INFORMAÇÃO SOBRE UM ESPAÇO ATRAVÉS DE CONSULTA EM SQL, COM BASE NO ID.	71
LISTAGEM 3.19 – PHP: CICLO DE REPETIÇÃO <i>FOREACH</i> PARA VISUALIZAR ELEMENTOS.	72
LISTAGEM 3.20 – PHP: OBTER DADOS SOBRE UM EDIFÍCIO, UTILIZANDO VARIÁVEL <i>GET</i>	72
LISTAGEM 3.21 – HTML E PHP: ATRIBUIR VALOR GUARDADO NA BASE DE DADOS A UMA CAIXA DE TEXTO.	72
LISTAGEM 3.22 – PHP: OBTER O ID DO ESPAÇO A REMOVER ATRAVÉS DO MÉTODO <i>GET</i>	73
LISTAGEM 3.23 – PHP E SQL: ELIMINAR O REGISTO DO ESPAÇO NA BASE DE DADOS DEFINIDO PELO ID.	73
LISTAGEM 3.24 – HTML: AÇÃO E MÉTODO DE ENVIO DE FORMULÁRIOS.	73
LISTAGEM 3.25 – PHP: ACESSO A VARIÁVEIS ENVIADAS ATRAVÉS DO MÉTODO <i>POST/GET</i>	73
LISTAGEM 3.26 – PHP: VERIFICAÇÃO DE CAMPOS VAZIOS COM A FUNÇÃO <i>EMPTY</i>	74
LISTAGEM 3.27 – PHP: DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ERRO E REGRESSO À PÁGINA DO FORMULÁRIO.	74
LISTAGEM 3.28 – PHP: CICLO DE REPETIÇÃO PARA APRESENTAÇÃO DOS ERROS DO FORMULÁRIO.	75
LISTAGEM 3.29 – PHP E SQL: INTRODUÇÃO DE UMA NOVA SIMULAÇÃO NA BASE DE DADOS.	75

LISTAGEM 3.30 – PHP: EXECUÇÃO DO PROGRAMA DE CÁLCULO EM PYTHON A PARTIR DO SERVIDOR.	76
LISTAGEM 3.31 – PYTHON: OBTENÇÃO DO ID DE UTILIZADOR E SIMULAÇÃO ENVIADOS PELOS ARGUMENTOS DO PROGRAMA.	77
LISTAGEM 3.32 – PYTHON: PARAMETRIZAÇÃO DO OBJETO DE ACESSO À BASE DE DADOS.	78
LISTAGEM 3.33 – PYTHON E SQL: CONSULTA NA BASE DE DADOS POR VÃOS ENVIDRAÇADOS.	79
LISTAGEM 3.34 – PYTHON: FUNÇÃO PARA CÁLCULO DO GANHO TÉRMICO E CARGA TÉRMICA NA ENVOLVENTE OPACA EXTERIOR.	80
LISTAGEM 3.35 – PYTHON: CÁLCULO DO GANHO TÉRMICO NA ENVOLVENTE OPACA EXTERIOR.	81
LISTAGEM 3.36 – PYTHON: EMPACOTAMENTO DOS RESULTADOS EM LISTA DE DICIONÁRIOS.	81
LISTAGEM 3.37 – PYTHON: CÁLCULO DO FATOR DE GANHO TÉRMICO SOLAR.	83
LISTAGEM 3.38 – PYTHON: INTRODUÇÃO DOS RESULTADOS NA BASE DE DADOS.	84

1 Introdução

1.1 Enquadramento do tema

As cargas térmicas num edifício correspondem à energia transferida em forma de calor para o espaço interior. A existência de cargas térmicas interfere no equilíbrio térmico desejado num espaço, provocando variações na temperatura e na humidade do ar. As cargas térmicas num espaço têm origem em fontes externas ou internas.

As fontes externas estão relacionadas com as condições climatéricas e as características da envolvente do edifício, tais como: paredes, cobertura, pavimento e vãos envidraçados. Já as fontes internas dependem das atividades realizadas no interior do edifício, incluindo a ocupação, equipamentos e iluminação.

Como mencionado anteriormente, as cargas térmicas resultam de processos de transmissão de calor através das diferentes origens. A transmissão de calor pode-se manifestar por meio de três mecanismos: condução, convecção e radiação. A condução ocorre quando existe um gradiente de temperatura num meio estacionário (Bergman et al., 2011). O calor transferido por condução é calculado considerando a lei de Fourier e depende do gradiente de temperatura e da condutibilidade térmica do meio.

O mecanismo de convecção ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento, desde que exista uma diferença de temperatura entre eles. A transmissão de calor por convecção tem duas tipologias: convecção natural e convecção forçada. A convecção natural resulta, essencialmente, da diferença de massas específicas devido à variação de temperatura no fluido. A convecção forçada é resultante de um escoamento induzido por meios externos, tais como bombas, ventiladores, vento, entre outros. A transmissão de calor por convecção é quantificada considerando a diferença de temperatura entre a superfície e o fluido e o coeficiente de convecção, que depende, essencialmente, das características do escoamento (Bergman et al., 2011). A noção deste mecanismo é essencial na análise de cargas térmicas, visto que qualquer corpo a uma temperatura superior à do espaço transmite calor para o ar por convecção natural.

A transmissão de calor por radiação é realizada através da propagação de ondas eletromagnéticas e é emitida por qualquer matéria com temperatura superior a 0 K. Uma vez que este mecanismo se propaga através de ondas eletromagnéticas, não necessita de meio material para o fazer, ao contrário da condução e convecção (Cengel & Ghajar, 2014). A radiação pode ser quantificada utilizando a lei de Stefan-Boltzmann e depende da constante de Boltzmann, da temperatura do corpo e da sua emissividade. A emissividade compara o poder emissivo do corpo em análise em relação ao corpo negro, variando entre 0 e 1. A radiação incidente num corpo é dividida na componente refletida, absorvida e transmitida. Estas componentes são obtidas considerando as propriedades de refletividade, absorvidade e transmissividade, respetivamente (Bergman et al., 2011). A análise da radiação em edifícios é relevante para determinação da carga térmica na envolvente exterior devido à radiação solar.

A resistência térmica permite associar os vários mecanismos de transmissão de calor (Bergman et al., 2011). Por definição, a razão da diferença de potencial térmico, ou seja, diferença de temperatura, com a resistência térmica do sistema resulta no calor transferido (Holman, 2010). A Figura 1.1 ilustra a transmissão de calor que ocorre numa parede com várias camadas, considerando o mecanismo de condução e convecção. As resistências $R_{camada,1}$ até $R_{camada,5}$ são resistências térmicas de condução nas várias camadas da parede. As resistências $R_{conv,i}$ e $R_{conv,e}$ são resistências térmicas de convecção no ar interior e exterior, respetivamente. A soma de todas as resistências térmicas resulta na resistência equivalente do sistema. Salienta-se que a variação do declive da temperatura entre T_i e T_e , existente nas várias camadas depende do mecanismo de transmissão de calor envolvido.

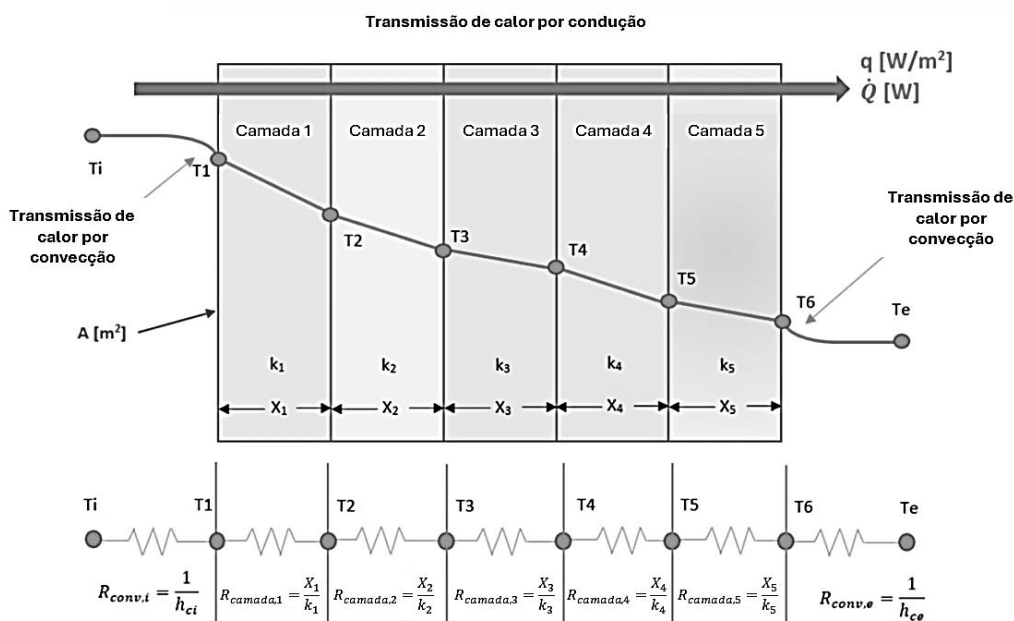


Figura 1.1 – Transmissão de calor por condução e convecção numa parede composta por várias camadas (adaptado de Paraschiv et al. (2020)).

A determinação das cargas térmicas de um edifício envolve diversos fatores e fenómenos associados à transmissão de calor. Deste modo, foram desenvolvidos vários métodos de cálculo que modelam as diferentes características em causa (Spitler, 2014). Os métodos simplificados são indicados para cálculos manuais e determinam as cargas térmicas para um dia típico, ou dia de projeto. Em contrapartida, os métodos baseados em ferramentas computacionais permitem uma análise mais precisa, porque permitem analisar as cargas térmicas ao longo de um período, usualmente com uma discretização horária no cálculo.

As cargas térmicas são utilizadas para diferentes fins, sendo um deles a seleção e o dimensionamento de sistemas de climatização que garantam as condições estipuladas para um determinado espaço. A determinação horária das cargas térmicas possibilita determinar o consumo energético dos sistemas de climatização. Ao descrever as características da envolvente do edifício, dos equipamentos, da iluminação e o respetivo perfil de utilização, é possível estimar o consumo e avaliar o desempenho energético do edifício.

A simulação computacional recorre a modelos que permitem analisar o comportamento de sistemas reais. Esses modelos são implementados através de um conjunto de instruções programadas em computador e baseiam-se em conceitos lógicos, físicos ou matemáticos. A parametrização feita pelo utilizador possibilita ajustar o modelo de simulação ao caso de estudo, promovendo uma melhor compreensão sobre a dinâmica do sistema (McHaney, 2009).

O uso de programas computacionais requer capacidade de processamento, memória e armazenamento da máquina que executa as ações de cálculo. No caso de programas instalados localmente, o desempenho depende exclusivamente do *hardware* e apenas um utilizador do computador pode executar o programa. Alternativamente, um programa acessível pela internet permite que o utilizador apenas necessite de uma ligação à internet e de um navegador para utilizar o programa, enquanto os cálculos são realizados num servidor remoto. Essa abordagem permite que múltiplos utilizadores acessem simultaneamente ao programa.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma aplicação para o cálculo de cargas térmicas em edifícios. Para alcançar este objetivo, o trabalho organiza-se em duas vertentes principais.

A primeira vertente centra-se no desenvolvimento de um programa que implemente o método de cálculo de carga térmica, com particular enfoque no cálculo das cargas

térmicas associadas à envolvente do edifício, aos equipamentos, à ocupação, entre outros, utilizando o método da função de transferência. Complementarmente, pretende-se desenvolver o cálculo da radiação solar incidente sobre superfícies exteriores tendo em conta a geometria do edifício, a localização geográfica, a orientação e as propriedades óticas dos materiais, permitindo um ajuste dinâmico das cargas térmicas em função das variações sazonais e horárias.

A segunda vertente foca-se no desenvolvimento de uma aplicação computacional, cuja arquitetura permita a sua utilização via internet. Neste contexto, é concebida uma base de dados, assim como a estrutura e a aparência da interface na *web*. Além disso, é realizada a programação necessária para estabelecer a ligação entre a base de dados, a interface e o programa de cálculo implementado.

1.3 Estrutura do documento

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, nos quais se descreve o trabalho desenvolvido para alcançar os objetivos propostos.

No presente capítulo, é realizado o enquadramento do tema, clarificando os principais pontos a considerar no desenvolvimento do trabalho. São também apresentados os objetivos desta dissertação e a estrutura geral do documento.

No segundo capítulo, é apresentado o estado da arte. Neste capítulo, são apresentadas algumas ferramentas computacionais para o cálculo de cargas térmicas, destacando algumas das suas características. Adicionalmente, são abordados os principais métodos utilizados para o cálculo de cargas térmicas, com especial enfoque no método da função de transferência, que foi adotado neste trabalho e é descrito em maior detalhe.

No capítulo três, é descrita a metodologia seguida para a construção da aplicação desenvolvida. Inicialmente, apresenta-se uma visão geral da arquitetura implementada. Em seguida, detalha-se o modelo lógico da estrutura de dados e a implementação do modelo físico num sistema de gestão de base de dados. O desenvolvimento da interface gráfica com o utilizador inclui um levantamento das interações necessárias que o utilizador terá de realizar para definir o modelo do edifício. Com base nesse levantamento é criada a estrutura e a aparência de cada página *web*. Por fim, descreve-se a ligação entre o servidor *web*, a base de dados e o programa de cálculo, por meio de programação no lado servidor. Neste capítulo, é também apresentado o programa de cálculo desenvolvido.

No quarto capítulo, é feita a validação do programa de cálculo desenvolvido através da análise de um exemplo prático de um edifício. Os resultados obtidos são discutidos em comparação com os valores calculados por um programa comercial de referência.

Por fim, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões do trabalho realizado, destacando os principais resultados alcançados e identificando potenciais desenvolvimentos para trabalhos futuros.

2 Estado da Arte

Neste capítulo pretende-se descrever as soluções existentes para o cálculo de cargas térmicas. Em primeiro lugar, são apresentadas algumas das ferramentas computacionais disponíveis para o cálculo de cargas térmicas. De seguida, são descritos os métodos utilizados para o cálculo de cargas térmicas. Por fim, também é apresentado o cálculo da radiação solar incidente.

2.1 Ferramentas computacionais

2.1.1 Hourly Analysis Program

O Hourly Analysis Program (HAP) (Carrier Corporation, 2013) é um programa utilizado para o dimensionamento de sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado (AVAC), desenvolvido pela Carrier®, um fabricante de equipamentos de AVAC. Entre as suas diversas funcionalidades, destaca-se a capacidade de estimar as cargas térmicas de arrefecimento e aquecimento para os vários espaços de um edifício. Para este fim, o utilizador define a localização e as características dos espaços, nomeadamente os elementos construtivos, os vãos envidraçados, os ganhos internos, entre outros.

Até à versão 5.11, o cálculo das cargas térmicas no HAP era realizado utilizando o método da função de transferência. No entanto, a partir da versão 6, este cálculo é feito pelo método de balanço de calor (Carrier, 2022). Os resultados das cargas térmicas são detalhados numa tabela, discriminando as componentes por origem na hora de maior carga, ou numa hora selecionada pelo utilizador, conforme ilustrado na Figura 2.1. Quando um espaço contém múltiplos elementos construtivos, o programa apresenta o efeito individual de cada elemento, como paredes, cobertura ou vãos envidraçados.

TABLE 1.1.A. COMPONENT LOADS FOR SPACE " 0.02 Sala de Limpos " IN ZONE " 0.02 "						
DESIGN COOLING			DESIGN HEATING			
COOLING DATA AT Sep 1600			HEATING DATA AT DES HTG			
COOLING OA DB / WB 29,0 °C / 13,8 °C			HEATING OA DB / WB -0,5 °C / -0,8 °C			
OCCUPIED T-STAT 23,5 °C			OCCUPIED T-STAT 20,5 °C			
SPACE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	5 m ²	1156	-	5 m ²	-	-
Wall Transmission	40 m ²	80	-	40 m ²	334	-
Roof Transmission	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Window Transmission	5 m ²	37	-	5 m ²	196	-
Floor Transmission	35 m ²	0	-	35 m ²	242	-
Partitions	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Ceiling	35 m ²	103	-	35 m ²	155	-
Overhead Lighting	287 W	253	-	0	0	-
Electric Equipment	28 W	27	-	0	0	-
People	2	148	266	0	0	0
Safety Factor	5% / 5%	90	13	15%	139	0
>> Total Zone Loads	-	1894	280	-	1066	0

TABLE 1.1.B. ENVELOPE LOADS FOR SPACE " 0.02 Sala de Limpos " IN ZONE " 0.02 "							
	Area (m ²)	U-Value (W/(m ² ·K))	Shade Coeff.	COOLING		HEATING	
				TRANS (W)	SOLAR (W)	TRANS (W)	TRANS (W)
S EXPOSURE							
WALL	25	0,359	-	50	-	-	188
WINDOW 1	3	1,790	0,770	25	810	-	131
S EXPOSURE							
WALL	3	0,828	-	13	-	-	43
W EXPOSURE							
WALL	11	0,359	-	14	-	-	83
WINDOW 1	2	1,790	0,770	12	345	-	65
W EXPOSURE							
WALL	1	0,828	-	4	-	-	19

Figura 2.1 – Relatório de cargas térmicas obtidas no HAP.

Após determinar as cargas térmicas de cada espaço, o HAP calcula as potências necessárias dos permutadores de calor no sistema de climatização, bem como dos ventiladores e dos equipamentos de produção térmica, como chillers, caldeiras, bombas de calor, entre outros. Para além do dimensionamento de sistemas de climatização, este programa permite ainda elaborar a análise energética da instalação. Com base numa simulação da operação do edifício hora-a-hora, 365 dias por ano (ou seja, 8760 horas por ano), é possível estimar o consumo energético anual e os custos associados.

O cálculo do consumo energético inclui não apenas os equipamentos de AVAC e os sistemas de produção térmica, mas também a iluminação, os equipamentos elétricos e outros elementos associados às atividades do edifício. A Figura 2.2a exemplifica os resultados obtidos para o consumo energético anual de um sistema AVAC que climatiza um espaço em arrefecimento e aquecimento. A Figura 2.2b apresenta o consumo energético anual associado à ventilação, iluminação e aos equipamentos elétricos.

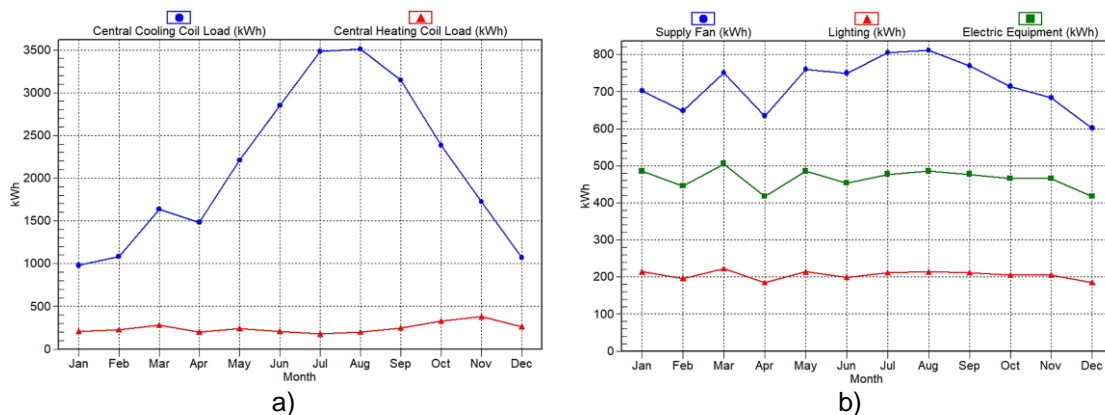


Figura 2.2 - Consumo energético anual de a) climatização e b) ventilação, iluminação e equipamentos.

2.1.2 Commercial HVAC Load Calculation

O *Commercial HVAC Load Calculation* (CHVAC) (Elite Software Development Inc, 2024) é um programa utilizado no cálculo de cargas térmicas em edifícios comerciais, com a primeira versão lançada em 1979. Inicialmente, o programa calculava a carga térmica nos espaços pelo método de carga de arrefecimento por diferença de temperatura (CLTD – *Cooling Load Temperature Difference*). A partir da sua 7ª versão, o software passou a incorporar o método das séries temporais radiativas (RTSM – *Radiant Time Series Method*), permitindo ao utilizador seleccionar o método de cálculo mais adequado às suas necessidades.

Para realizar os cálculos, o CHVAC requer que o utilizador insira diversos parâmetros relacionados ao projeto, incluindo dados meteorológicos, características dos materiais, configuração dos espaços e especificações da unidade de tratamento de ar (UTA). Os dados meteorológicos abrangem as condições de projeto no verão e no inverno, e podem ser inseridos manualmente ou selecionados a partir de uma base de dados de cidades já incluída no programa. A definição dos espaços permite especificar variáveis como a ventilação, elementos construtivos, ocupação, cargas internas provenientes de equipamentos, iluminação, bem como os parâmetros relativos à envolvente térmica do edifício.

Os resultados fornecidos pelo CHVAC podem ser apresentados em forma de tabelas ou gráficos, permitindo uma análise detalhada das cargas máximas em cada espaço ou zona do edifício. Além disso, o programa permite calcular e visualizar os processos psicrométricos relacionados ao processo de ar húmido na UTA, facilitando o dimensionamento e a análise de sistemas de climatização.

2.1.3 CYPETHERM LOADS

O Cypetherm Loads (CYPE Ingenieros S. A., 2025) é um programa desenvolvido pela Cype® destinado à análise de cargas térmicas em edifícios, baseado no método das séries temporais radiativas.

Este programa possibilita a criação do modelo térmico do edifício com base no modelo de informação do edifício (BIM – *Building Information Modelling*). Alternativamente, é possível realizar a introdução manual dos dados. Para tal, estão disponíveis bibliotecas que permitem caracterizar os diferentes elementos construtivos e térmicos, como portas, vãos envidraçados, paredes, pontes térmicas lineares, entre outros. Os dados meteorológicos necessários para os cálculos são fornecidos pela base de dados

ASHRAE Weather Data Viewer 6.0 (ASHRAE, 2017), permitindo realizar análises de cargas térmicas em edifícios localizados em diferentes regiões do mundo.

Os resultados obtidos são apresentados em forma de tabelas ou de gráficos. Os gráficos destacam-se por permitir uma análise visual e dinâmica da evolução das cargas térmicas, tanto ao longo de um ano como ao longo de um dia. Esta análise pode ser realizada por tipologia de ganho térmico (quando se estuda um espaço em específico) ou por espaço (quando se analisa uma zona composta por vários espaços). Além disso, é possível focar a análise no mês de maior carga térmica ou em qualquer outro período selecionado pelo utilizador. A Figura 2.3 apresenta a interface gráfica do programa Cypetherm Loads, onde é possível observar, à esquerda, uma árvore de projeto que lista todos os elementos incluídos no estudo. Ao centro, encontram-se as ferramentas de parametrização de um espaço específico, enquanto à direita é apresentada uma vista tridimensional (3D) do edifício em estudo, destacando visualmente o espaço parametrizado.

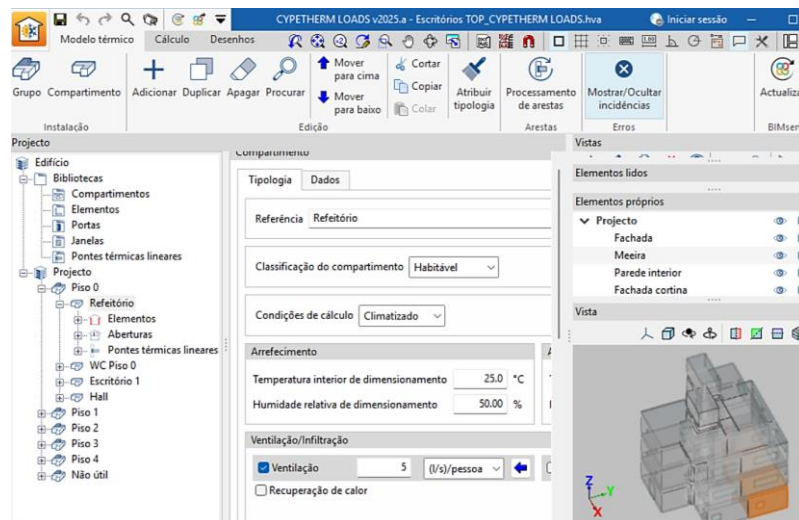


Figura 2.3 – Parametrização de um espaço no Cypetherm Loads (Top-Infomática, 2021).

Em Top-Infomática (2021), está disponível um exemplo prático de análise de cargas térmicas aplicado a um edifício de escritórios com múltiplos andares. A partir deste caso de estudo, foram gerados gráficos que ilustram a evolução anual das cargas térmicas numa zona composta por vários espaços (Figura 2.4a) e a evolução horária no mês de maior carga (Figura 2.4b). De igual modo, a Figura 2.5 apresenta a evolução anual das diferentes cargas térmicas associadas a um espaço, nomeadamente ao refeitório (Figura 2.5a) e a sua evolução horária para o mês de maior carga (Figura 2.5b). Estes gráficos oferecem uma forma simples e visual de avaliar a simultaneidade das cargas térmicas em diferentes espaços e zonas ao longo do tempo. Esta abordagem gráfica complementa a apresentação dos resultados em tabela, que se limita a representar valores de um instante específico.

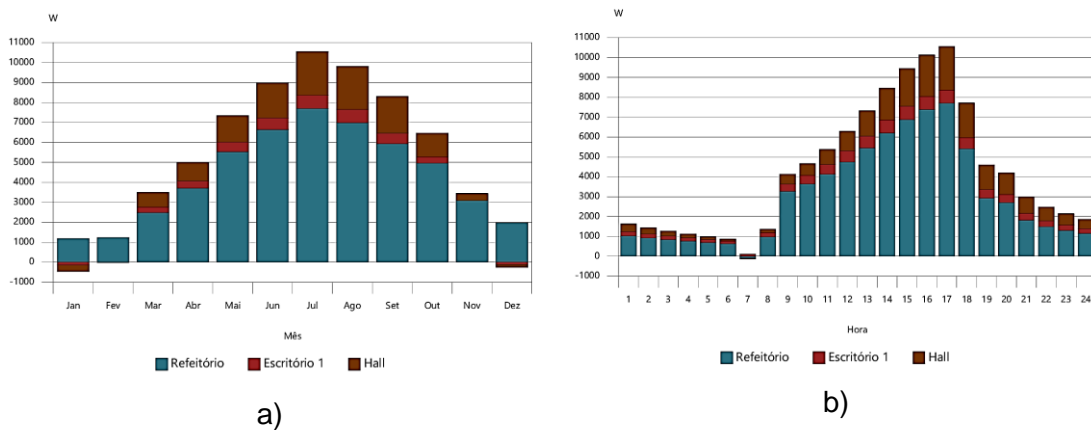


Figura 2.4 – Cargas térmicas para uma zona de vários espaços: a) durante um ano; b) no mês de maior carga (julho) obtidos a partir do Cypetherm Loads (Top-Infomática, 2021).

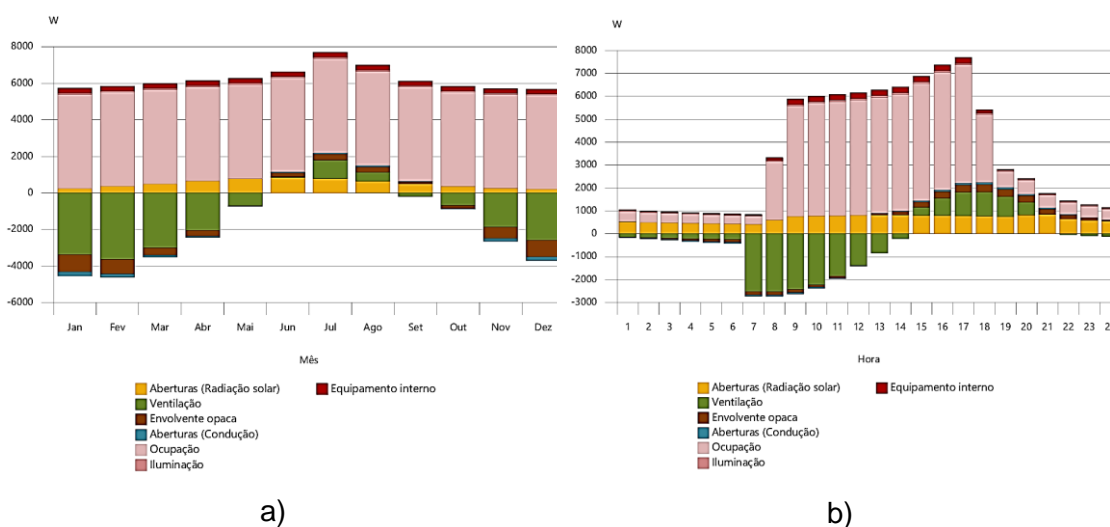


Figura 2.5 – Cargas térmicas no espaço refeitório (Figura 2.4): a) durante um ano; b) mês de maior carga (julho) obtido a partir do Cypetherm Loads (Top-Infomática, 2021).

2.1.4 SIMSCALE

O SimScale (SimScale, 2021) é uma aplicação de simulação de engenharia baseada na nuvem, lançada em 2012. Embora não seja especializada no cálculo de cargas térmicas em edifícios, esta aplicação permite a análise de diversas áreas físicas, incluindo estruturas, dinâmica de fluídos, termodinâmica e até eletromagnetismo. Sendo uma aplicação baseada na nuvem, o SimScale oferece uma grande capacidade computacional, acessível através de um navegador *web* e facilita a colaboração entre utilizadores.

O utilizador pode parametrizar a simulação numa interface gráfica, através do SimScale Workbench, ou por programação utilizando a interface de programação de aplicações (API - *Application Programming Interface*) do SimScale. O modelo CAD pode ser importado a partir de diferentes formatos de ficheiros, tais como SolidWorks, Autodesk

Inventor, REVIT, STEP, entre outros. Além disso, está disponível uma ferramenta CAD na aplicação que possibilita a modificação do modelo com operações simplificadas.

A aplicação permite realizar diferentes simulações às estruturas: análise estática, análise dinâmica e análise de frequência e vibração. O SimScale também integra requisitos regulamentares, uma ampla gama de materiais e suporte ao modelo de informação do edifício (BIM).

A componente dinâmica de fluidos computacional (CFD) do SimScale é capaz de simular uma vasta gama de problemas relacionados com a dinâmica de fluidos. Entre as opções disponíveis, destacam-se os escoamentos laminar e turbulento, fluidos incompressíveis e compressíveis, regimes estacionário e transiente, escoamento em múltiplas fases, entre outras. Esta componente pode ser utilizada no desenvolvimento de aeronaves, válvulas, condutas, propagação de fumos, projeto de salas limpas, entre outras aplicações.

A simulação termodinâmica permite simular a transmissão de calor por condução, convecção e radiação, sendo útil, por exemplo, no desenvolvimento de permutadores de calor e componentes eletrônicos. A simulação de condução pode ser aplicada a diferentes materiais e permite modelar a resistência térmica, a interface entre materiais e resistência de contacto. A simulação de transmissão de calor por convecção permite estudar convecção natural ou forçada, incluindo arrefecimento a ar ou líquido, e analisar a curva de funcionamento de ventiladores. No desenvolvimento de projetos, a radiação tem um peso significativo em altas temperaturas. Assim, é possível simular a radiação entre superfícies e também a radiação solar.

A componente de simulação para eletromagnetismo permite visualizar, analisar e otimizar sistemas eletromagnéticos, abrangendo desde máquinas elétricas até ao transporte da energia.

Em Ralin Bukreev (2023), foi analisada a redução do coeficiente de arrasto em um reboque de um atrelado, modificando a sua geometria. Para este estudo, foi utilizado o SimScale para simular o escoamento em duas dimensões em CFD, considerando um regime estacionário. O estudo revelou que a alteração da geometria resultou em uma redução de 23% no coeficiente de arrasto, o que conseqüentemente resultou em uma redução de 5% no consumo de combustível. A Figura 2.6 ilustra a energia cinética turbulenta, gerada no SimScale, mostrando que na geometria de curvatura otimizada se obteve a menor turbulência.

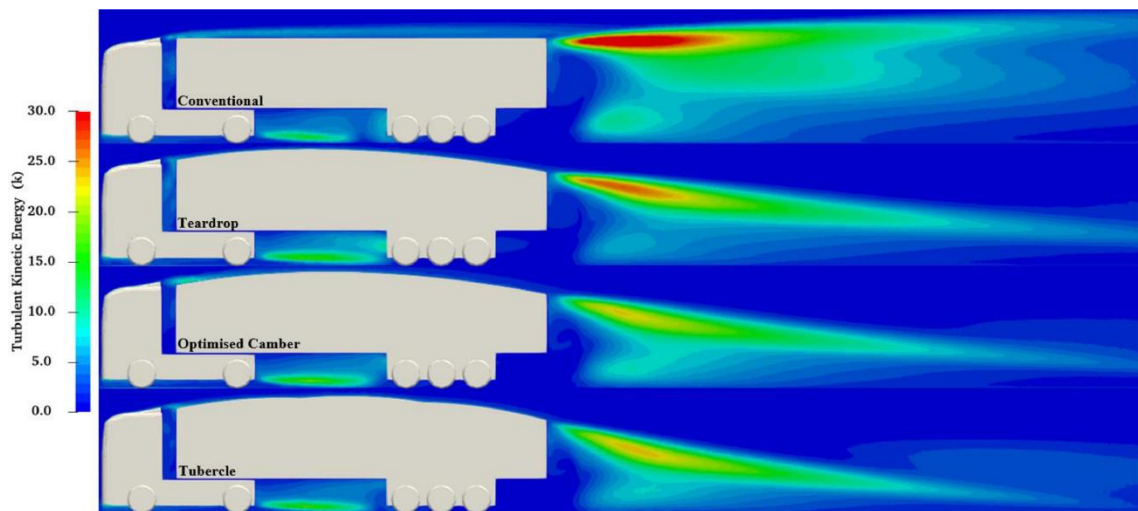


Figura 2.6 – Energia cinética turbulenta (K) para a geometria convencional, forma de lagrima, curvatura otimizada e tubérculo (Ralin Bukreev, 2023).

2.1.5 Outros

Em Gonçalves (2016), foi desenvolvida uma aplicação informática destinada ao cálculo da condução térmica em edifícios. Esta aplicação foi desenvolvida através do programa de cálculo computacional MATrix LABORatory (MATLAB®) e efetua o cálculo da condução térmica de aquecimento e arrefecimento para condições de projeto. Além disso, também calcula os coeficientes de transmissão térmica dos elementos construtivos e propriedades psicrométricas. No entanto, é importante destacar que a aplicação não contempla os ganhos térmicos devido à radiação solar.

A aplicação em questão é composta por 18 ambientes gráficos interativos e 19 funções, que permitem a criação, exportação, importação e eliminação de múltiplos projetos. A interface possibilita a manipulação da informação relacionada com os materiais de construção dos edifícios, características geográficas dos locais, vãos envidraçados, portas, elementos construtivos, horários de ocupação, iluminação e equipamentos elétricos. A aplicação dispõe de uma base de dados pré-definida com 139 materiais de construção distintos, de referência de construção nacional, organizados em 17 classes. Além disso, inclui informações sobre vãos envidraçados, fachadas, pavimentos e coberturas. Quanto aos horários de ocupação, iluminação e utilização de equipamentos elétricos, foram definidos para diversas tipologias de edifícios, tais como comercial, de restauração, de lazer, de ensino, de saúde, entre outros. Para os locais geográficos, a aplicação contém predefinições para as capitais de distrito de Portugal continental, bem como para Ponta Delgada e Funchal.

A Figura 2.7 apresenta a interface gráfica utilizada para a criação de um espaço, onde são definidas as condições interiores, os ganhos térmicos da envolvente e os ganhos térmicos internos, incluindo ocupação, equipamentos, entre outros.

Figura 2.7 – Interface gráfica para adicionar um espaço (Gonçalves, 2016).

Na secção 2.1 foi apresentada algumas das ferramentas computacionais disponíveis para cálculo das cargas térmicas. Os programas HAP, CHVAC e Cypetherm Loads foram desenvolvidos comercialmente com o intuito de calcular as cargas térmicas. Estes programas utilizam diferentes métodos de cálculo que contabilizam vários fenómenos e características das cargas térmicas, como a carga nas envolventes, no interior do edifício, além do efeito da inércia térmica do edifício e da radiação solar.

A aplicação apresentada na secção 2.1.5 foi desenvolvida em contexto académico cuja metodologia implementada permite o cálculo das cargas térmicas nas envolventes e no interior do edifício. No entanto, não contabiliza o efeito da radiação solar e da inércia térmica do edifício.

Apesar do Simscale não calcular as cargas térmicas em edifícios, permite o cálculo e simulação de vários fenómenos físicos, tais como a mecânica de fluidos, a termodinâmica, entre outros. O Simscale pode ser acedido através da internet, permitindo o uso através de dispositivos com capacidades de processamento limitada.

Assim, a aplicação a desenvolver deve considerar os vários fenómenos e características do cálculo de cargas térmicas além de ser acessível através da internet.

2.2 Cálculo de cargas térmicas

2.2.1 Método do balanço de Calor

O método de balanço de calor visa a modelação da transmissão de calor no espaço de forma mais rigorosa do que outros métodos, de acordo com Pedersen et al. (1997). Este rigor é alcançado através da resolução simultânea de quatro equações fundamentais de balanço de calor que retratam os mecanismos de transmissão de calor conforme ilustrado na Figura 2.8. Este método é utilizado, por exemplo, pelo programa Hourly Analysis Program a partir da versão 6, conforme apresentado na secção 2.1.1.

O primeiro balanço de calor considera os mecanismos de transmissão de calor na superfície exterior da envolvente, considerando transferência por convecção entre o ar exterior e a parede e o impacto da radiação solar. O segundo balanço aborda o mecanismo de condução térmica na envolvente, ou seja, o transporte de calor entre a superfície exterior e interior. O terceiro balanço refere-se à transmissão de calor na superfície interior, onde são contabilizados os fluxos de calor por condução e radiação provenientes da envolvente e a transferência por convecção com o ar do espaço interior (Spitler, 2014). Por fim, o balanço de calor no ar interior do espaço considera as contribuições de convecção provenientes da envolvente (obtidas no terceiro balanço), as cargas internas (como equipamentos, ocupação e iluminação), o calor gerado pela ventilação e a carga térmica removida ou adicionada pelo sistema de climatização.

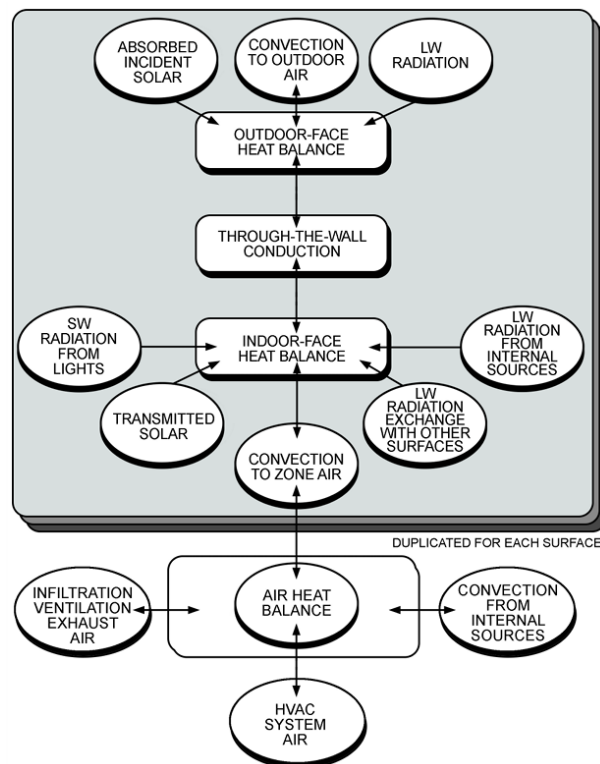


Figura 2.8 – Diagrama método de balanço de calor (ASHRAE, 2021).

Pela forma como a carga térmica é modelada, este método permite obter resultados mais precisos e detalhados, sendo especialmente indicado para estudos em que o rigor térmico é prioritário (Ahn & Haberl, 2025). No entanto, a principal limitação do método do balanço de calor reside na sua elevada exigência computacional, uma vez que a resolução simultânea das equações requer uma capacidade de processamento significativa.

2.2.2 Método das séries temporais radiativas

O método das séries temporais radiativas é derivado do método do balanço de calor, e baseia-se numa série de 24 fatores de resposta temporais para representar os ganhos térmicos ao longo do tempo. Este método é utilizado pelo programa CHVAC e Cypetherm Loads, conforme apresentado nas secções 2.1.2 e 2.1.3, respetivamente.

O cálculo inicia-se com a determinação dos ganhos térmicos de todos os elementos do edifício, incluindo a envolvente opaca, envolvente envidraçada, iluminação, equipamentos e ocupação, conforme esquematizado na Figura 2.9. Para a envolvente opaca exterior, os ganhos térmicos são calculados com base numa série de condução temporal, considerando a temperatura interior, a temperatura sol-ar, o coeficiente de transmissão térmica (U) e os ganhos de horas anteriores, multiplicados pelo fator temporal de condução (CTF). O fator temporal de condução permite modelar o atraso térmico que ocorre entre o momento em que a radiação incide na superfície exterior e o momento em que é transmitida para o interior do espaço.

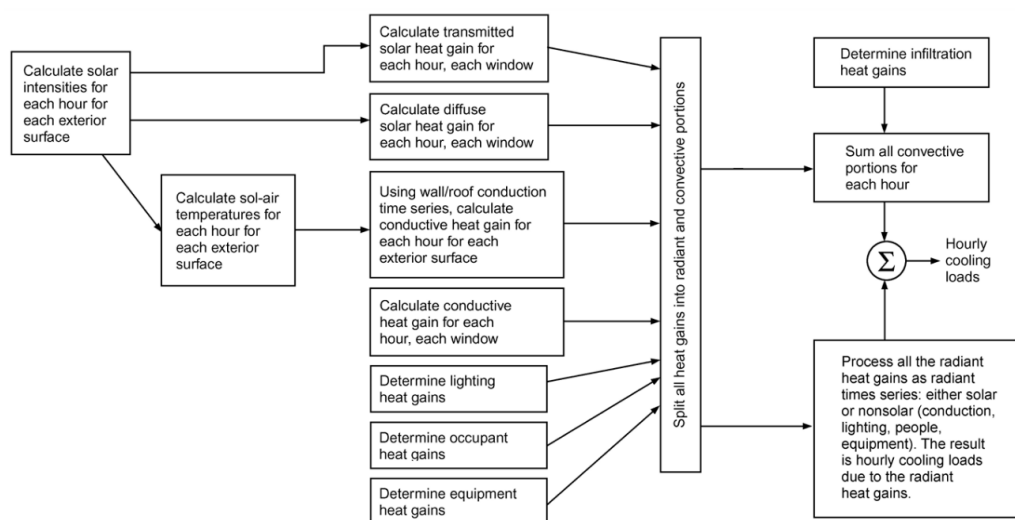


Figura 2.9 – Diagrama do método das séries temporais radiativas (ASHRAE, 2021).

Subsequentemente, as componentes radiativas e convectivas de cada ganho térmico são obtidas, utilizando frações específicas para cada tipo de transferência. A carga

radiativa num determinado instante, é calculada pela soma dos ganhos do instante atual e dos ganhos de horas anteriores, multiplicados pelos fatores temporais radiativos. Por fim, a soma das componentes radiativas e convectivas determina a carga térmica total em cada instante (Spitler, 2014).

2.2.3 Método da função de transferência

Uma função de transferência permite representar, através de um modelo matemático, a relação dinâmica que existe entre as variáveis de entrada e a saída de um sistema. No contexto do cálculo de cargas térmicas, o ganho térmico numa parede exterior num determinado instante depende da temperatura interior, da temperatura exterior e dos ganhos térmicos obtidos no instante atual e nos instantes anteriores (Mitalas, 1972).

O cálculo pelo método da função de transferência, esquematizado na Figura 2.10, envolve dois passos principais. Inicialmente, à semelhança do método das séries temporais radiativas, determinam-se os ganhos térmicos de todos os elementos: envolvente opaca, envolvente envidraçada, iluminação, equipamentos e ocupação.

Para as paredes exteriores, o cálculo é realizado utilizando funções de transferência de condução, cujos coeficientes dependem das propriedades da solução construtiva, aplicada à temperatura exterior, temperatura interior e dos ganhos obtidos em instantes anteriores. A radiação solar incidente é incluída através da temperatura sol-ar, que combina a temperatura exterior com uma componente equivalente de radiação solar.

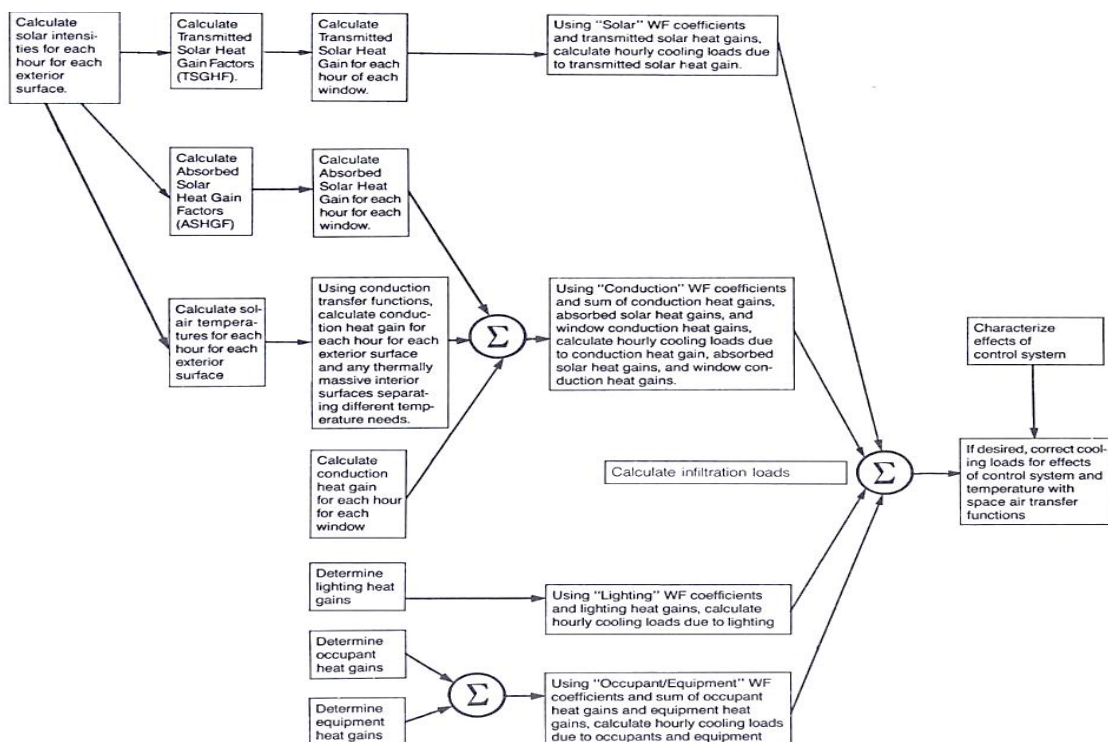


Figura 2.10 – Diagrama do método de função de transferência (McQuiston & Spitler, 1992).

Posteriormente, os ganhos térmicos são convertidos em carga térmica utilizando a função de transferência do espaço, cujos coeficientes variam com o peso da construção e a origem do respetivo ganho. Este método é utilizado pelo programa HAP até à versão 5.11, conforme apresentado na secção 2.1.1.

Nesta secção é descrito com maior detalhe o método de função de transferência por ser o método selecionado na aplicação de cálculo desenvolvida no presente trabalho, sendo a justificação dessa seleção apresentada na secção 3. O ganho térmico num determinado espaço corresponde à quantidade de calor trocado que resulta no aumento da energia térmica no interior desse espaço. O cálculo efetuado considera a origem dos ganhos, sejam internos ou externos, incluindo a envolvente opaca, envolvente envidraçada e outras fontes, como iluminação, equipamentos e ocupação.

O cálculo do ganho térmico na envolvente opaca exterior, ou seja, em paredes exteriores e coberturas, é realizado com a função de transferência de condução. Os coeficientes da função de transferência são aplicados às temperaturas interior e exterior e também ao ganho térmico, decorrido na hora atual e nas anteriores. O ganho térmico em paredes exteriores e cobertura num instante θ , $q_{e,\theta}$, é obtido utilizando a equação 2.1 (ASHRAE, 1997):

$$q_{e,\theta} = A \cdot \left[\sum_{n=0} b_n(t_{sol,\theta-n}) - \sum_{n=1} d_n \left(\frac{q_{e,\theta-n}}{A} \right) - t_{int} \sum_{n=0} c_n \right] \quad (2.1)$$

Em que:

- $q_{e,\theta}$ – ganho térmico na envolvente opaca exterior na hora θ [W];
- A – área de superfície [m²];
- $t_{sol,\theta-n}$ – temperatura exterior sol-ar na hora $\theta-n$ [°C];
- t_{int} – temperatura interior [°C];
- b_n, c_n e d_n – coeficientes da função transferência [-].

A função de transferência de condução permite modelar a resistência e a inércia térmica de uma solução construtiva. Os coeficientes necessários para esta modelação podem ser determinados através da resolução da função de transferência ou obtidos a partir de tabelas, que apresentam os coeficientes correspondentes a soluções construtivas típicas. A utilização de tabelas oferece a vantagem de simplificar o cálculo e reduzir os recursos computacionais necessários. No entanto, esta abordagem está limitada às soluções construtivas especificadas nas tabelas, restringindo a sua aplicação a casos previamente definidos.

O ganho térmico através da envolvente opaca depende do próprio ganho térmico em instantes anteriores, como evidenciado na determinação do termo $d_n \left(\frac{q_{e,\theta-n}}{A} \right)$, descrito

na equação 2.1. Para determinar este termo, é necessário calcular uma aproximação inicial para as primeiras 24 h, assumindo ganhos térmicos nulos em horas anteriores. O processo de cálculo é iterado até se obter convergência, utilizando a média dos ganhos térmicos de cada iteração (equação 2.2) como critério de convergência.

$$q_{iter} = \left(\sum_{\theta=0}^{23} q_{\theta} \right) / 24 \quad (2.2)$$

Em que:

- q_{iter} – ganho térmico médio da iteração atual [W];
- q_{θ} – ganho térmico da hora θ [W].

O processo iterativo é concluído quando o erro relativo entre a média da iteração atual e a média da iteração anterior for inferior ao limite de convergência previamente definido, conforme descrito na equação 2.3. Este critério garante a obtenção de uma solução dentro de um nível de precisão aceitável. No entanto, para evitar ciclos infinitos ou elevada exigência computacional em casos de não convergência, deve ser estabelecido um limite máximo de iterações como critério alternativo de paragem. Neste trabalho considerou-se um limite máximo de 1000 iterações.

$$\frac{|q_{iter} - q_{iter-1}|}{|q_{iter}|} < limit_{converg} \vee n_{iter} \geq limit_{iter} \quad (2.3)$$

Em que:

- q_{iter} – ganho térmico médio da iteração atual [W];
- q_{iter-1} – ganho térmico médio da iteração anterior [W];
- $limit_{converg}$ – limite de convergência [-];
- n_{iter} – número de iterações [-];
- $limit_{iter}$ – limite de iterações [-].

A temperatura sol-ar, t_{sol} , é definida como a temperatura exterior equivalente que, ao considerar apenas os fenómenos de condução e convecção, resulta na mesma quantidade de calor transferido através de um elemento construtivo que ocorreria ao se incluir também a radiação solar incidente. Assim, t_{sol} representa um valor de temperatura equivalente da superfície exterior que inclui a temperatura do ar exterior e o efeito da radiação solar, calculada de acordo com a equação 2.4 (ASHRAE, 1997).

$$t_{sol} = t_{ext} + \frac{\alpha I_T}{h_0} - \varepsilon \frac{\Delta R}{h_0} \quad (2.4)$$

Onde:

- t_{sol} – temperatura sol-ar [°C];

- t_{ext} – temperatura exterior [°C];
- α – absorptividade da superfície exterior [-];
- I_T – irradiância total [W/m²];
- h_o – coeficiente de convecção na superfície exterior [W/m²k];
- ε – emissividade hemisférica da superfície [-];
- ΔR – diferença entre a radiação de grande comprimento de onda refletida pela atmosfera e vizinhança que incide na superfície e a radiação emitida pelo corpo negro à temperatura exterior [W/m²].

De acordo com ASHRAE (1997), utiliza-se um valor de absorptividade, α , de 0,45 para superfícies claras e de 0,90 para superfícies escuras ou na ausência de informação. Para o coeficiente de convecção na superfície exterior, h_o , considera-se um valor de 17 W/(m².K), enquanto a emissividade hemisférica, ε , é assumida como 1. Utiliza-se uma diferença entre a radiação refletida que incide na superfície e a radiação emitida pelo corpo negro, ΔR , nas superfícies horizontais de 63 W/m², sendo nula (0 W/m²) nas superfícies verticais. O cálculo detalhado da radiação solar total incidente, I_T , encontra-se descrito na secção 2.3.

Os vãos envidraçados desempenham um papel crucial no balanço térmico de um edifício porque permitem a transmissão direta da radiação solar, influenciando significativamente a carga térmica. O ganho térmico associado aos vãos é composto por uma componente condutiva, que se deve à diferença térmica entre o exterior e interior, e por uma componente radiativa, que se deve à radiação solar. A componente condutiva, $q_{envidraçado,c}$, é calculada com base na equação 2.5 (ASHRAE, 1997).

$$q_{envidraçado,c} = U \cdot A \cdot (t_{ext} - t_{int}) \quad (2.5)$$

Onde:

- $q_{envidraçado,c}$ – ganho térmico de condução do vão envidraçado [W];
- U – coeficiente de transmissão térmica [W/(m².K)];
- A – área de superfície [m²];
- t_{ext} – temperatura exterior [°C];
- t_{int} – temperatura do espaço [°C].

A componente radiativa da envolvente envidraçada, $q_{envidraçado,r}$, é obtida utilizando a equação 2.6 (ASHRAE, 1997).

$$q_{envidraçado,r} = A \cdot SHGF \cdot SC \quad (2.6)$$

Onde:

- $q_{envidraçado,r}$ – ganho térmico de radiação do vão envidraçado [W];

A	– área de superfície [m ²];
$SHGF$	– fator de ganho térmico solar [W/m ²];
SC	– fator de sombreamento [-].

O fator de sombreamento (SC , *shading coefficient*) é uma propriedade característica do vão envidraçado que representa a fração de energia solar transmitida para o interior do edifício em relação a um vidro de referência padrão. Este valor pode ser fornecido pelo fabricante ou determinado pelo utilizador, tendo em conta as suas características. O fator de ganho térmico solar depende da radiação solar incidente no vão, cujo método de cálculo é apresentado na secção 2.3.

Os ganhos térmicos provenientes de paredes interiores, tetos e pavimentos resultam principalmente da condução térmica entre zonas adjacentes. Este processo é modelado pela equação 2.7 (ASHRAE, 1997), que considera as diferenças de temperatura entre superfícies em contacto e as propriedades térmicas das soluções construtivas adotadas.

$$q_{p,interior} = U \cdot A \cdot (t_{adj} - t_{int}) \quad (2.7)$$

Onde:

$q_{p,interior}$	– ganho térmico na envolvente opaca interior [W];
U	– coeficiente de transmissão térmica [W/ (m ² ·K)];
A	– área de superfície [m ²];
t_{int}	– temperatura do espaço em estudo [°C];
t_{adj}	– temperatura do espaço em contacto com a parede ou teto [°C].

De acordo com a Direção-Geral de Energia e Geologia (Direção-Geral de Energia e Geologia, 2021), o coeficiente de transmissão térmica na envolvente opaca de um edifício é determinado pelo inverso da resistência térmica total da solução construtiva, conforme apresentado na equação 2.8.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (2.8)$$

Em que:

U	– coeficiente de transmissão térmica [W/ (m ² ·K)];
R_T	– resistência térmica total da solução construtiva [(m ² ·K)/W].

Neste contexto, a resistência térmica total da solução construtiva tem em consideração a resistência térmica individual de cada camada, representado a resistência de condução, e a resistência térmica da superfície interior e exterior, representado a resistência de convecção, conforme apresentado na secção 1.1. A resistência total é calculada utilizando a equação 2.9 (Direção-Geral de Energia e Geologia, 2021).

$$R_T = \sum_j R_j + R_{si} + R_{se} \quad (2.9)$$

Em que:

- R_T – resistência térmica total da solução construtiva [(m²·K)/W];
- R_j – resistência térmica de cada camada [(m²·K)/W];
- R_{si} – resistência térmica da superfície interior [(m²·K)/W];
- R_{se} – resistência térmica da superfície exterior [(m²·K)/W].

A resistência térmica de uma camada de um material homogêneo é obtida a partir da equação 2.10 (Direção-Geral de Energia e Geologia, 2021).

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j} \quad (2.10)$$

Em que:

- R_j – resistência térmica da camada j [(m² ·°C)/W];
- e_j – espessura da camada j [m];
- λ_j – condutibilidade térmica da camada j [W/(m·K)].

O ganho térmico devido aos ocupantes é composto por duas componentes principais: o calor sensível e o calor latente. O calor sensível é responsável pela variação de temperatura do espaço, enquanto o calor latente está relacionado com a variação do teor de humidade do espaço. As equações 2.11 e 2.12 (ASHRAE, 1997) apresentam, respetivamente, o cálculo do ganho sensível total, $q_{ocupação,s}$, e o ganho latente total, $q_{ocupação,l}$. Estes ganhos são determinados com base nos valores de ganho sensível e latente por ocupante e no número de ocupantes presentes no espaço.

Os ganhos térmicos por ocupante dependem diretamente do tipo de atividade que os mesmos desempenham dentro do espaço, estando os valores recomendados para diferentes atividades publicados no manual *ASHRAE Handbook: Fundamentals* (ASHRAE, 1997), sendo classificados de acordo com a intensidade de atividade física e a produção metabólica associada. Por exemplo, atividades sedentárias, como permanecer sentado, apresentam menores ganhos térmicos em comparação com atividades físicas intensas.

O número de ocupantes no espaço é calculado com base no número máximo de ocupantes previstos para o local, considerando ainda os horários de ocupação estipulados. Estes horários devem ser definidos em função do tipo de edifício ou espaço em análise, sendo essenciais para a previsão dos picos de carga térmica associados à ocupação.

$$q_{ocupação,s} = N_{ocup} \cdot q_{pessoa,s} \quad (2.11)$$

$$q_{ocupação,l} = N_{ocup} \cdot q_{pessoa,l} \quad (2.12)$$

Onde:

- $q_{ocupação,s}$ – ganho térmico sensível de ocupação [W];
- $q_{ocupação,l}$ – ganho térmico latente de ocupação [W];
- N_{ocup} – número de ocupantes [ocup];
- $q_{pessoa,s}$ – ganho sensível por ocupante [W/ocup];
- $q_{pessoa,l}$ – ganho latente por ocupante [W/ocup].

O ganho térmico associado à iluminação, $q_{iluminação}$, deve-se, essencialmente, ao elemento emissor de luz, ou seja, às lâmpadas. Contudo, é igualmente relevante considerar o impacto de equipamentos adicionais indispensáveis ao funcionamento do sistema de iluminação, tais como balastro, transformador, entre outros. Estes equipamentos dependem da tecnologia de iluminação instalada (e.g., fluorescentes, LED, halogéneo). A eficiência energética e as características específicas desses componentes influenciam diretamente a magnitude do ganho térmico gerado.

Além disso, o horário de utilização da iluminação desempenha um papel crucial no cálculo do ganho térmico, uma vez que a carga térmica associada à iluminação está diretamente relacionada ao período de operação das fontes de luz. A determinação do ganho térmico de iluminação é realizada pela equação 2.13 (ASHRAE, 1997):

$$q_{iluminação} = W_{lamp} \cdot F_{ul} \cdot F_{sa} \quad (2.13)$$

Onde:

- $q_{iluminação}$ – Ganho térmico de iluminação [W];
- W_{lamp} – Potência das lâmpadas [W];
- F_{ul} – Fator de utilização [-].
- F_{sa} – Fator de equipamentos adicionais [-];

O ganho térmico proveniente de equipamentos pode ser determinado com base na sua potência nominal de serviço (elétrica, mecânica, etc.). Quando se dispõe da componente térmica do equipamento, deve-se utilizar esse valor na forma de fator de carga, como se apresenta na equação 2.14. O fator de carga considera a fração da potência nominal que é efetivamente convertida em calor durante a operação do equipamento, permitindo maior precisão no cálculo das cargas térmicas. De forma semelhante ao cálculo dos ganhos térmicos associados à ocupação e iluminação, a potência nominal do equipamento deve ser ajustada para refletir o horário de funcionamento.

$$q_{equipamentos} = W_{equipamento} \cdot F_{carga} \quad (2.14)$$

Onde:

- $Q_{equipamentos}$ – ganho térmico de equipamentos [W];
- $W_{equipamentos}$ – potência do equipamento [W];
- F_{carga} – fator de carga [-].

Após a obtenção de todos os ganhos térmicos, procede-se à conversão desses ganhos em carga térmica. Os ganhos térmicos correspondem ao calor introduzido num espaço, proveniente de fontes externas ou internas, num determinado instante. Por outro lado, a carga térmica representa a quantidade de calor que deve ser retirada ou adicionada por um sistema de climatização para manter a temperatura do espaço constante e dentro das condições definidas.

A diferença entre o ganho térmico e a carga térmica está relacionada ao efeito de acumulação térmica. O calor introduzido ao espaço resulta num ganho térmico, que pode ser decomposto em duas componentes: convectiva e radiativa. A componente convectiva é uma carga térmica imediata, afetando diretamente o calor a ser retirado do espaço. A componente radiativa é absorvida pelas superfícies da envolvente e pelos objetos. Por isso, só é considerada como carga térmica quando houver transmissão desse calor para o espaço. Assim, a carga térmica de um espaço depende não apenas da proporção de calor convectivo e radiativo, mas também das características dos elementos construtivos, como a capacidade de acumulação térmica. A Figura 2.11 ilustra esse fenómeno, destacando a interação entre os diferentes tipos de calor e os elementos do ambiente.

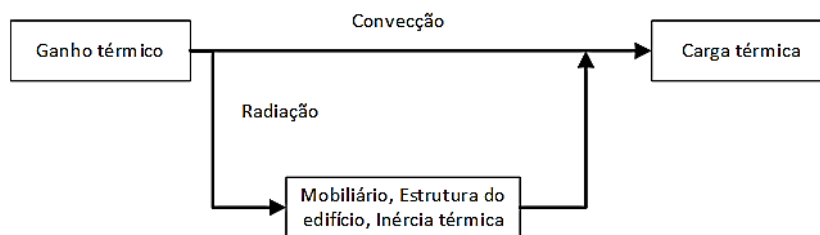


Figura 2.11 – Representação do ganho térmico e da carga térmica considerando fenómenos de convecção e radiação (adaptado de ASHRAE (1997)).

A carga térmica é calculada utilizando a equação 2.15 (ASHRAE, 1997), em que os coeficientes v_n e w_n são coeficientes da função de transferência e dependem da origem do ganho térmico e do peso de construção. Estes coeficientes podem ser obtidos em tabelas publicadas em *ASHRAE Handbook: Fundamentals* (ASHRAE, 1997), através do conhecimento do peso de construção. O processo de cálculo inicia-se com uma aproximação inicial seguida de um procedimento iterativo, aplicando o mesmo critério de convergência e de paragem utilizados no cálculo do ganho térmico através da

envolvente opaca exterior (equações 2.2 e 2.3), isto é, o processo termina se o erro entre a média da iteração atual e da anterior for inferior ao limite de convergência ou se exceder o limite de 1000 iterações.

$$Q_{\theta} = \sum_{n=0} v_n q_{\theta-n} - \sum_{n=1} w_n Q_{\theta-n} \quad (2.15)$$

Onde:

- Q_{θ} – carga térmica na hora θ [W];
- v_n – coeficientes da função transferência da origem do ganho [-];
- w_n – coeficientes da função transferência do tipo de construção [-];
- $q_{\theta-n}$ – ganho térmico em n horas anteriores [W];
- $Q_{\theta-n}$ – carga térmica em n horas anteriores [W].

A consulta da tabela em ASHRAE (1997) onde se obtém os coeficientes da função de transferência consoante a origem do ganho, v_n , revela algumas particularidades na seleção destes coeficientes para a iluminação, equipamentos e ocupação. Os coeficientes atribuídos para iluminação variam consoante o respetivo método de instalação, podendo ser: não encastrada, encastrada sem ventilação e encastrada com ventilação entre o teto falso e a laje.

A carga térmica devido aos equipamentos e à ocupação é calculada separadamente considerando ganhos convectivos e radiativos. Conforme ilustrado na Figura 2.11, o ganho convectivo resulta numa carga térmica imediata, enquanto o ganho radiativo é convertido em carga térmica utilizando a função de transferência. Em ASHRAE (2021), define-se uma fração convectiva de 0,4 para a ocupação e entre 0,2 e 0,9 para os equipamentos, tendo-se selecionado neste trabalho uma fração convectiva de 0,75.

2.3 Cálculo da radiação solar incidente

A radiação solar é a energia emitida pelo sol sob a forma de ondas eletromagnéticas. Ao incidir numa superfície, essa energia é absorvida pela envolvente opaca, contribuindo para o aquecimento das suas superfícies, sendo transmitida para o interior do espaço. No caso de vãos envidraçados, a radiação solar é transmitida para o interior do espaço, resultando num ganho térmico para o espaço. Este ganho térmico depende da quantidade de radiação solar transmitida, da área e da orientação dos vãos envidraçados, assim como das propriedades óticas do vidro utilizado.

Nesta secção, descreve-se o modelo utilizado para calcular a radiação solar incidente sobre as superfícies, fundamental para a determinação da temperatura sol-ar (equação 2.4) e o fator de ganho térmico solar em vãos envidraçados (equação 2.6).

O efeito da radiação depende de três fatores principais: a posição do sol, a intensidade da radiação e as características das superfícies expostas a essa radiação. A posição do sol e a intensidade da radiação variam ao longo do dia e ao longo do ano, dependendo também da localização geográfica do edifício em análise.

A primeira etapa do cálculo consiste em converter a hora local na hora solar. A hora solar é baseada no movimento angular aparente do sol no céu, onde o meio-dia é o momento que o sol cruza o meridiano (Duffie & Beckman, 2013). Assim, a hora solar é calculada pela equação 2.16 (Goswami, 2015).

$$h_{solar} = h_{local} + (ET + 4 \cdot (l_{st} - l_{local})) \cdot \frac{1}{60} \quad (2.16)$$

Em que:

- h_{solar} – hora solar [h];
- h_{local} – hora local [h];
- ET – equação do tempo [min];
- l_{st} – longitude da hora local [°];
- l_{local} – longitude do local [°].

A equação do tempo, ET , estabelece a relação entre a hora solar média e a hora solar aparente. A hora solar média é definida considerando que a órbita da Terra em torno do Sol ocorre em movimento circular uniforme. Por outro lado, a hora solar aparente considera uma órbita terrestre elíptica, resultando num movimento não uniforme (Müller, 1995). A ET é obtida por meio das equações 2.17 e 2.18 (Goswami, 2015).

$$ET = 9,87 \cdot \sin(2B) - 7,53 \cdot \cos B - 1,5 \cdot \sin B \quad (2.17)$$

$$B = \frac{360}{364} (n_{dias} - 81) \quad (2.18)$$

Em que:

- ET – equação do tempo [min];
- n_{dias} – número de dias desde o início do ano [dias].

A longitude da hora local, l_{st} , é determinada com base na diferença entre a hora local e a hora do Meridiano de Greenwich, ΔT_{GMT} . Um dia equivale a uma rotação de 360° em 24 h, ou seja, a cada hora há uma rotação de 15°. Deste modo, a longitude da hora local, l_{st} , é determinada por aplicação da equação 2.19 (ASHRAE, 1997). Em ASHRAE (1997) e Goswami (2015), adota-se a convenção de que valores positivos de longitude indicam localizações a oeste do Meridiano de Greenwich.

$$l_{st} = \Delta T_{GMT} \cdot 15^\circ \quad (2.19)$$

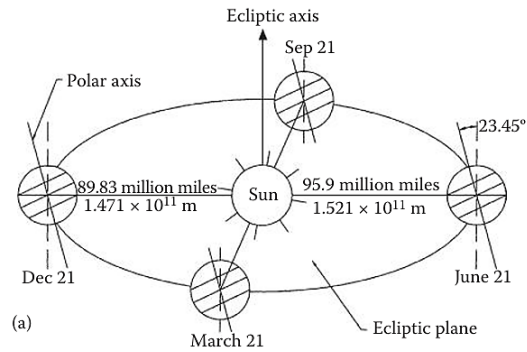


Figura 2.13 – Movimento da Terra em torno do sol (Goswami, 2015).

A declinação solar pode ser obtida em tabelas, por exemplo em ASHRAE (1997) ou calculada através da equação 2.21 (Goswami, 2015).

$$\delta_{solar} = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (284 + n_{dias})\right) \quad (2.21)$$

Onde:

δ_{solar} – declinação solar [°];

n_{dias} – número de dias desde o início do ano [dias].

O ângulo de altitude solar, Alt_{sl} , é o ângulo entre os raios solares e o plano horizontal, calculado pela equação 2.22 (ASHRAE, 1997).

$$\sin Alt_{sl} = \cos Lat \cdot \cos \delta_{solar} \cdot \cos h_{ang} + \sin Lat \cdot \sin \delta_{solar} \quad (2.22)$$

Em que:

Alt_{sl} – ângulo de altitude solar [°];

Lat – latitude [°];

δ_{solar} – declinação solar [°];

h_{ang} – ângulo de hora solar [°].

O ângulo de azimute solar é o ângulo entre a projeção horizontal do raio solar e a direção sul, onde se considera positivo a oeste e negativo a este, conforme ilustrado na Figura 2.12. Este ângulo, Az_{sl} , é calculado utilizando as equações 2.23 e 2.24 (Duffie & Beckman, 2013).

$$\cos Az_{sl} = \frac{\sin Alt_{sl} \cdot \sin Lat - \sin \delta_{solar}}{\cos Alt_{sl} \cdot \cos Lat} \quad (2.23)$$

$$Az_{sl} = \begin{cases} 1 \cdot \arccos(\cos Az_{sl}), & h_{ang} \geq 0 \\ -1 \cdot \arccos(\cos Az_{sl}), & h_{ang} < 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

Onde:

Az_{sl} – ângulo de azimute solar [°];

h_{ang} – ângulo da hora solar [°];

- Alt_{sl} – ângulo de altitude solar [°];
- Lat – latitude [°];
- δ_{solar} – declinação solar [°].

O ângulo de incidência, θ , é o ângulo entre a direção dos raios solares e a normal da superfície em estudo, como ilustrado na Figura 2.12, e é calculado através da equação 2.25 (ASHRAE, 1997).

$$\cos \theta = \cos Alt_{sl} \cdot \cos Az_{sl-sp} \cdot \sin Incl_{sp} + \sin Alt_{sl} \cdot \cos Incl_{sp} \quad (2.25)$$

Em que:

- θ – ângulo de incidência [°];
- Alt_{sl} – ângulo de altitude solar [°];
- Az_{sl-sp} – ângulo de azimute solar-superfície [°];
- $Incl_{sp}$ – ângulo de inclinação da superfície [°].

O ângulo de azimute solar-superfície, Az_{sl-sp} , é definido como o ângulo formado entre o azimute solar e o azimute da superfície, ou seja, é a diferença angular que representa a orientação relativa da superfície em relação à posição do Sol. Este parâmetro é fundamental para o cálculo da radiação solar incidente sobre superfícies inclinadas, sendo amplamente utilizado em estudos de desempenho energético e térmico de edifícios. O cálculo deste ângulo é realizado através a equação 2.26 (ASHRAE, 1997).

$$Az_{sl-sp} = Az_{sl} - Az_{sp} \quad (2.26)$$

Onde:

- Az_{sl-sp} – ângulo de azimute solar-superfície [°];
- Az_{sp} – ângulo de azimute solar [°];
- sp_{az} – ângulo de azimute de superfície [°].

A irradiância incidente numa superfície exterior é composta por três componentes principais: direta, difusa e refletida. A irradiância direta é a radiação solar que atravessa a atmosfera e atinge a superfície sem sofrer qualquer dispersão na sua trajetória, apresentando raios paralelos à direção do sol. Por outro lado, a irradiância difusa resulta da dispersão da radiação solar causada pelos gases e partículas presentes na atmosfera. Esta dispersão faz com que os raios incidam na superfície de forma aleatória, em várias direções. A irradiância refletida corresponde à radiação solar que atinge superfícies ao redor e é posteriormente refletida em direção à superfície em estudo. A Figura 2.14 ilustra as três componentes de irradiância que incidem sobre um painel fotovoltaico, utilizado como superfície de estudo.

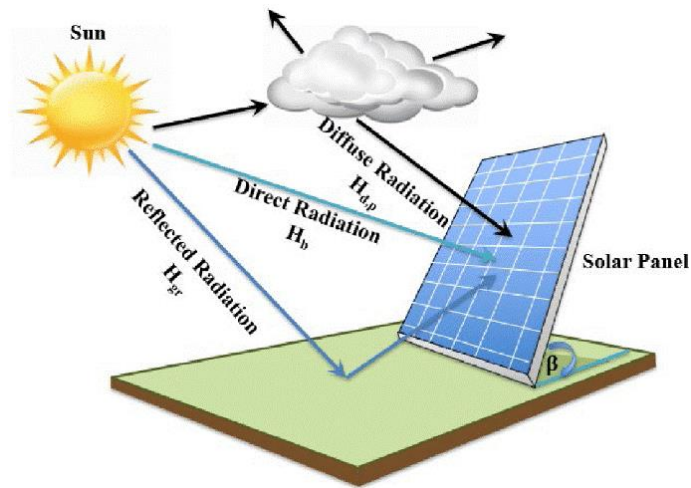


Figura 2.14 – Radiação direta, difusa e refletida num painel fotovoltaico (Ourraoui & Ahaitouf, 2022).

A soma das três componentes resulta na irradiância total incidente sobre a superfície, conforme expressa na equação 2.27. Esta irradiância total é uma grandeza fundamental no cálculo da temperatura sol-ar (equação 2.4). A temperatura sol-ar é um parâmetro crítico para avaliar o desempenho térmico e energético de superfícies expostas à radiação solar.

$$I_T = I_D + I_{ds} + I_{dg} \quad (2.27)$$

Onde:

- I_T – irradiância total [W/m²];
- I_D – irradiância direta [W/m²];
- I_{ds} – irradiância difusa [W/m²];
- I_{dg} – irradiância refletida [W/m²].

A irradiância direta normal, I_{DN} , corresponde à radiação solar incidente por unidade de área numa superfície que é perpendicular à direção dos raios solares e é calculada através da equação 2.28 (ASHRAE, 1997).

$$I_{DN} = A_{sl} \cdot e^{\frac{-B}{\sin Alt_{sl}}} \quad (2.28)$$

Em que:

- I_{DN} – irradiância direta normal [W/m²];
- A_{sl} – constante solar aparente [W/m²];
- B – coeficiente extinção atmosférica [-];
- Alt_{sl} – ângulo de altitude solar [°].

Além disso, a equação é válida apenas para valores de $Alt_{sl} > 0$. Caso contrário, a irradiância é considerada nula. A constante solar aparente, A_{sl} , e o coeficiente de extinção atmosférica, B , apresentam variações ao longo do ano e são obtidos a partir do manual *ASHRAE Handbook: Fundamentals* (ASHRAE, 1997), que fornece os parâmetros necessários para o cálculo da irradiância solar.

A irradiância direta incidente numa superfície não perpendicular aos raios solares é calculada utilizando a equação 2.29 (ASHRAE, 1997). Para este cálculo, a irradiância é considerada nula caso o ângulo de incidência, definido como o ângulo entre a normal à superfície e a direção dos raios solares, seja superior a 90° ou inferior que -90° . Este critério assegura que a irradiância só seja calculada para ângulos de incidência válidos, ou seja, para situações em que a superfície esteja efetivamente exposta à radiação solar direta.

$$I_D = \begin{cases} I_{DN} \cdot \cos \theta, & \cos \theta > 0 \\ 0, & \cos \theta \leq 0 \end{cases} \quad (2.29)$$

Em que:

- I_D – irradiância direta [W/m^2];
- I_{DN} – irradiância direta normal [W/m^2];
- θ – ângulo de incidência [$^\circ$].

A irradiância difusa, I_{ds} , é determinada por meio da aplicação da equação 2.30 (ASHRAE, 1997), que descreve a distribuição da radiação solar difusa em função de diversos parâmetros atmosféricos e geográficos.

$$I_{ds} = \begin{cases} C \cdot Y \cdot I_{DN}, & Incl_{sp} = 90^\circ \\ C \cdot I_{DN} \cdot \frac{1 + \cos Incl_{sp}}{2}, & Incl_{sp} \neq 90^\circ \end{cases} \quad (2.30)$$

Em que:

- I_{ds} – irradiância difusa [W/m^2];
- I_{DN} – irradiância direta normal [W/m^2];
- C – fator de difusão atmosférica [-];
- Y – razão entre a radiação difusa em superfície vertical e horizontal [-];
- $Incl_{sp}$ – ângulo de inclinação da superfície [$^\circ$].

O fator de difusão atmosférica, C , é determinado com base nas diretrizes fornecidas no manual *ASHRAE Handbook: Fundamentals* (ASHRAE, 1997). A equação 2.31 (ASHRAE, 1997) permite calcular a razão entre a radiação difusa sobre uma superfície vertical e horizontal, Y . Esta relação é essencial para a caracterização da distribuição da radiação solar nas diversas orientações de um edifício.

$$Y = \begin{cases} 0,55 + 0,437 \cdot \cos \theta + 0,313 \cdot \cos^2 \theta, & \cos \theta > -0,2 \\ 0,45, & \cos \theta \leq -0,2 \end{cases} \quad (2.31)$$

Em que:

- Y – razão entre a radiação difusa em superfície vertical e horizontal [-];
 θ – ângulo de incidência [°].

A irradiância refletida pelo solo, I_{dg} , é obtida utilizando a equação 2.32 (ASHRAE, 1997).

$$I_{dg} = I_{DN} \cdot (C + \sin Alt_{sl}) \cdot \rho_g \left(\frac{1 - \cos Incl_{sp}}{2} \right) \quad (2.32)$$

Em que:

- I_{dg} – irradiância refletida pelo solo [W/m²];
 I_{DN} – irradiância direta normal [W/m²];
 C – fator de difusão atmosférica [-];
 Alt_{sl} – ângulo de altitude solar [°];
 ρ_g – refletância do solo [-];
 $Incl_{sp}$ – Ângulo de inclinação da superfície [°].

O fator de ganho térmico solar, $SHGF$, é definido como a fração da irradiância total, I_T , que é transmitida diretamente para o interior do espaço, I_{trans} , ou absorvida pelo vidro, I_{abs} . Da irradiância absorvida pelo vidro, apenas uma parte, N_i , é transmitida para o espaço interior. Este fator é utilizado no cálculo do ganho térmico proveniente da radiação nos vãos envidraçados é calculado através da equação 2.33 (ASHRAE, 1997).

$$SHGF = I_{trans} + N_i \cdot I_{abs} \quad (2.33)$$

Em que:

- $SHGF$ – fator de ganho térmico solar [W/m²];
 I_{trans} – irradiância transmitida [W/m²];
 N_i – fração do calor absorvido em direção ao interior do espaço [-];
 I_{abs} – irradiância absorvida [W/m²].

A fração do calor absorvido em direção ao interior do espaço, N_i , está diretamente relacionada com o tipo de vidro utilizado, que, na ausência de informação, pode ser utilizado o valor do vidro de referência apresentado em ASHRAE (1997) de 0,267. A irradiância transmitida e absorvida pelo vidro são calculadas utilizando as equações 2.34 e 2.35 (ASHRAE, 1997), respectivamente.

$$I_{trans} = I_D \sum_{j=0}^5 (t_j \cdot \cos^j \theta) + 2 \cdot I_d \sum_{j=0}^5 \left(\frac{t_j}{j+2} \right) \quad (2.34)$$

$$I_{abs} = I_D \sum_{j=0}^5 (a_j \cdot \cos^j \theta) + 2 \cdot I_d \cdot \sum_{j=0}^5 \left(\frac{a_j}{j+2} \right) \quad (2.35)$$

Em que:

- I_{trans} – irradiância transmitida [W/m²];
- I_{abs} – irradiância absorvida [W/m²];
- I_D – irradiância direta [W/m²];
- I_d – soma da irradiância difusa e refletida [W/m²];
- t_j – coeficientes de transmissão para o vidro [-];
- a_j – coeficientes de absorção para o vidro [-];
- θ – ângulo de incidência [°].

Os coeficientes de transmissão térmica, t_j , e de absorção térmica, a_j , são parâmetros que dependem do tipo de vidro utilizado. Os valores desses coeficientes para o vidro de referência constam no manual da ASHRAE (1997).

3 Desenvolvimento da aplicação web

O presente capítulo tem como objetivo descrever a metodologia adotada no desenvolvimento da aplicação destinada ao cálculo de cargas térmicas em edifícios. O desenvolvimento foi concebido de forma a criar uma aplicação acessível pela internet, permitindo o acesso simultâneo por múltiplos utilizadores. A acessibilidade e a facilidade de utilização foram, portanto, fatores determinantes no design e na arquitetura da solução, orientando a escolha de tecnologias e estratégias de implementação. Para tal, é projetada uma arquitetura que integra uma base de dados para armazenamento de informações sobre edifícios, materiais e condições climáticas. Paralelamente, é desenvolvida a interface web, que permite a introdução dos dados, a visualização de resultados e a geração de relatório de forma intuitiva.

O modelo implementado para o cálculo das cargas térmicas recorre ao método da função de transferência. Embora o método de balanço de calor seja, teoricamente, mais preciso que o método da função de transferência ou o método das séries temporais radiativas, este é mais exigente do ponto de vista computacional, resultando em tempos de cálculo significativamente mais elevados. Considerando que o objetivo deste trabalho é desenvolver uma aplicação acessível pela internet, capaz de atender a múltiplos utilizadores em simultâneo, é um aspeto a ter em consideração na escolha do método a utilizar. Assim, a escolha do método da função de transferência, embora menos preciso em termos absolutos, foi priorizada devido à sua eficiência computacional.

Por outro lado, tanto o método de séries temporais radiativas quanto o método da função de transferência possuem uma estrutura de cálculo semelhante (Spitler & Fisher, 1999). No método da função de transferência, são utilizados coeficientes específicos para a condução térmica e para o espaço, enquanto no método das séries temporais radiativas são utilizados fatores temporais de condução e de radiação. Em ASHRAE (1997), são tabelados os coeficientes da função de transferência de condução de 42 tipos de coberturas e 41 tipos de paredes, além de fornecer coeficientes de função de transferência do espaço. No caso do método das séries temporais radiativas, estão

publicados no manual *Load Calculation Applications Manual* (Spitler, 2014) fatores temporais de condução para 35 paredes e 19 tipos de coberturas.

Desta forma, a implementação da metodologia da função de transferência, além de permitir uma maior diversidade de análise no cálculo das cargas térmicas em comparação com o método das séries radiativas, oferece uma solução menos exigente do ponto de vista computacional, comparativamente ao método de balanço de calor.

Dessa forma, todas as componentes desta aplicação devem refletir as exigências e particularidades do método da função de transferência, garantindo, assim, uma aplicação mais eficiente e acessível, sem comprometer a qualidade do cálculo das cargas térmicas.

3.1 Arquitetura do sistema

O primeiro passo no desenvolvimento da aplicação é a definição da sua arquitetura. A arquitetura de uma aplicação descreve os componentes do sistema e como se relacionam entre si.

Uma aplicação *web* assenta tipicamente numa arquitetura cliente-servidor, que consiste num conjunto de programas a serem executados numa rede de sistemas e que comunicam entre si através de protocolos de comunicação (Shklar & Rosen, 2003). Nesta arquitetura, coexistem duas entidades: o cliente e o servidor. O servidor disponibiliza serviços ou recursos à rede, que são solicitados pelo cliente. Após a solicitação, o servidor responde ao cliente, fornecendo os serviços ou recursos, sendo a comunicação frequentemente realizada através do protocolo de transferência de hipertexto (HTTP - *Hypertext Transfer Protocol*) (Shklar & Rosen, 2003). Na *web*, o cliente é o navegador *web*, onde o utilizador acede à aplicação disponível no servidor *web*. O sistema pode incluir diversos componentes, como o próprio servidor *web*, o servidor de base de dados, programa de cálculo, entre outros.

A Figura 3.1 apresenta a arquitetura utilizada, onde se implementa um servidor *web* Apache, um servidor de base de dados MySQL e o programa de cálculo de cargas térmicas, desenvolvido em Python, que partilha dados com o servidor de base de dados e o servidor *web*.

O servidor *web* Apache é responsável por alojar a aplicação *web* desenvolvida em linguagem *PHP Hypertext Preprocessor* (PHP), uma linguagem implementada no lado do servidor para a criação de páginas mais dinâmicas e seguras, frequentemente embutida na linguagem de marcação de hipertexto (HTML - *Hypertext Markup Language*).

A interface gráfica com utilizador foi implementada em HTML e folhas de estilo em cascata (CSS – *Cascading Style Sheets*), que na arquitetura cliente-servidor são os clientes. Na arquitetura implementada, os utilizadores acedem à aplicação *web* através de um navegador *web*, interagindo com a interface gráfica desenvolvida. Estas páginas têm programação desenvolvida em JavaScript para permitir uma maior interatividade entre a aplicação *web* e o utilizador.

O servidor de base de dados MySQL implementa a linguagem de consulta estruturada (SQL - *Structured Query Language*) e armazena e disponibiliza todos os dados da aplicação *web* e resultados das simulações realizadas no programa de cálculo, desenvolvido em Python.

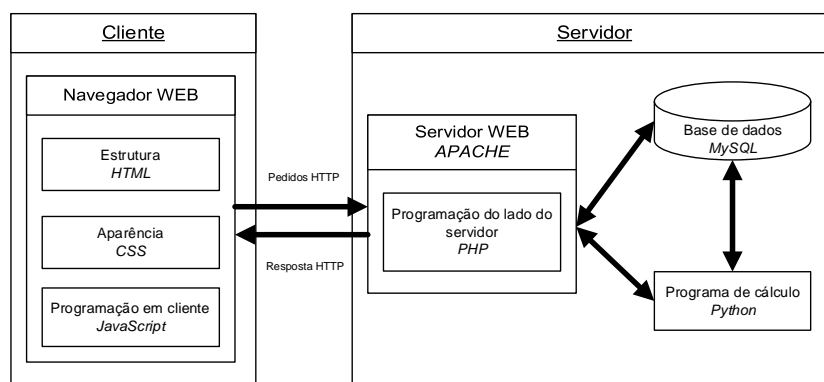


Figura 3.1 – Arquitetura cliente-servidor (Adaptado de Azul, 2010).

3.2 Projeto e implementação da base de dados

A base de dados armazena um conjunto de dados de forma estruturada que permite a consulta e a manipulação desses dados por todos os intervenientes, seja o utilizador, programas, entre outros. O desenvolvimento de uma base de dados, normalmente, segue a estrutura do modelo entidade-relação (ER) (Azul, 2010).

O modelo ER é composto por três componentes principais: entidades, atributos e relações. Uma entidade representa algo sobre o qual se pretende guardar informações. Por exemplo, as entidades podem ser os utilizadores, os edifícios, os elementos construtivos, entre outros.

Os atributos são características ou propriedades que definem uma entidade. Por exemplo, o nome e localização são atributos da entidade edifício porque são características de um edifício.

As relações descrevem as ligações e interações entre as entidades. Numa aplicação onde existam edifícios criados pelos utilizadores, existe a relação entre a entidade-edifícios e a entidade-utilizadores, onde um edifício tem associado um único utilizador e um utilizador pode ter associado um ou vários edifícios.

3.2.1 Definição das entidades

Com base no método de cálculo de cargas térmicas apresentado na secção 2.2.3, as entidades sobre as quais é possível armazenar dados que permitam modelar um edifício são:

- Materiais;
- Soluções construtivas;
- Envolvente opaca;
- Vãos envidraçados;
- Iluminação;
- Ocupação;
- Equipamentos;
- Localização;
- Dados meteorológicos.

A envolvente opaca é uma entidade que pode ainda ser dividida em envolvente opaca exterior e envolvente opaca interior. A envolvente opaca exterior integra as paredes exteriores e coberturas, e a envolvente opaca interior integra as paredes interiores, teto, pavimento e todos os elementos que façam separação com outro espaço interior. Como se trata de uma aplicação de cálculo de cargas térmicas, os resultados são guardados nas seguintes entidades:

- Carga térmica dos vãos envidraçados;
- Carga térmica da envolvente opaca exterior;
- Carga térmica da envolvente opaca interior;
- Carga térmica da iluminação;
- Carga térmica da ocupação;
- Carga térmica dos equipamentos.

De forma a permitir associar várias simulações para o mesmo edifício, considera-se a entidade simulação. Adicionalmente, devem ser consideradas as seguintes entidades:

- Utilizadores;
- Edifícios;
- Espaços.

Ao todo, o modelo conceptual da base de dados considera a existência de 20 entidades sobre as quais se devem de armazenar e gerir dados, que serão as tabelas principais de armazenamento de dados implementadas no servidor de base de dados descritas na secção 3.2.4.

3.2.2 Definição dos atributos

Após a definição das 20 entidades descritas na secção 3.2.1, são definidos os atributos que permitem caracterizar cada uma, correspondendo aos dados necessários armazenar, conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Entidades e atributos.

Entidade	Atributos
Utilizadores	Nome, email, palavra-passe, data de criação
Edifícios	Nome, descrição, data de criação
Espaços	Nome, pé direito, área, temperatura interior, peso de construção
Vãos envidraçados	Nome, área, orientação, coeficiente de transmissão térmica, fator de sombreamento
Materiais	Nome, condutibilidade térmica, resistência térmica, massa volúmica, calor específico, ID material ASHRAE
Solução construtiva	Nome, coeficiente de transmissão térmica, resistência térmica da superfície exterior, resistência térmica da superfície interior, coeficientes da função de transferência, ID solução construtiva ASHRAE
Envolvente opaca exterior	Nome, área, orientação, absorvidade da superfície exterior, inclinação, tipo de elemento
Envolvente opaca interior	Nome, área, temperatura do espaço adjacente
Iluminação	Tipo de instalação, potência
Ocupação	Número de ocupantes, calor sensível por ocupante, calor latente por ocupante
Equipamentos	Nome, potência
Horários	Nome, 0 h, 1 h, ..., 23 h
Localização	Nome, latitude, longitude, fuso horário, país
Dados meteorológicos	Data e hora, temperatura de bolbo seco, temperatura de bolbo húmido, humidade relativa
Simulação	Data de criação
Cargas térmicas de equipamentos	Data e hora, carga, potência total do equipamento
Cargas térmicas de iluminação	Data e hora, carga, potência de iluminação
Cargas térmicas de ocupação	Data e hora, carga sensível, carga latente
Cargas térmicas de envidraçados	Data e hora, carga de condução, carga de radiação, área, coeficiente de transmissão térmica, fator de sombreamento
Cargas térmicas de envolvente opaca exterior	Data e hora, carga, área, coeficiente de transmissão térmica, orientação
Cargas térmicas de envolvente opaca interior	Data e hora, carga, área, coeficiente de transmissão térmica,

Nas entidades utilizadores, edifícios, espaços, vãos envidraçados, materiais, solução construtiva, envolvente exterior e interior, equipamentos, horários e localização considerou-se o atributo nome para tornar mais intuitiva a interação do utilizador ao manipular estas entidades. Na entidade do utilizador são definidos o email e palavra-passe, que são as credenciais de acesso, e também a data que o utilizador foi criado, através do valor padrão *CURRENT_TIMESTAMP*. Na entidade dos edifícios também se considerou a data de criação, através do valor padrão *CURRENT_TIMESTAMP*.

Na solução construtiva foi também definido o ID solução construtiva ASHRAE. Esta identificação é fundamental, pois, de acordo com o método apresentado na secção 2.2.3, os ganhos térmicos da envolvente opaca exterior só podem ser calculados para soluções construtivas que estejam listadas na tabela disponibilizada pela ASHRAE (1997). Portanto, ao selecionar a solução construtiva para um determinado elemento da envolvente exterior, apenas é possível para aquelas que possuam o ID solução construtiva ASHRAE. Na entidade dos horários são definidos os atributos que abrangem cada hora do dia, desde a hora 0 até às 23 h. Nestes atributos devem ser guardados a percentagem de utilização correspondente a cada hora, permitindo a parametrização detalhada do comportamento térmico ao longo do dia.

3.2.3 Definição das relações entre entidades

No modelo entidade-relação, as relações permitem associar as várias entidades que compõe a base de dados. Estas relações são classificadas consoante a cardinalidade, ou seja, a quantidade de registos de uma entidade que podem relacionar com registos de outra entidade. Assim, as relações são agrupadas nos seguintes tipos (Azul, 2010):

- um-para-um (1:1): considera-se que cada registo de uma entidade está relacionado apenas com um registo da segunda entidade;
- um-para-muitos (1:M): um registo de uma entidade corresponde a múltiplos registos da segunda entidade. Por exemplo, um utilizador pode desenvolver vários edifícios, mas um edifício tem apenas um utilizador;
- muitos para muitos (M:M): um registo de uma entidade pode estar associado a vários registos da segunda entidade e um registo da segunda entidade corresponde a vários da primeira. Por exemplo, um espaço pode ter vários equipamentos, e um equipamento pode ser alocado a vários espaços. A implementação desta relação é dividida em duas relações um-para-muitos, recorrendo a uma terceira entidade, a entidade associativa.

Na Tabela 3.2 apresentam-se as relações utilizadas entre as várias entidades do modelo, evidenciando a estrutura lógica adotada para organizar e manipular os dados na base de dados.

Tabela 3.2 – Relações entre entidades.

Entidade 1	Entidade 2	Relação	Cardinalidade
Utilizador	Edifício	<ul style="list-style-type: none"> Um utilizador tem vários edifícios Um edifício tem associado um utilizador 	1:M
Localização	Edifícios	<ul style="list-style-type: none"> Uma localização pode ter vários edifícios Um edifício tem uma localização 	1:M
Localização	Dados meteorológicos	<ul style="list-style-type: none"> Um local possui diversos dados meteorológico Um dado meteorológico corresponde a um local 	1:M
Edifícios	Espaço	<ul style="list-style-type: none"> Um edifício possui vários espaços Um espaço está associado a um edifício 	1:M
Materiais	Solução construtiva	<ul style="list-style-type: none"> Um material pode integrar várias soluções construtivas Um elemento construtivo tem vários materiais 	M:M
Solução construtiva	Envolvente opaca exterior	<ul style="list-style-type: none"> Uma solução construtiva pode se tornar em vários elementos de envolvente opaca Um elemento de envolvente opaca é formado por uma solução construtiva 	1:M
Espaço	Envolvente opaca exterior	<ul style="list-style-type: none"> Um espaço pode ter vários elementos de envolvente opaca exterior Um elemento de envolvente opaca exterior está em apenas um espaço 	1:M
Solução Construtiva	Envolvente opaca interior	<ul style="list-style-type: none"> Uma solução construtiva pode se tornar em vários elementos de envolvente opaca interior Um elemento de envolvente opaca interior é formado por uma solução construtiva 	1:M
Espaço	Envolvente opaca interior	<ul style="list-style-type: none"> Um espaço pode ter vários elementos de envolvente opaca interior Um elemento de envolvente opaca interior está em apenas um espaço 	1:M
Espaço	Vão envidraçado	<ul style="list-style-type: none"> Um espaço pode ter vários vãos envidraçados Um vão envidraçado pode ser utilizado em um espaço 	1:M
Iluminação	Espaço	<ul style="list-style-type: none"> Uma iluminação pode estar em um espaço Um espaço apenas possui uma iluminação 	1:1
Horário	Iluminação	<ul style="list-style-type: none"> Um horário está associado a várias iluminações Uma iluminação tem associado um horário 	1:M
Espaço	Ocupação	<ul style="list-style-type: none"> Um espaço tem associado uma ocupação Uma ocupação tem associado um espaço 	1:1
Horário	Ocupação	<ul style="list-style-type: none"> Um horário está associado a várias ocupações Uma ocupação tem associado um horário 	1:M
Espaço	Equipamento	<ul style="list-style-type: none"> Um espaço pode ter vários equipamentos Um equipamento pode estar em vários espaços 	M:M
Horário	Equipamento & Espaço	<ul style="list-style-type: none"> Um horário pode estar em vários equipamentos de vários espaços Um equipamento de um espaço tem um horário 	1:M
Edifício	Simulação	<ul style="list-style-type: none"> Um edifício pode ter várias simulações Uma simulação está associada a um edifício 	1:M
Simulação	Cargas térmicas	<ul style="list-style-type: none"> Uma simulação pode ter várias cargas térmicas Um instante de carga térmica tem uma simulação 	1:M

A implementação de relações em tabelas permite gerar consultas de dados, onde ambas as tabelas relacionadas estejam envolvidas. As consultas são realizadas com o comando *SELECT* e, no caso de se pretender realizar consultas em tabelas relacionadas, é necessário utilizar a cláusula *INNER JOIN*. A Figura 3.3 apresenta o resultado de uma consulta das tabelas utilizadores e edifícios, relacionadas através da chave primária *userID* e estrangeira *user_userID*.

```
SELECT idEdificio, nome_edificio, user_userID, userID, FLname, email FROM edificios INNER JOIN user ON user_userID=userID;
```

idEdificio	nome_edificio	user_userID	userID	FLname	email
1	Edifício M	1	1	Abel Agostinho	A47386@alunos.isel.pt
4	Forum Algarve	1	1	Abel Agostinho	A47386@alunos.isel.pt
5	Torre Escritórios Sonae	2	2	Abel Agostinho	abelmateus5@gmail.com
9	Ponte Vasco Da Gama	6	6	miguel123	miguel123@hotmail.com
10	Caso estudo TFM	1	1	Abel Agostinho	A47386@alunos.isel.pt
12	Edifício 1	8	8	Conta de Teste	teste@calc.carga.com

Figura 3.3 – Tabela resultante da junção da tabela de edifícios com utilizadores.

Caso as chaves estrangeiras sejam eliminadas ou alteradas, é possível configurar ações a executar sobre esse registo, com as instruções *ON DELETE* e *ON UPDATE*, respetivamente. As instruções *ON DELETE CASCADE* e *ON UPDATE CASCADE* permitem garantir a integridade referencial da base de dados, propagando a ação de eliminação e atualização, respetivamente, pelas tabelas relacionadas (Tavares, 2015). Deste modo, a instrução *ON DELETE CASCADE* permite eliminar uma linha quando a respetiva chave primária é eliminada e a instrução *ON UPDATE CASCADE* permite atualizar a chave estrangeira quando a respetiva chave primária é atualizada. Com a programação destas ações, por exemplo, quando se elimina o registo de um edifício, os registos dos seus espaços também devem ser eliminados, assim como os registos de todos os elementos associados. As ações *ON DELETE CASCADE* e *ON UPDATE CASCADE* são aplicadas em todas as relações apresentadas na Tabela 3.2, exceto na relação Edifícios-Localização. Nesse caso, foi definida a instrução *ON DELETE SET NULL*, permitindo que o campo que armazena a chave da localização de um edifício seja definido como nulo se a respetiva chave primária for eliminada, mantendo os restantes dados do registo.

Para implementar a estrutura de dados descrita nas secções 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3, foi utilizada a ferramenta MySQL Workbench (Oracle Corporation, 2022), que permite criar e modificar a estrutura de uma base de dados através de uma interface gráfica, sem necessidade de utilizar linguagem específica. O primeiro passo consiste em criar o diagrama entidade-relação (ER), implementando o modelo físico da base de dados no MySQL Workbench. A implementação do modelo físico da base de dados implica a criação das tabelas e a parametrização detalhada de todas as suas colunas, incluindo tipos de dados, restrições e definições de chaves primárias. As colunas correspondentes

Após a criação do diagrama ER no MySQL Workbench, realiza-se uma sincronização com a base de dados, onde é criado o código em SQL para implementar a estrutura de dados no servidor da base de dados, como se apresenta na Figura 3.5.

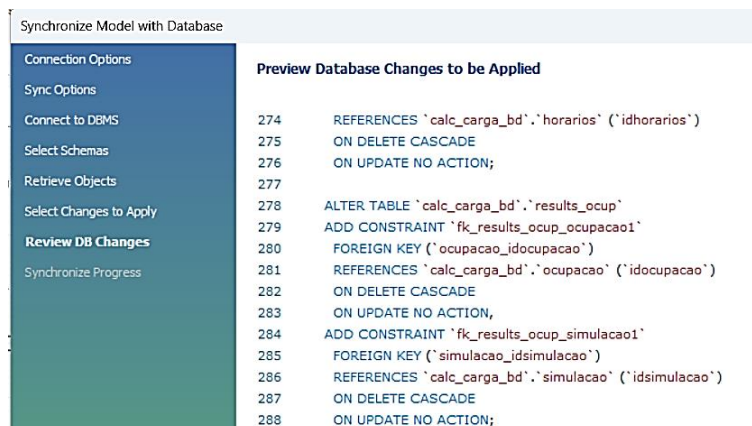


Figura 3.5 – Sincronização do diagrama entidade-relação com base de dados.

Após implementado o modelo de dados na base de dados, foram introduzidos dados referentes às soluções construtivas, localizações e dados meteorológicos para serem acedidos por todos utilizadores. Neste sentido, foram introduzidas 41 soluções construtivas para paredes exteriores e 42 soluções construtivas para coberturas na tabela das soluções construtivas (Tabela 3.1), com base nas soluções disponíveis em tabelas da ASHRAE (1997). As cidades de Lisboa, Porto, Coimbra, Faro e Évora foram introduzidas na tabela de localizações (Tabela 3.1), cujos dados meteorológicos (Tabela 3.1) foram obtidos através do programa HAP (Carrier Corporation, 2013). Os dados meteorológicos do HAP são apresentados por mês e por hora. Na atribuição da data e hora destes dados, foi considerado que estes são referentes ao ano de 2023, por ser um ano comum, e ao dia 21 de cada mês. Isto é feito para haver concordância com dados obtidos em tabelas de ASHRAE (1997), no cálculo da radiação solar.

3.3 Interface *web* e programação do lado do cliente

A interface *web* permite a interação do utilizador com a aplicação utilizando elementos gráficos, através de um navegador *web* (usualmente designado, em inglês, por *browser*). O desenvolvimento da aplicação no lado do cliente passa por criar a estrutura da interface em linguagem de marcação de hipertexto (HTML - *HyperText Markup Language*), utilizando uma linguagem designada de CSS (*Cascading Style Sheets*) para definir a aparência do conteúdo a apresentar nas páginas *web*. A interatividade e dinamização das interfaces é obtida recorrendo à linguagem de programação no lado do cliente JavaScript (Azul, 2010). Esta secção descreve a estrutura e relação entre as páginas que compõe a interface bem como a sua aparência e a sua programação.

3.3.1 Estrutura das interfaces web

A estrutura das interfaces desta aplicação deve permitir a interação necessária para que o utilizador possa definir, caracterizar, e analisar as cargas térmicas de um edifício. O processo inicia-se com a identificação e autenticação do utilizador na aplicação. Para tal, a página inicial disponibiliza recursos ao utilizador para criar a sua conta e iniciar a sessão. Após a autenticação, o utilizador pode gerir os dados que descrevem os seus edifícios, incluindo os espaços que os compõem. Para cada edifício, é possível definir materiais de construção, soluções construtivas, horários de utilização e equipamentos associados. Os espaços são caracterizados pela sua envolvente e todos os elementos descritos na subsecção 2.2.3.

Uma vez concluída a caracterização dos espaços, procede-se ao cálculo das cargas térmicas, cujos resultados são apresentados na interface designada por simulação. A Figura 3.6 apresenta as interfaces gráficas (páginas web) desenvolvidas e as ligações existentes entre elas. Note-se que existem duas interfaces denominadas equipamentos. A interface ao nível da definição das soluções construtivas, materiais e horários é utilizada para a caracterização de um equipamento, nomeadamente para a definição do nome e da sua potência. Ao nível da caracterização do espaço é associado um equipamento ao espaço e a um horário. Desta forma, é possível considerar a existência do mesmo equipamento em vários espaços.

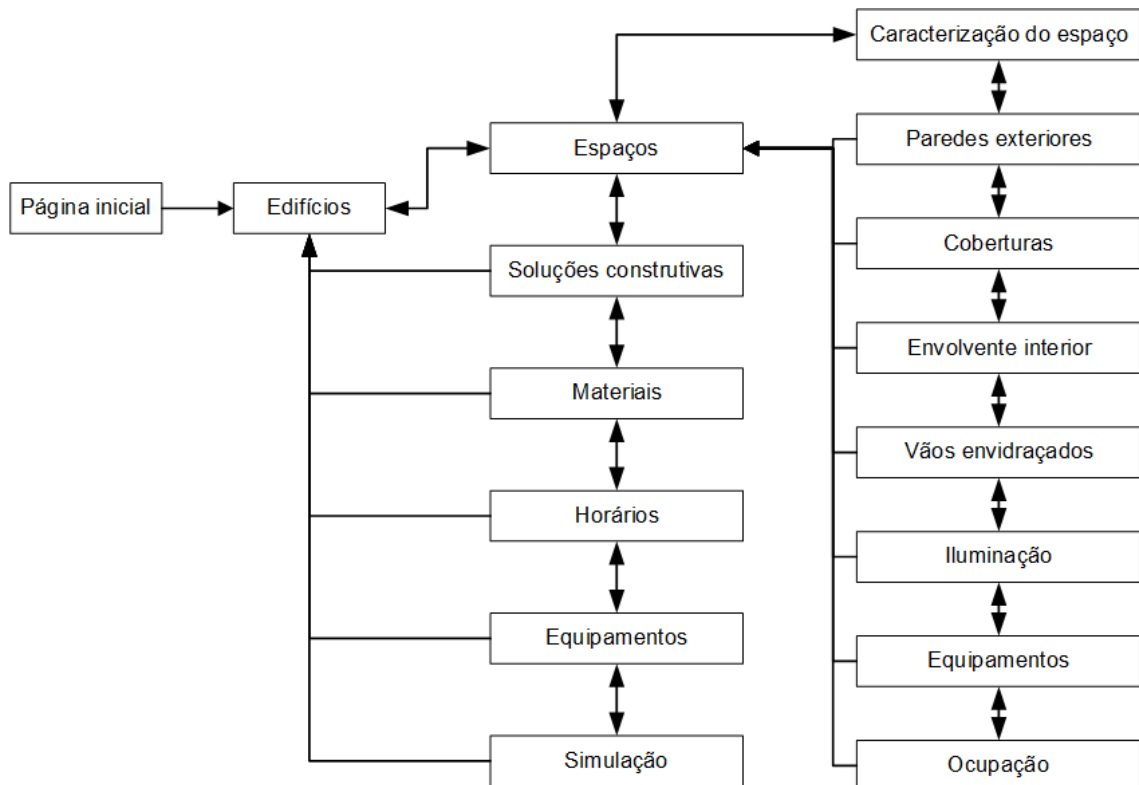


Figura 3.6 – Fluxo de navegação das interfaces web.

3.3.2 Autenticação e gestão de conta de utilizador

A página inicial apresentada ao utilizador na Figura 3.7 permite que o utilizador se autentique ou crie a sua conta de utilizador por meio dos formulários apresentados na Figura 3.8. O processo implementado para criar a conta de utilizador e realizar a sua autenticação é descrito na secção 3.4. Na página inicial e em todas as páginas da aplicação é incluído um cabeçalho que apresentam alguns elementos, tais como o eventual logótipo da aplicação e o nome do utilizador autenticado. Quando o utilizador ainda não se autenticou é apresentada a informação “inicie sessão ou crie uma conta” no canto superior direito, como ilustra a Figura 3.7.

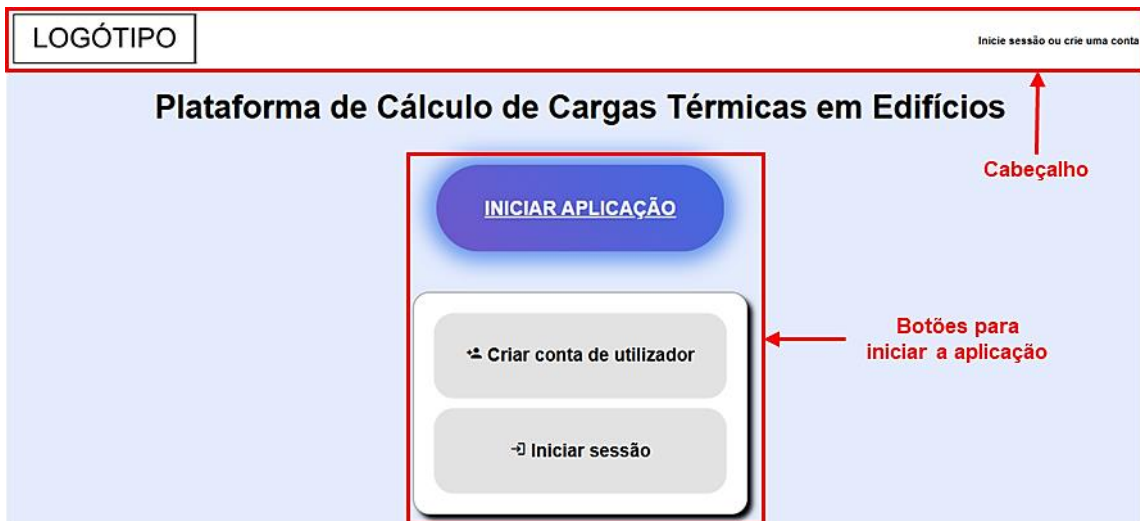


Figura 3.7 – Página inicial da aplicação web.

Criar Conta [X]

Nome

Email

Palavra passe

Confirmar palavra passe

Criar conta

a)

Iniciar sessão [X]

Email

Palavra passe

Iniciar sessão

b)

Figura 3.8 - Formulário para a) criar conta de utilizador e b) iniciar de sessão.

3.3.3 Gestão de registos de edifícios

Após o utilizador se autenticar, é apresentada a página dedicada à manipulação dos seus edifícios, conforme se apresenta na Figura 3.9. Uma vez autenticado, o cabeçalho passa a exibir, no lado direito, as informações sobre o utilizador, tais como o nome e o endereço de email, bem como um botão que permite encerrar a sessão de forma segura.

No conteúdo principal da página, foi implementada uma tabela com informações de todos os edifícios do utilizador e adicionados botões para realizar quadro operações básicas na manipulação dos registos dos edifícios: criar, visualizar, atualizar e eliminar, implementando a metodologia CRUD (*Create, Read, Update e Delete*).

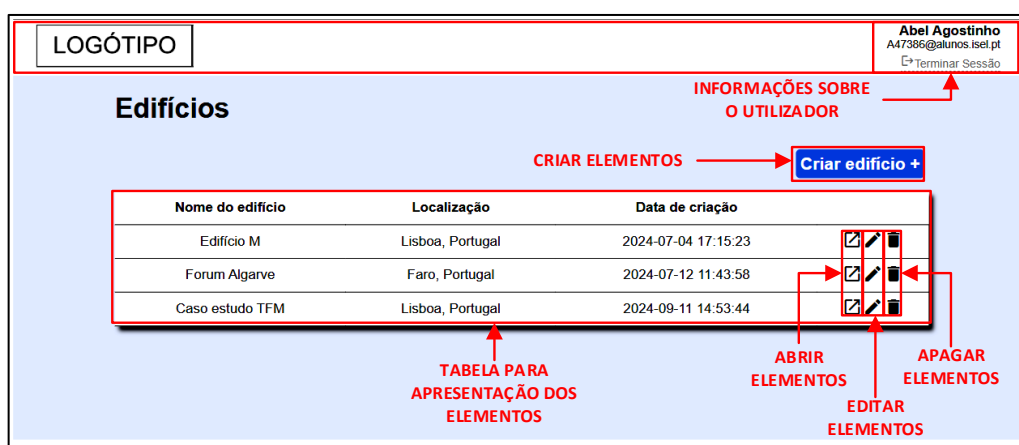


Figura 3.9 – Página de manipulação dos edifícios.

O registo de um novo edifício realiza-se por meio de uma caixa de diálogo, como se apresenta na Figura 3.10a. Esta caixa de diálogo foi criada em HTML, utilizando o elemento `<dialog>`, cuja estrutura é detalhada na Listagem 3.1, e que se descreve de seguida. Na caixa de diálogo (Figura 3.10 e Listagem 3.1), foi introduzido um formulário (linha 57 a 71) que permite ao utilizador fornecer os dados necessários para a definição do edifício. O formulário possibilita a introdução do nome do edifício através de um campo de entrada do tipo texto (`<input>` – linha 60), uma breve descrição utilizando uma área de texto (`<textarea>` – linha 63) e a seleção da localização geográfica do edifício por meio de um menu suspenso (`<select>` – linha 67 e 69). As opções de localização são criadas utilizando linguagem PHP e serão descritas na secção 3.4. O formulário é submetido com o acionamento do botão “criar edifício” (Figura 3.10 e Listagem 3.1 – linha 70), enviando os dados preenchidos no formulário para o local definido em *action* (linha 57). A utilização de caixas de diálogo permite, por um lado, uma interface mais limpa, apresentando apenas ações essenciais ao utilizador, ao ser acedida. Por outro lado, permite criar o contexto em que o formulário se insere, em comparação à criação de uma página exclusiva para o formulário, o que resulta numa maior interatividade.

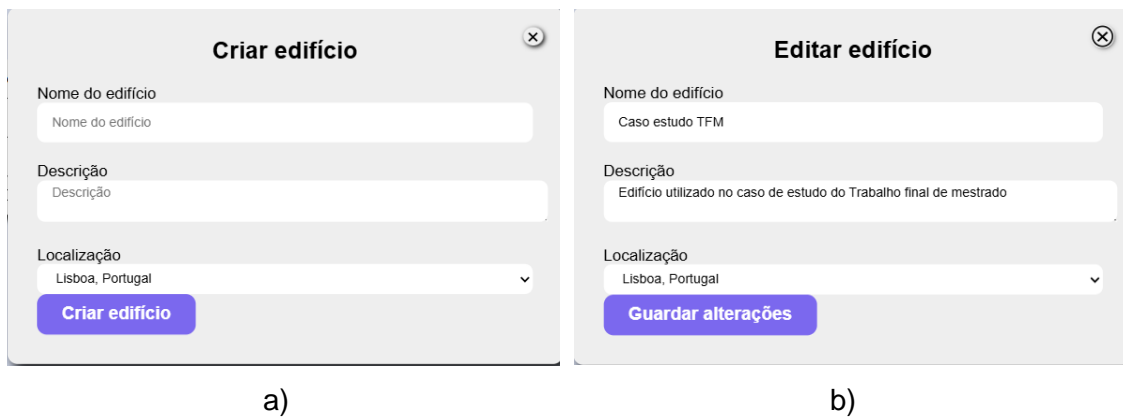


Figura 3.10 – Caixa de diálogo para a) criar e b) editar edifícios.

```

54 <dialog class="create-Building-PopUp popUpForm">
55 <button class="close-createBuildingPopUp closePopUpBTN">&#10006;</button>
56 <h2>Criar edifício</h2>
57 <form action="includes/AddBuildingsForm.php" method="post">
58
59 <label for="building_name_create">Nome do edifício</label>
60 <input type="text" name="building_name" id="building_name_create" placeholder="Nome do edifício" required />
61
62 <label for="building_description_create">Descrição</label>
63 <textarea name="building_description" id="building_description_create" placeholder="Descrição" rows="2"
64   maxlength="120"></textarea>
65
66 <label for="location_create">Localização</label>
67 <select name="location" id="location_create" placeholder="Localização">
68 | <?php show_selection_location($pdo) ?>
69 </select>
70 <button type="submit" class="submitBtn">Criar edifício</button>
71 </form>
72 </dialog>

```

Listagem 3.1 – HTML: Estrutura da caixa de diálogo para criação de edifícios.

A caixa de diálogo apresentada na Figura 3.10a surge quando o utilizador aciona o botão “Criar espaço +” (Figura 3.9) e é ocultada ao pressionar o botão de fechar (X) da própria caixa de diálogo (Figura 3.10). Esta funcionalidade foi programada em JavaScript, conforme descrito no código apresentado na Listagem 3.2. O comportamento é controlado mediante o evento *click*, associado ao botão correspondente. Para a abertura da caixa diálogo, utiliza-se o método *showModal* (linha 6), enquanto o encerramento é realizado pelo método *close* (linha 10).

```

1  const openCreateBuildingPopUp = document.querySelector('.open-createBuildingPopUp')
2  const closeCreateBuildingPopUp = document.querySelector('.close-createBuildingPopUp')
3  const createBuildingPopUp = document.querySelector('.create-Building-PopUp')
4
5  openCreateBuildingPopUp.addEventListener('click', function () {
6    createBuildingPopUp.showModal();
7  })
8
9  closeCreateBuildingPopUp.addEventListener('click', function () {
10   createBuildingPopUp.close();
11 })

```

Listagem 3.2 – JavaScript: Instruções para visualizar e ocultar caixa de diálogo.

A visualização dos vários registos é feita numa tabela, conforme ilustrado na Figura 3.9, com a apresentação dos edifícios associados ao utilizador autenticado. Na última coluna, estão colocados os botões que permitem abrir, editar e apagar um edifício. A criação da tabela é programada no lado do servidor e será abordada na secção 3.4.

A abordagem implementada para a edição de registos é semelhante à utilizada na criação de registos, que foi implementada com recurso à utilização de formulários em caixas de diálogo, como se ilustra na Figura 3.10. Ao acionar o botão de editar do respetivo edifício, na tabela apresentada na Figura 3.9, é criada uma variável do elemento em edição no URL. Utilizando a programação em JavaScript, conforme se apresenta na Listagem 3.3, sempre que existir esta variável é apresentada a caixa de diálogo de edição. Esta abordagem foi necessária para obter uma variável com o ID do edifício no lado do servidor. Quando a caixa de diálogo é aberta, os campos de entrada são preenchidos com os dados previamente guardados na base de dados. No momento do encerramento da caixa de diálogo, acionado pelo botão de fechar (linhas 34 a 36), o sistema redefine a variável de estado de edição, removendo-a do contexto ativo (linhas 37 a 39). Este processo permite, por um lado, o uso de caixas de diálogo, à semelhança da criação de registos, onde se utiliza os mesmos elementos HTML, permitindo uma interface mais interativa e de desenvolvimento mais rápido. Por outro lado, permite apresentar as informações anteriormente guardadas na base de dados.

```
15  const closeEditBuildingPopUp = document.querySelector('.close-editBuildingPopUp')
16  const editBuildingPopUp = document.querySelector('.edit-Building-PopUp')
17
18  // --Abrir caixa de diálogo--
19  // Função a executar quando acionado o botão editar
20  function f_openEditBuilding(buildingID) {
21  |   window.location.href = "buildings.php?idBuildingEdit=" + buildingID;
22  | }
23
24  // Obter as váriaveis guardadas no URL
25  const url_variables = window.location.search;
26  const urlParams = new URLSearchParams(url_variables);
27
28  const param1 = urlParams.get('idBuildingEdit');
29  if (param1 != null) {
30  |   editBuildingPopUp.showModal();
31  | }
32
33  // Fechar caixa de diálogo
34  closeEditBuildingPopUp.addEventListener('click', function () {
35  |   editBuildingPopUp.close();
36  | })
37  editBuildingPopUp.addEventListener("close", () => {
38  |   window.location.href = "buildings.php";
39  | });
```

Listagem 3.3 – JavaScript: Abrir e fechar caixa de diálogo de edição de elementos.

Para eliminar os registos das tabelas, é criado um evento no botão de eliminar para confirmar essa operação, através de uma caixa de diálogo do navegador, conforme ilustrado na Figura 3.11 e na linha 120 da Listagem 3.4, em *onClick*. Caso o utilizador confirme, é enviado o ID do elemento pelo URL para o servidor (linha 121).

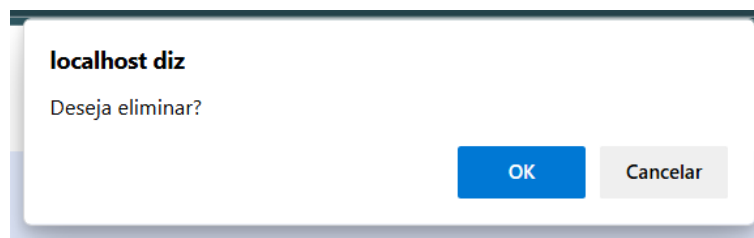


Figura 3.11 – Caixa de diálogo para o utilizador confirmar a intenção de eliminar um registo.

```
119 <button title='Apagar edifício' class='table-action-btn delete-btn'>
120   <a onClick=" javascript:return confirm('Deseja eliminar?');"
121     href='includes/building-delete.php?idBuildingDelete="<?php echo $row["idEdificio"] ?>">
122     <i class=' material-icons delete-btn'>delete</i>
123   </a>
124 </button>
```

Listagem 3.4 – HTML: Botão para apagar um espaço.

A metodologia CRUD, aplicada aos edifícios, é aplicada a todos os outros elementos nas respetivas páginas. Em suma, a interface implementada utiliza formulários em caixas de diálogo para a criação e edição de registos e uma tabela para visualização de elementos, incluindo botões para abrir, editar e eliminar o registo. Os formulários e todos os elementos de interação com o utilizador foram desenvolvidos através de HTML, CSS, JavaScript e PHP, resultando numa interface fluida e intuitiva.

3.3.4 Gestão de registos dos espaços dos edifícios

Após a criação do edifício, o utilizador pode aceder aos dados dos registos associados a esse edifício, através da funcionalidade “abrir elemento” (Figura 3.9), acionando o botão que se encontra na linha do edifício pretendido. Esta ação redireciona para a página que se apresenta na Figura 3.12. Nesta página, a interface é composta por três áreas principais: o cabeçalho, o conteúdo principal e uma barra lateral. A barra lateral exhibe informações sobre o edifício selecionado e inclui botões para acesso a outras funcionalidades, como a manipulação de outros elementos, tais como materiais, soluções construtivas, horários, equipamentos e resultados do cálculo de cargas térmicas. Na área do conteúdo principal é possível gerir os registos dos espaços com uma abordagem semelhante à utilizada nos edifícios, implementando a metodologia CRUD.



Figura 3.12 – Página de manipulação de espaços.

O acionamento do botão de “abrir espaço” (Figura 3.12) permite o acesso à página de parametrização do espaço, conforme ilustrado na Figura 3.13. A página de parametrização do espaço apresenta uma barra lateral, situada no lado esquerdo da interface, que exibe o nome do espaço, juntamente com botões de acesso às páginas de registo de diversos elementos do espaço, tais como paredes exteriores, coberturas, paredes, tetos e pavimentos interiores, vãos envidraçados, iluminação, equipamentos e ocupação. No conteúdo principal da página, é apresentado um formulário onde são registados os dados gerais sobre o espaço como a área, o pé-direito, a temperatura interior e a massa por unidade de área. As páginas de parametrização da iluminação e da ocupação possuem uma estrutura semelhante, uma vez que a definição da iluminação e da ocupação de um espaço não carece de vários registos sobre estas entidades e, portanto, não é necessário aplicar a metodologia CRUD.

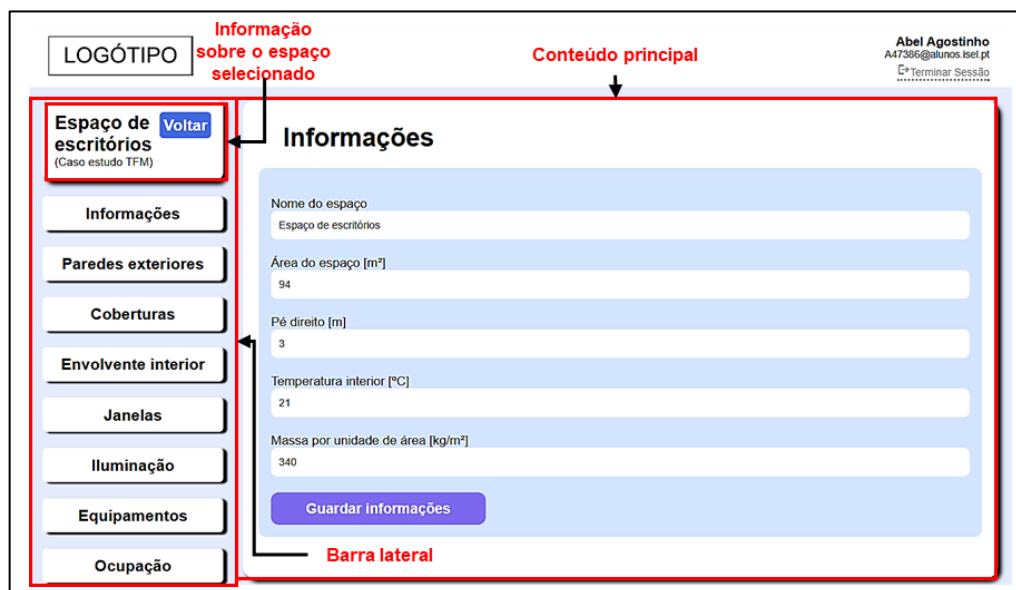


Figura 3.13 – Página de parametrização do espaço.

3.3.5 Gestão de registos dos dados que modelam o edifício

A Figura 3.14 ilustra a página de definição das paredes exteriores, permitindo ao utilizador criar, visualizar, editar e apagar os registos de cada uma, utilizando a metodologia anteriormente descrita. A tabela de visualização apresenta o nome da parede atribuída pelo utilizador, a solução construtiva selecionada, o coeficiente de transmissão térmica associado a cada solução e a área da superfície correspondente.









Paredes exteriores				
Adicionar elemento +				
Nome da parede	Composição	U [W/(m².K)]	A [m²]	
Parede 1 - Norte	Gesso(20mm) + Isol.(150mm) + Bl. Betão baixa dens.(200mm) + Tij. face(100mm)	0.2404	14.68	 
Parede 2 - Oeste	Gesso(20mm) + Isol.(150mm) + Bl. Betão baixa dens.(200mm) + Tij. face(100mm)	0.2404	26.36	 
Parede 3 - Sul	Gesso(20mm) + Isol.(150mm) + Bl. Betão baixa dens.(200mm) + Tij. face(100mm)	0.2404	34.36	 
Parede 4 - Este	Gesso(20mm) + Isol.(150mm) + Bl. Betão baixa dens.(200mm) + Tij. face(100mm)	0.2404	16.18	 

Figura 3.14 – Página de definição de paredes exteriores para um espaço.

O ganho térmico na envolvente opaca exterior, isto é, em paredes e coberturas exteriores, é calculado utilizando coeficientes de função de transferência de condução, conforme apresentado na secção 2.2.3. Estes coeficientes estão disponíveis em ASHRAE (1997) para 41 soluções construtivas de paredes e 42 soluções construtivas de coberturas. Ao parametrizar uma parede ou cobertura, o utilizador pode seleccionar uma das soluções disponíveis a partir da lista fornecida. A Figura 3.15 apresenta o formulário utilizado para criar paredes exteriores, onde é possível registar os dados sobre o nome, a área, a orientação e a absorvidade por campos de entrada e a solução construtiva, escolhida através de uma caixa de seleção com todas as soluções construtivas disponíveis. Esta abordagem foi implementada tanto para o registo das paredes exteriores, como para as coberturas.

Adicionar parede

Nome

Solução construtiva
Chapa aço + Cx. Ar + Isol.(100mm) + Chapa aço

Área

Orientação
N

Absortividade

[Guardar](#)

Chapa aço + Cx. Ar + Isol.(100mm) + Chapa aço

Gesso(20mm) + Isol.(125mm) + Estuque(25mm)

Bl. Betão alta dens.(100mm) + Isol.(25mm) + Acab.

Gesso(20mm) + Isol.(50mm) + Betão alta dens.(50mm)

Acab. + Isol.(35mm) + Bl. Betão baixa dens.(200mm)

Gesso(20mm) + Isol.(25mm) + Betão alta dens.(100mm) + Estuque(25mm)

Acab. + Betão alta dens.(100mm) + Isol.(50mm) + Chapa aço

Tij. face(100mm) + Betão alta dens.(50mm) + Isol.(25mm) + Acab.

Acab. + Isol.(150mm) + Madeira(50mm)

Gesso(20mm) + Bl. Betão baixa dens.(100mm) + Isol.(25mm) + Tij. face(100mm)

Gesso(20mm) + Bl. Betão alta dens.(200mm) + Isol.(50mm) + Estuque(25mm)

Gesso(20mm) + Cx. Ar + Betão alta dens.(200mm) + Estuque(25mm)

Tij. face(100mm) + Betão alta dens.(100mm) + Isol.(15mm) + Acab.

Tij. face(100mm) + Tij. face(100mm) + Isol.(50mm) + Acab.

Acab. + Bl. Betão baixa dens.(maciço)(200mm) + Cx. Ar + Tij. face(100mm)

Acab. + Bl. Betão alta dens.(maciço)(200mm) + Cx. Ar + Tij. face(100mm)

Tij. face(100mm) + Bl. Betão baixa dens.(100mm) + Isol.(150mm)

Acab. + Isol.(85mm) + Tij. cerâmico(200mm)

Figura 3.15 – Formulário para criar paredes exteriores.

Os registos das paredes e tetos interiores e de pavimentos podem ser criados utilizando o formulário apresentado na Figura 3.16, onde o utilizador define o nome do elemento e a área da superfície através de campos de entrada, e escolhe a solução construtiva através de uma caixa de seleção, que apresenta os nomes definidos das soluções construtivas criadas pelo utilizador. Neste caso, o cálculo do ganho térmico depende do coeficiente de transmissão térmica cujo cálculo é descrito nas equações 2.8, 2.9 e 2.10.

O formulário 'Adicionar elemento' contém os seguintes campos e elementos:

- Nome:** Campo de texto com o rótulo 'Nome' e o placeholder 'Nome'.
- Solução construtiva:** Caixa de seleção com o rótulo 'Solução construtiva'. O menu suspenso está aberto, mostrando as opções 'Parede interior', 'Parede exterior' e 'Parede teste'. A opção 'Parede interior' está selecionada.
- Área [m²]:** Campo de texto com o rótulo 'Área' e o placeholder 'Área'.
- Temperatura exterior ao elemento [°C]:** Campo de texto com o rótulo 'Temperatura' e o placeholder 'Temperatura'.
- Botão Guardar:** Botão de ação em azul com o texto 'Guardar'.

Figura 3.16 – Formulário para criar paredes, tetos e pavimentos interiores.

Uma solução construtiva é composta por uma combinação de materiais organizados em camadas, sendo que cada material possui um comportamento térmico específico. Assim, a interface com utilizador deve permitir criar, eliminar e atualizar os dados relativos a cada uma das camadas que compõem a solução construtiva. As características térmicas desses materiais podem ser combinadas em parâmetros globais associados à solução construtiva como, por exemplo, o coeficiente de transmissão térmica, a espessura total, entre outros. Desta forma, foi desenvolvida uma interface para a criação ou edição de solução construtiva (Figura 3.17), onde o utilizador seleciona os materiais e insere a respetiva espessura e resistência térmica superficial. Após a introdução destes dados, os parâmetros globais da solução construtiva são calculados automaticamente e apresentados na mesma interface.

O cálculo dos parâmetros globais da solução construtiva pode ser realizado ao calcular as cargas térmicas do edifício, após a submissão de toda a informação sobre o edifício. Na aplicação desenvolvida, estes parâmetros são calculados e apresentados ao utilizador, automaticamente, à medida que se realiza os registos sobre a solução construtiva. Para isso, o cálculo e a interação com a base de dados são realizados utilizando JavaScript e XML assíncrono (AJAX – *Asynchronous JavaScript and XML*). O AJAX é um mecanismo que permite ao cliente interagir com o servidor através de pedidos assíncronos de HTTP, e atualizar apenas parte da página necessária para apresentar os novos conteúdos (Pereira & Poupa, 2022).

Editar Solução Construtiva ✕

Nome
Parede exterior

Nome do material	Es espessura [mm]	Massa superficial [kg/m ²]	Resistência térmica [m ² ·k/W]
INTERIOR			
E1 - Gesso	20	32.04	0.028
B15 - Isolamento	150	13.65	3.488
C7 - Bloco de betão de baixa densidade	200	121.8	0.35
A2 - Tijolo cerâmico	100	200.2	0.075
EXTERIOR			

Adicionar camada

Resistência térmica superficial interior [(m ² ·°C)/W]	Resistência térmica superficial exterior [(m ² ·°C)/W]	Espessura total [mm]	Massa superficial total [kg/m ²]	Coefficiente de transmissão térmica [W/m ² ·k]
0,121	0,059	470	367.69	0.243

Guardar

Figura 3.17 – Interface gráfica de criação de soluções construtivas.

O coeficiente de transmissão térmica, apresentado na Figura 3.17, é calculado automaticamente com base nos dados da resistência térmica de cada material e das superfícies interior e exterior da solução construtiva, conforme descrito na secção 2.2.3. A resistência térmica de uma camada, apresentada na Figura 3.17, também é obtida automaticamente através de um evento que executa um conjunto de instruções sempre que a camada for modificada, conforme ilustrado na Figura 3.18. Ao acionar esse evento, é recolhida a informação sobre o material selecionado e a espessura definidos pelo utilizador. Em seguida, a informação do material selecionado é enviada para um script em PHP. Neste script é estabelecida a ligação com a base de dados, obtendo a informação sobre o material selecionado, nomeadamente, nome do material, condutibilidade ou resistência térmica, massa volúmica e calor específico. A informação do material é transmitida para o script em JavaScript, codificada em notação de objeto em JavaScript (JSON – *JavaScript Object Notation*), um formato de partilha de dados entre sistemas, independente da linguagem. De seguida, com a massa volúmica, condutibilidade térmica, resistência térmica obtida na base de dados e a espessura definida pelo utilizador, obtém-se a resistência térmica da camada, utilizando a equação 2.10, que se apresenta na Figura 3.17.

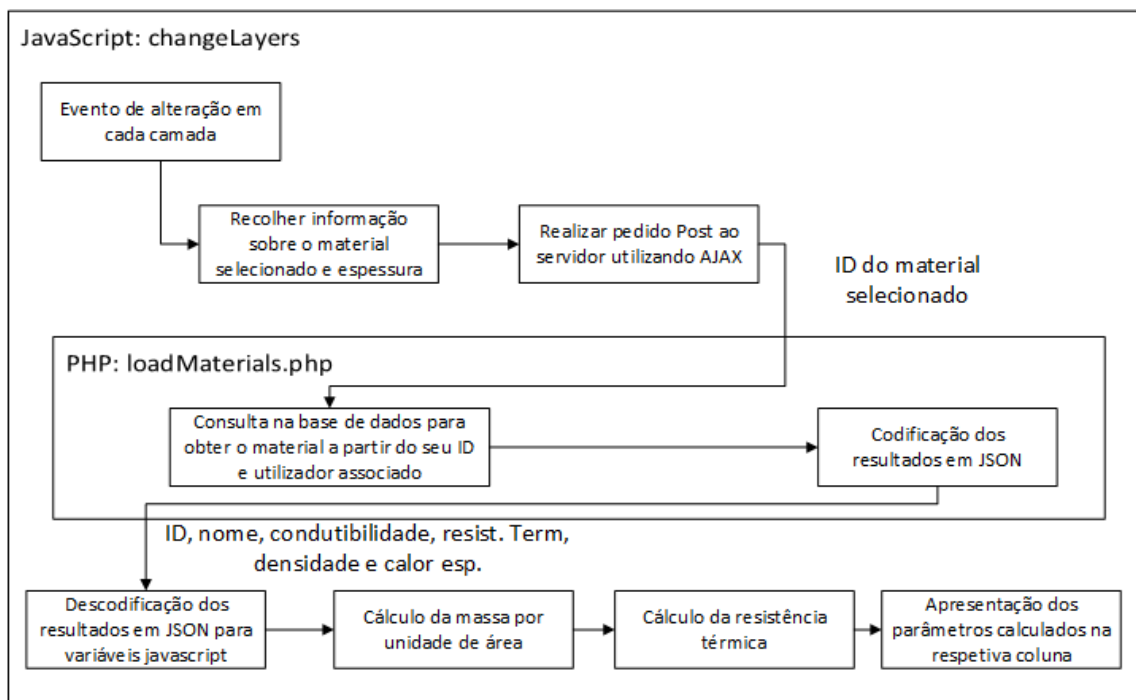


Figura 3.18 – Fluxograma de cálculo da resistência térmica e massa superficial por evento de alteração de cada camada.

O cálculo da espessura, da massa superficial e resistência térmica total é iniciado através de um evento que é acionado sempre que houver qualquer alteração na caixa de diálogo para criar ou editar a solução construtiva, incluindo as respetivas camadas, conforme ilustrado na Figura 3.19. Assim, com base na classe atribuída às caixas de texto, são recolhidas as espessuras, massas superficiais e resistência térmica de todas as camadas, bem como a resistência térmica da superfície interior e exterior. Cada grandeza é guardada num vetor. De seguida, é calculada a soma da espessura, da massa superficial e da resistência térmica recorrendo a um ciclo de repetição, de modo a percorrer todo o vetor. O coeficiente de transmissão térmica é obtido tendo em conta a resistência térmica de todas as camadas e a resistência das superfícies interior e exterior, calculado a partir das equações 2.8 e 2.9. Por fim, a espessura total, a massa total e o coeficiente de transmissão térmica são apresentados ao utilizador nas respetivas células, conforme ilustrado na Figura 3.17.

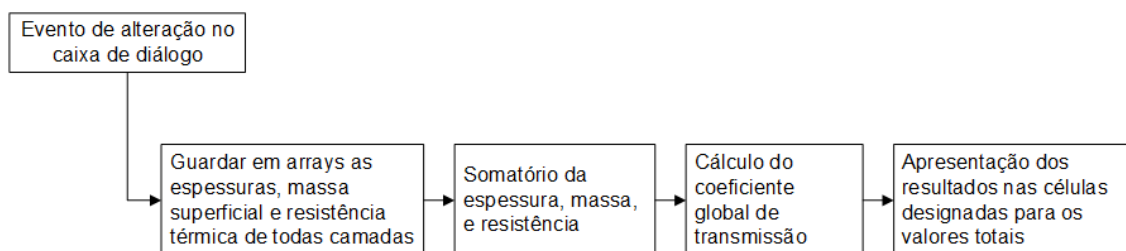


Figura 3.19 – Fluxograma do cálculo do coeficiente global de transmissão de uma solução construtiva.

3.3.6 Apresentação dos resultados das simulações

Após a parametrização de todos os elementos nas várias páginas da aplicação, procede-se ao cálculo das cargas térmicas, acessível a partir da barra lateral apresentada na Figura 3.12, no botão “Calcular cargas térmicas”, que redireciona para a página apresentada na Figura 3.20. Ao acionar o botão “Criar simulação”, o programa de cálculo é iniciado, conforme se descreve na secção 3.5. Após a conclusão do cálculo, é criado um registo da simulação, com indicação da data e hora, e atualizada a tabela com as simulações existentes para o edifício em análise. Ao abrir a simulação pretendida é apresentada uma caixa de diálogo para a definição das opções de visualização do relatório, podendo-se obter um relatório para as cargas térmicas máximas ou para as cargas térmicas num instante específico definido pelo utilizador.

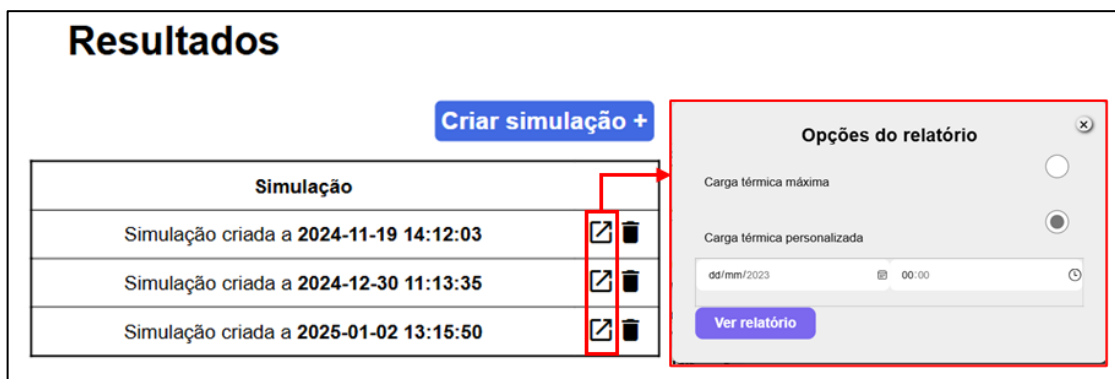


Figura 3.20 – Página para calcular e apresentar resultados

Os resultados da simulação são apresentados numa página dedicada, que inclui as informações sobre a simulação, o edifício, os espaços, tabelas com dados obtidos detalhados e gráficos ilustrativos das cargas térmicas calculadas. A Figura 3.21 apresenta as informações que constam do relatório, tais como data e hora que a simulação foi criada, o edifício em estudo e a respetiva localização, seguida de todos os espaços associados ao edifício. Para cada espaço, são apresentadas informações sobre o mesmo, nomeadamente o nome do espaço, a área, a data e hora de cálculo, a temperatura exterior e interior para essa hora de cálculo. A definição da data e hora de cálculo é realizada pelo utilizador, que pode optar por visualizar a carga térmica máxima ou a carga térmica num dado instante. Todas as informações do relatório são extraídas a partir da base de dados, recorrendo à programação do lado do servidor para as obter e apresentar.

Relatório de cargas térmicas

Simulação criada a 2025-01-06 11:00:41 por: Abel Agostinho

Edifício: **Caso estudo TFM**

Localização: **Lisboa, Portugal**

Espaço de escritórios

Espaço: **Espaço de escritórios** - Área: **94 m²**

Data e Hora de cálculo: **2023-09-21 15:00:00 [Carga térmica máxima]**

Temperatura exterior: **32.8°C** - Temperatura interior: **21°C**

Figura 3.21 – Informação sobre o edifício e espaços no relatório de cargas térmicas.

Após as informações sobre o espaço, é apresentada uma tabela com detalhe das cargas térmicas, conforme se ilustra na Figura 3.22. Nesta tabela, são apresentadas as diferentes origens das cargas térmicas, as características consideradas no cálculo e os respetivos valores resultantes. As origens incluem a envolvente envidraçada, a envolvente opaca exterior e interior, a iluminação e os equipamentos. Para as origens com múltiplos elementos, como a envolvente envidraçada, opaca exterior e interior e os equipamentos, são apresentados todos os elementos que contribuem para as cargas térmicas. Além disso, discrimina-se a componente de radiação e de condução existentes na envolvente envidraçada, e a distinção entre cargas térmicas sensíveis e latentes devido à ocupação. No final da tabela é apresentada o somatório das cargas térmicas totais, incluindo as componentes sensível e latente do espaço. Esta tabela foi implementada recorrendo à programação do lado do servidor, de modo a obter os resultados armazenados na base de dados e a apresentá-los de forma dinâmica.

	Características			Carga térmica [W]
Envolvente envidraçada				1489.4
Condução	A[m ²]	U[W/(m ² .K)]		173.3
Janela 1 - N	1.82	1.6		28.9
Radiação	A[m ²]	FS	Orientação	1316.2
Janela 1 - N	1.82	0.61	N	54.9
Envolvente opaca exterior	A [m ²]	U [W/(m ² .K)]	Orientação	176
Parede 1 - Norte	14.68	0.24	N	19.8
Parede 2 - Oeste	26.36	0.24	O	47.1
Envolvente opaca interior	A[m ²]	U[W/(m ² .K)]		152.4
Parede 5	19.5	1.612		94.3
Iluminação	996.4			865.8
Ocupação	Nº de ocupantes			1392.2
Sensível	15			717.2
Latente	15			675
Equipamentos	Potência [W]			903.7
Equipamentos de escritório	1000			903.7
			Carga sensível total	4304.5
			Carga latente total	675
			Carga total	4979.5

Figura 3.22 – Detalhe das cargas térmicas obtidas na data e hora de cálculo na aplicação.

No relatório, é apresentado um gráfico circular que permite visualizar a proporção das cargas térmicas, considerando as diferentes origens, conforme ilustrado na Figura 3.23. Este gráfico é criado no lado do cliente, programado em JavaScript, utilizando a biblioteca *ChartJs* (*Chart.js, 2024*), que permite criar vários gráficos de diferentes tipos. Este gráfico recebe os dados obtidos através de programação do lado do servidor a partir da base de dados.

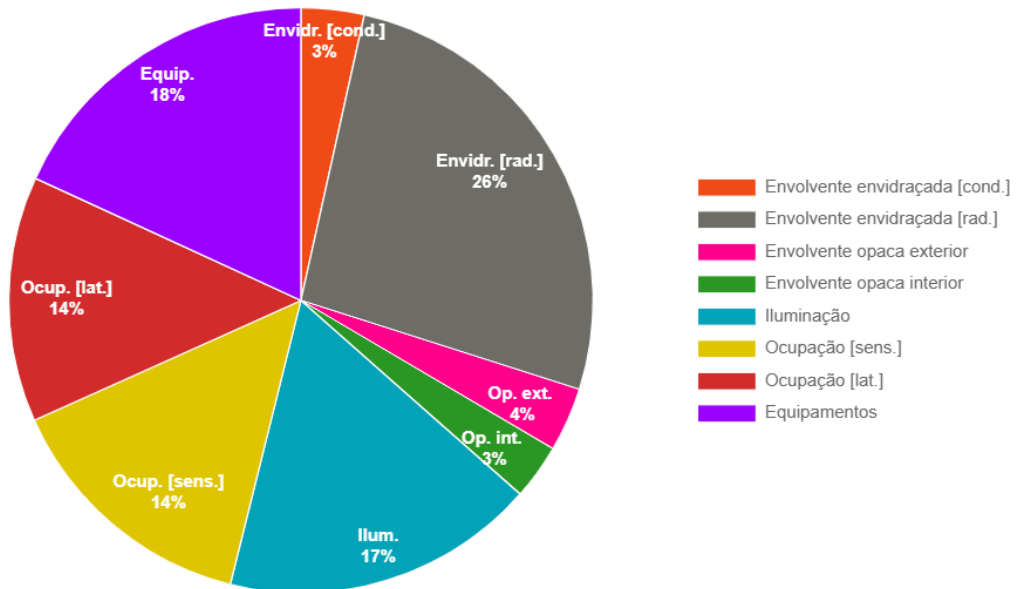


Figura 3.23 – Distribuição da carga térmica nas diferentes origens para a hora de cálculo.

O processo de criação do gráfico começa pela definição, em HTML, de um elemento *canvas*, como se apresenta na Listagem 3.5, ao qual é atribuída a classe *day_hourly_pie_chart* e os atributos dos dados da simulação, do espaço e da data e hora dos resultados a apresentar no gráfico.

```
<canvas class="charts day_hourly_pie_chart" data-simulationid="15" data-spaceid="8" data-date time="2023-09-21 15:00:00">
```

Listagem 3.5 – HTML: Elemento *canvas* para apresentação de gráfico.

O nome da classe do elemento *canvas* é associado a um objeto do script desenvolvido em JavaScript, como se mostra na linha 6 da Listagem 3.6, por forma a obter os dados atribuídos (linha 10 a 12) para cada um dos elementos (linha 8).

```
6 day_hourly_pie_charts = $('.day_hourly_pie_chart')
7
8 day_hourly_pie_charts.each(function () {
9     var currentChart = $(this)
10     var simulationID = $(this).data("simulationid")
11     var spaceID = $(this).data("spaceid")
12     var date time = $(this).data("date time")
```

Listagem 3.6 – JavaScript: Seleção do elemento com classe *day_hourly_pie_chart* e leitura dos seus dados.

Em seguida, é realizada uma consulta à base de dados para se obter as cargas térmicas a apresentar no gráfico, utilizando o processo apresentado na Figura 3.24. Este processo foi implementado com a metodologia utilizada nas soluções construtivas, onde se recorre ao mecanismo AJAX para se executar programas no lado do servidor a partir do cliente e obter os dados guardados na base de dados. A programação do lado do servidor estabelece a ligação com a base de dados para obter os resultados das cargas térmicas registados de todas as tabelas associadas à simulação em análise, assim como a respetiva data e hora de cálculo. Em seguida, são somadas as cargas térmicas obtidas por origem. As cargas por origem são enviadas para o script implementado em JavaScript, codificadas em JSON considerando que a chave é a origem e o valor é a carga térmica correspondente, conforme apresentado na Listagem 3.7. Uma vez obtida a informação no lado do cliente, a mensagem JSON é descodificada e as chaves e os valores são armazenados em variáveis em JavaScript. A partir destes dados, é criado o gráfico com recurso à biblioteca ChartJs.

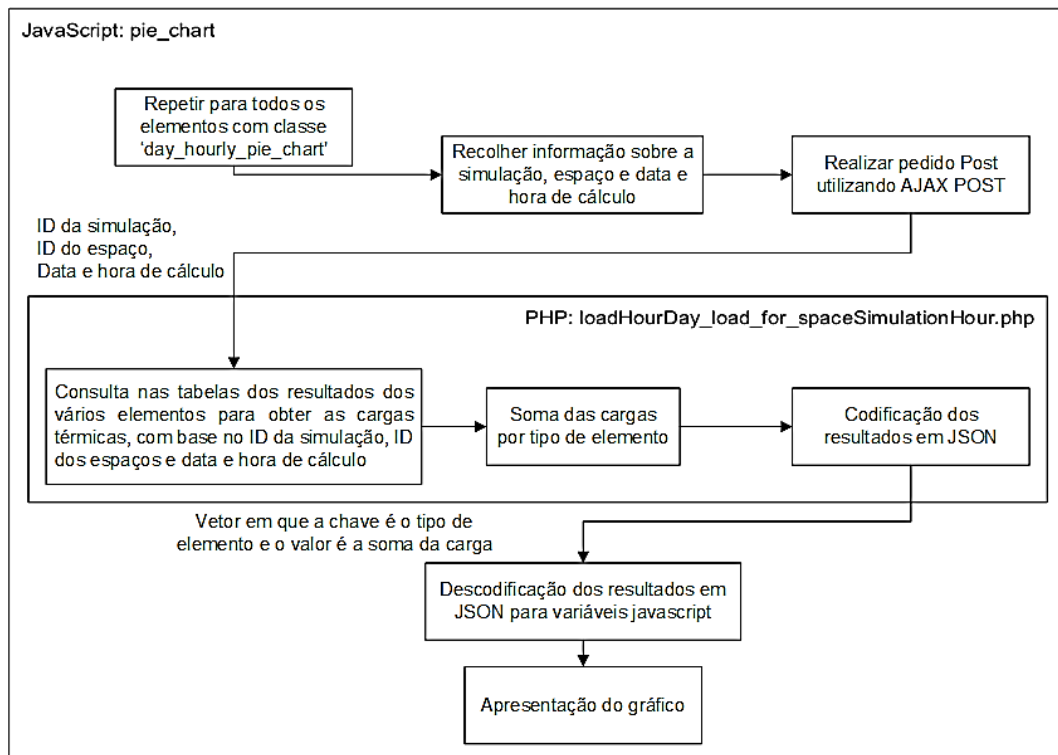


Figura 3.24 – Obter cargas térmicas por tipo de elemento utilizando AJAX para executar PHP.

```

1  {
2    "Envolvente envidra\u00e7ada [cond.]" : 173.25780000000003,
3    "Envolvente envidra\u00e7ada [rad.]" : 1316.1785,
4    "Envolvente opaca exterior " : 175.7861,
5    "Envolvente opaca interior " : 152.3762,
6    "Ilumina\u00e7\u00e3o" : 865.777,
7    "Ocupa\u00e7\u00e3o [sens.]" : 717.152,
8    "Ocupa\u00e7\u00e3o [lat.]" : 675,
9    "Equipamentos" : 903.735
10 }
  
```

Listagem 3.7 – Mensagem JSON de envio das cargas térmicas.

O gráfico é criado com um objeto *Chart* (Listagem 3.8 – linha 26) onde é indicado o elemento *canvas*, a partir da variável *currentChart* (Listagem 3.6 – linha 9) e alguns parâmetros como o tipo de gráfico (Listagem 3.8 – linha 27), neste caso, circular (*pie*) e os dados do gráfico, em que as etiquetas (Listagem 3.8 – linha 29 e 31) são as origens das cargas térmicas e os valores (Listagem 3.8 - linha 32) são as carga totais por origem.

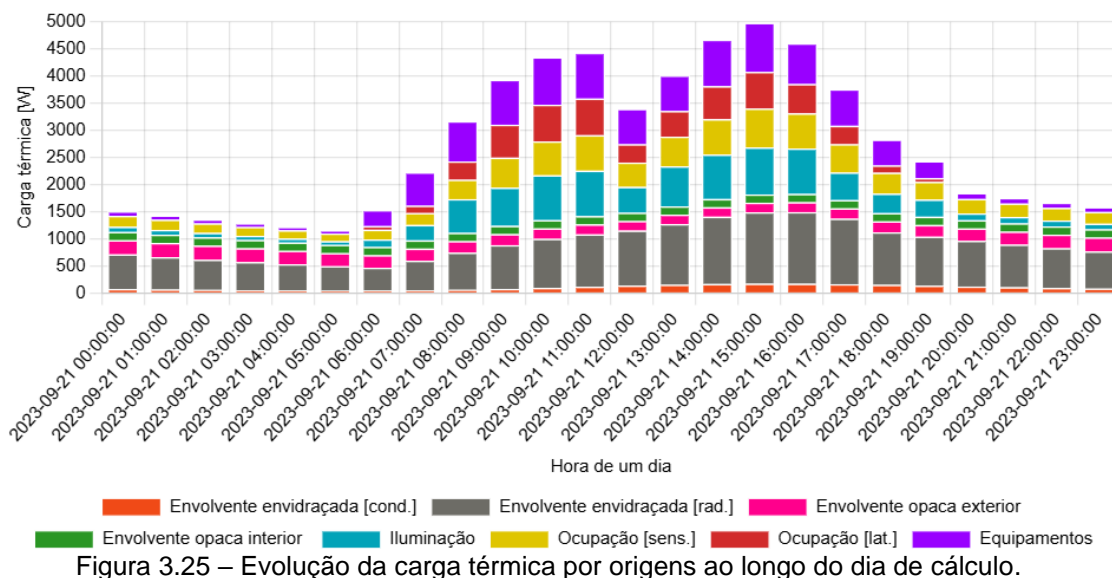
```

26     var pie_Chart = new Chart(currentChart, {
27         type: 'pie', //bar, horizontalBar, pie, Line,
28         data: {
29             labels: data_labels,
30             datasets: [{
31                 labels: data_labels_abrev,
32                 data: data_values,
33                 backgroundColor: graphColors,
34                 borderWidth: 1,
35                 borderColor: 'white'
36             }],
37     },

```

Listagem 3.8 – JavaScript: Criação de gráfico circular.

De seguida, o relatório apresenta um gráfico onde é possível visualizar a evolução horária da carga térmica, para o dia de cálculo, por origem da carga térmica, conforme se apresenta na Figura 3.25. O processo implementado para a criação deste gráfico de barras empilhadas é semelhante ao utilizado no gráfico circular da distribuição da carga térmica nas diferentes origens (Figura 3.23), mas com adaptações para representar séries temporais.



A Listagem 3.9 apresenta a criação do objeto do gráfico de barras (linha 110), onde se define a data e a hora como etiquetas da escala do eixo horizontal (linha 112) e cargas térmicas como dados a usar na construção das barras verticais empilhadas (linha 113).

```

109     var day_hour_bar_char = new Chart(currentChart, {
110         type: 'bar', //bar, horizontalBar, pie, Line, doughnut,
111         data: {
112             labels: graph_labels,
113             datasets: graphDatasets,
114         },

```

Listagem 3.9 – JavaScript: Criação de gráfico de barras.

A Listagem 3.10 descreve a variável *graphDatasets* utilizada no gráfico de barras empilhadas (Listagem 3.9 – linhas 113). Esta variável é um vetor com 8 posições, cada uma para cada origem de carga térmica. Em cada posição são definidas as cores a utilizar, a etiqueta da série, identificando a origem da carga térmica, e um vetor com 24 posições, onde são guardadas as cargas térmicas para cada hora.

```

(8) [{"label": "Equipamentos", data: Array(24), borderWidth: 1, borderColor: "white", backgroundColor: "#9900ff"},
      {"label": "Ocupação [lat.]", data: Array(24), borderWidth: 1, borderColor: "white", backgroundColor: "#d12b2b"},
      {"label": "Ocupação [sens.]", data: Array(24), borderWidth: 1, borderColor: "white", backgroundColor: "#dfc500"},
      {"label": "Iluminação", data: Array(24), borderWidth: 1, borderColor: "white", backgroundColor: "#02a3b8"},
      {"label": "Envolvente opaca interior", data: Array(24), borderWidth: 1, borderColor: "white", backgroundColor: "#2a9624"},
      {"label": "Envolvente opaca exterior", data: Array(24), borderWidth: 1, borderColor: "white", backgroundColor: "#ff008c"},
      {"label": "Envolvente envidraçada [rad.]", data: Array(24), borderWidth: 1, borderColor: "white", backgroundColor: "#6d6c66"},
      {"label": "Envolvente envidraçada [cond.]", data: Array(24), borderWidth: 1, borderColor: "white", backgroundColor: "#f04a17"}]

```

Listagem 3.10 – JavaScript: Estrutura da variável *graphDataset* para gráficos de barras.

O último gráfico do relatório apresenta a evolução da carga térmica máxima ao longo de um ano, como se ilustra na Figura 3.26. Este gráfico é criado com o mesmo processo realizado para o gráfico de barras empilhadas anterior (Figura 3.25). Contudo, neste gráfico, as etiquetas do eixo horizontal correspondem aos meses do ano e a hora de ocorrência da carga máxima em cada mês.

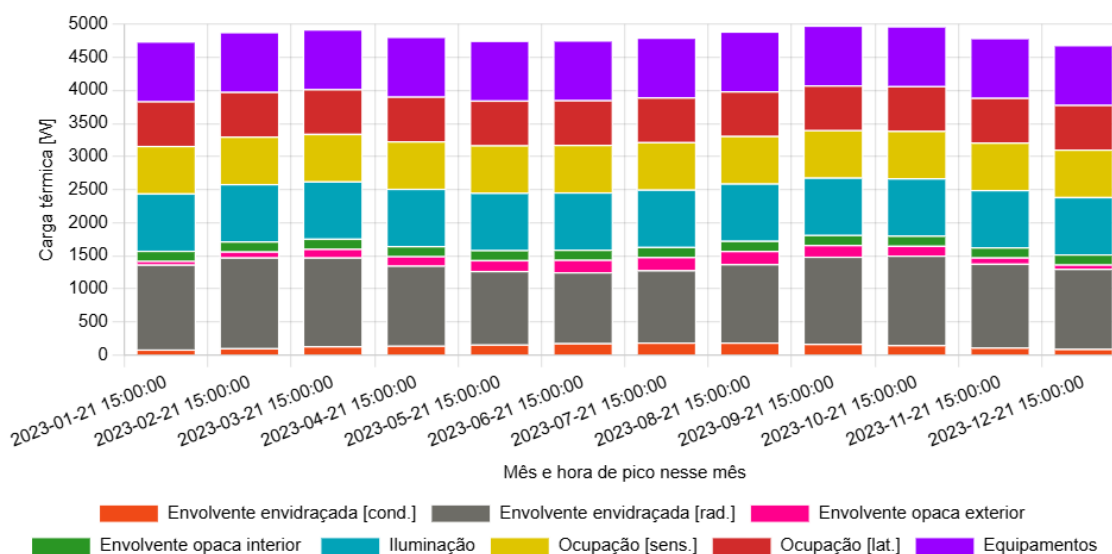


Figura 3.26 – Evolução da carga térmica máxima ao longo de um ano.

A Figura 3.27 apresenta a página do relatório com os resultados da simulação do cálculo de cargas térmicas, estando a totalidade do relatório no Apêndice II. O relatório pode ser impresso em papel ou para PDF ao pressionar no botão imprimir (Figura 3.27), que executa a função *print*, abrindo a ferramenta de impressão do navegador, onde o utilizador pode seleccionar uma impressora física ou guardar em PDF.

Relatório de cargas térmicas

Simulação criada a 2025-01-06 11:00:41 por: Abel Agostinho

Edifício: Caso estudo TFM

Localização: Lisboa, Portugal

Espaço de escritórios

Espaço: Espaço de escritórios - Área: 94 m²

Data e Hora de cálculo: 2023-09-21 15:00:00 [Carga térmica máxima]

Temperatura exterior: 32.8°C - Temperatura interior: 21°C

Tabela 1.1 - Carga térmica na data e hora de cálculo

Características	Carga térmica [W]	
	U	A
Envolvente envidraçada		1489,4
Condução		173,3
Janela 1 - N	1,82	1,6
Janela 2 - O	3,64	1,6
Janela 3 - S	3,64	1,6
Janela 4 - E	1,82	1,6
Radiação		1316,2
Janela 1 - N	1,82	0,61
Janela 2 - O	3,64	0,61
Janela 3 - S	3,64	0,61
Janela 4 - E	1,82	0,61
Envolvente opaca exterior		176
Paredo 1 - Norte	14,68	0,24

Figura 3.27 – Interface de apresentação de relatório do cálculo de cargas térmicas.

3.3.7 Funcionalidades adicionais

Após a criação das interfaces, foram implementadas funcionalidades adicionais, que permitem uma experiência mais agradável ao utilizador, sem alterar a forma de interação com a aplicação: tema de cores escuras e navegação em dispositivos móveis.

Desta forma, foi implementada a opção de serem apresentadas as interfaces com um tema de cores escuras com o intuito de reduzir o cansado visual (Eisfeld & Felix Kristallovich, 2020), conforme se ilustra na Figura 3.28. Esta funcionalidade pode ser ativada através de um botão adicionado no cabeçalho de todas as interfaces. As cores predefinidas são alternadas com a propriedade *color-scheme*, em CSS, sendo atribuído o valor *dark* para modo de cores escuras e *light* para modo de cores claras. As cores atribuídas são definidas através de variáveis, em CSS, que contém cores escuras ou claras, consoante o tema escolhido.

LOGÓTIPO Abel Agostinho
M7306@alunos.isel.pt

BOTÃO ALTERNAR TEMA →

Espaço de escritórios (Caso estudo TFM) Voltar

Paredes exteriores Adicionar elemento +

Nome da parede	Composição	U [W/(m ² .K)]	A [m ²]
Paredo 1 - Norte	Gesso(20mm) + Isol (150mm) + Bl. Betão baixa dens. (200mm) + Tj. face(100mm)	0.2404	14.68
Paredo 2 - Oeste	Gesso(20mm) + Isol (150mm) + Bl. Betão baixa dens. (200mm) + Tj. face(100mm)	0.2404	26.36
Paredo 3 - Sul	Gesso(20mm) + Isol (150mm) + Bl. Betão baixa dens. (200mm) + Tj. face(100mm)	0.2404	34.36
Paredo 4 - Este	Gesso(20mm) + Isol (150mm) + Bl. Betão baixa dens. (200mm) + Tj. face(100mm)	0.2404	16.18

Figura 3.28 – Interface de gestão de paredes exteriores em modo escuro.

Por fim, foi considerada a adaptação da interface desenvolvida para a utilização em dispositivos móveis (ex.: *smartphone*). A utilização de dispositivos móveis facilita o acesso e a interação com a aplicação, especialmente em ambientes de trabalho de campo ou em obra, proporcionando maior comodidade e agilidade para os profissionais da área da construção e engenharia. A Figura 3.29 apresenta três interfaces que ilustram as modificações implementadas. As tabelas foram modificadas para que os cabeçalhos sejam colocados em linha com todos os registos, como se verifica na Figura 3.29a e Figura 3.29b. Desta forma, o utilizador consegue visualizar todas as propriedades, sem necessidade de deslocamento horizontal, o que aconteceria em tabelas com múltiplas colunas, especialmente em ecrãs menores. Na adaptação para dispositivos móveis, as informações do edifício/espacos e os botões de navegação das páginas, anteriormente apresentados na barra lateral da interface (Figura 3.12 e Figura 3.13), encontram-se acessíveis numa barra localizada na zona inferior do ecrã, conforme ilustrado na Figura 3.29b e Figura 3.29c. Desta forma, otimiza-se o espaço de acordo com a largura do ecrã. A adaptação da aplicação é efetuada em CSS, por meio do mecanismo *media-queries*. No caso particular desta aplicação, sempre que a largura do ecrã seja inferior a 650px, uma estilização alternativa é automaticamente aplicada para otimizar a disposição dos elementos e garantir uma experiência de utilização adequada em dispositivos móveis.

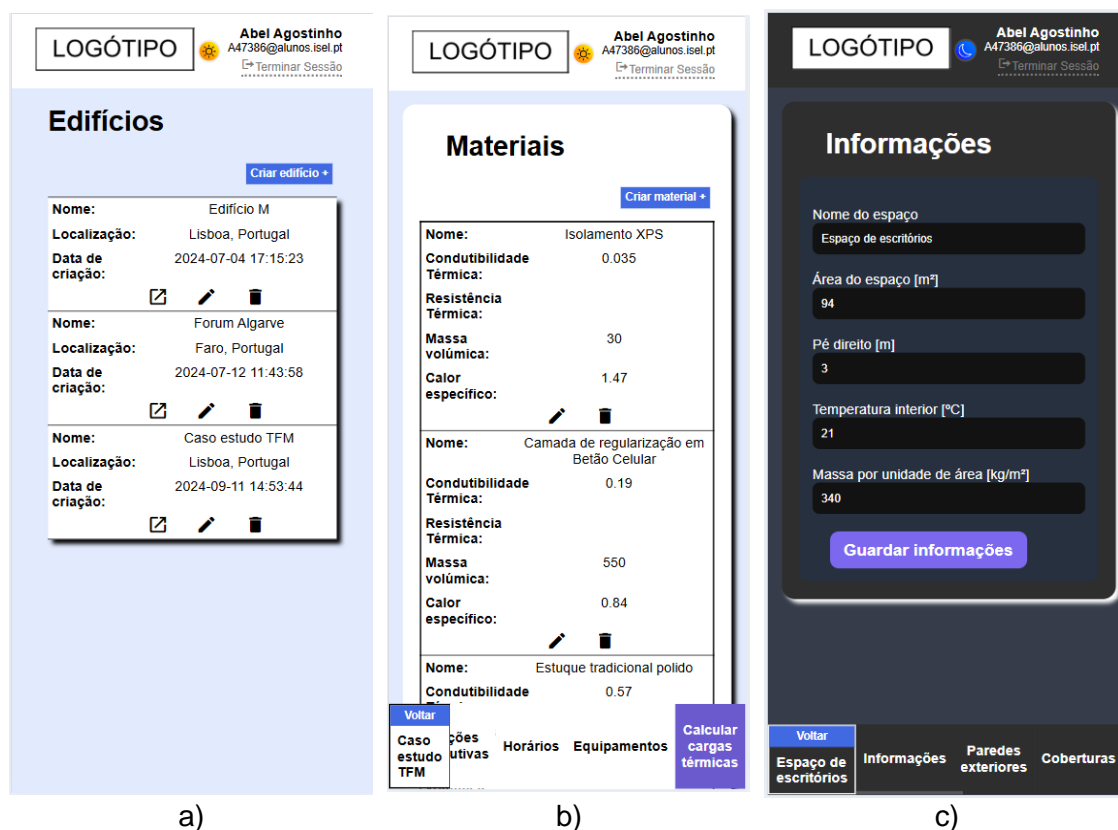


Figura 3.29 – Aparência da interface em dispositivos móveis para a) gestão dos edifícios b) gestão dos materiais e c) parametrização dos espaços.

3.4 Programação do lado do servidor

A programação do lado do servidor (Figura 3.1) permite diversas funcionalidades, tais como a criação de páginas dinâmicas, apresentando informação consoante o utilizador autenticado, comunicação com bases de dados, entre outros (Azul, 2010). Adicionalmente, permite o desenvolvimento de uma aplicação *web* mais segura, uma vez que o código não está acessível ao utilizador, ao contrário da programação no cliente desenvolvida, por exemplo, em JavaScript.

O PHP (*PHP: Hypertext Preprocessor*) é uma linguagem de programação de código-fonte aberto, interpretada e executada no lado do servidor e permite a integração com a base de dados MySQL. O PHP utiliza uma abordagem híbrida onde, por um lado, recorre a elementos de estrutura em HTML e, por outro, recorre à programação para a criação de conteúdo dinâmico (Shklar & Rosen, 2003).

3.4.1 Autenticação e autorização

A autenticação numa aplicação tem o intuito de identificar o utilizador que acede à aplicação de forma segura, para garantir a sua autenticidade (Chapman & Chapman, 2012). A autorização é um processo que define os recursos que o utilizador autenticado tem acesso (Chapman & Chapman, 2012). Estes dois conceitos são fundamentais na segurança dos sistemas informáticos. Para garantir estes requisitos desenvolveu-se um mecanismo para identificar o utilizador através de contas de utilizador.

A criação de uma conta de utilizador serve para criar um registo do utilizador, onde se inclui as credenciais de autenticação, por exemplo a palavra-passe. Nesta aplicação, o registo de utilizador é realizado através do formulário apresentado na Figura 3.8a. Geralmente, as credenciais de acesso são constituídas por uma cadeia de caracteres que identifica o utilizador, por exemplo, um nome de utilizador ou um endereço de email e de uma palavra-passe. Nesta aplicação o utilizador autentica-se através de um endereço de email e uma palavra-passe.

A manipulação de credenciais de acesso constitui uma tarefa crítica, pois envolve dados sensíveis sobre o utilizador que, se forem interceptadas por terceiros, permitem que estes passem a ter acesso indevido ao sistema. Caso haja um acesso não autorizado ao servidor ou à base de dados, estes dados ficam expostos, comprometendo a segurança e a privacidade dos utilizadores (Chapman & Chapman, 2012). Para mitigar este risco, é utilizada a técnica de *hashing*, que permite converter a informação sensível numa cadeia de texto aleatória de forma irreversível, utilizada para guardar palavras-passe (Chapman & Chapman, 2012).

Em PHP, esta técnica é aplicada pela função `password_hash`, conforme se apresenta na Listagem 3.11. Nesta função, é necessário indicar o texto a converter, o algoritmo e as opções a utilizar. Esta função permite a codificação com três algoritmos: BCRYPT, Argon2i, Argon2id, implementando o algoritmo BCRYPT, por padrão. Estes algoritmos variam no método utilizado para criar o texto aleatório de modo a reduzir o risco de ataque (Chapman & Chapman, 2012). Considerando o algoritmo BCRYPT, é definido o fator de custo, que representa o número de iterações a realizar, em expoente de base 2. Quanto maior o custo, mais segura é a cadeia de texto resultante. Caso seja omitido, é utilizado um valor de 10, por defeito. O “sal” é o conjunto de caracteres aleatórios adicionados no fim da palavra-passe. Isto permite que a cadeia resultante seja diferente. Tratando-se de uma cadeia aleatória, sempre que se realizar o processo de *hash*, obtém-se uma cadeia de caracteres diferentes, fazendo com que duas palavras-passe iguais sejam guardadas na base de dados como cadeias de caracteres diferentes. Isto permite que, em caso de acesso não autorizado dos registos das contas de utilizador armazenadas na base de dados, nunca será possível visualizar a palavra-passe real do utilizador.

```
$secPwd = password_hash($password, PASSWORD_BCRYPT, $options);
```

Listagem 3.11 – PHP: *Hashing* da palavra-passe utilizando a função `password_hash`.

O fluxograma do processo de criação de uma conta de utilizador é apresentado na Figura 3.30, em que o utilizador preenche um formulário (Figura 3.8a), que ao submeter é feita a validação desse formulário. Nessa validação é verificado se 1) todos os campos foram preenchidos, 2) o email não está associado a uma conta de utilizador registada na base de dados e 3) a palavra-passe e a confirmação da palavra-passe correspondem com comparação *case-sensitive*. Caso se verifiquem estas condições, procede-se à conversão da palavra-passe e é adicionado o utilizador à base de dados.

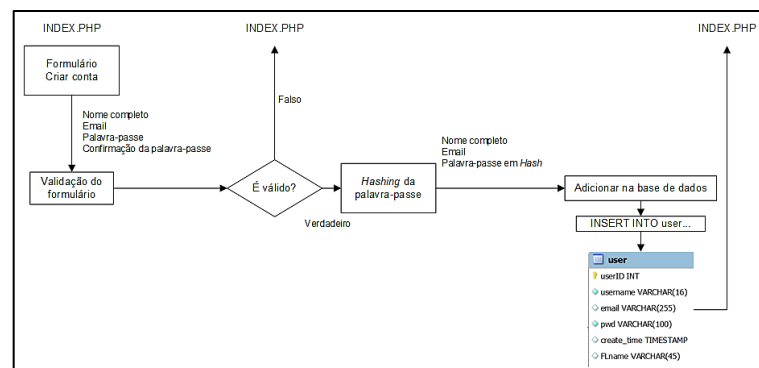


Figura 3.30 – Processo de criação de conta de utilizador.

Uma vez criada a conta de utilizador, o utilizador pode autenticar-se através do formulário de início de sessão disponível na página inicial (Figura 3.7). Neste formulário,

o utilizador indica o email e a palavra-passe, conforme apresentado na Figura 3.8b. Após submetido, os dados enviados são alvo de validação, conforme se descreve na secção 3.4.3.

Em seguida, realiza-se uma consulta na base de dados pelo email introduzido no formulário. Se o email existir, obtém-se a palavra-passe guardada na base de dados. A palavra-passe guardada na base de dados é comparada com a palavra-passe introduzida no formulário com recurso à função `password_verify`, que compara uma palavra-passe e a palavra-passe guardada na base de dados em *Hash*, com a sintaxe apresentada na Listagem 3.12.

```
password_verify($pwd, $storedPwd)
```

Listagem 3.12 – PHP: Verificação da palavra-passe utilizando a função `password_verify`.

Caso as palavras-passe correspondam, o utilizador é autenticado com recurso à autenticação baseada em sessões. As sessões permitem guardar informação do utilizador no lado do servidor e usá-la em diferentes páginas da aplicação, atribuindo-se um ID da sessão no servidor ao utilizador autenticado. Uma vez criada a sessão, é criado um *cookie* que contém o ID da sessão para se estabelecer a ligação entre o cliente em específico e o servidor. O *cookie* permite armazenar informação do utilizador, mas no lado do cliente. Durante a utilização da aplicação, sempre que houver um pedido do cliente ao servidor, é enviado esse *cookie* para o servidor, com o objetivo de confirmar que a sessão se encontra ativa (MDN contributors, 2024). Este processo é ilustrado na Figura 3.31.

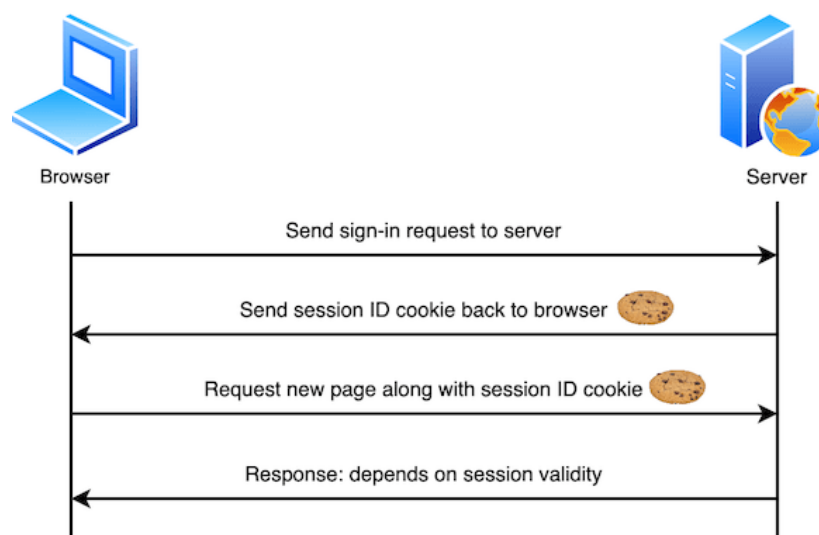


Figura 3.31 – Estabelecimento da comunicação cliente-servidor com recurso a sessões e *cookies* (MDN contributors, 2024).

A utilização de sessões requer uma parametrização para uma utilização segura. Segundo a documentação disponível em PHP (2024), recomenda-se o uso da opção

`session.use_only_cookies` para definir que o ID da sessão apenas seja atribuído a *cookies*, limitando ataques onde o ID da sessão provém de um URL. A opção `session.use_strict_mode` define que apenas podem ser utilizados ID da sessão que foram iniciados pelo servidor, rejeitando aqueles que foram criados manualmente no lado do cliente, através do URL ou por *cookie* (PHP, 2024). O ID da sessão deve ser renovado em determinadas situações, nomeadamente após alteração de privilégios, por exemplo, autenticação de um utilizador, ou após um determinado período, por exemplo, 15 minutos (PHP, 2024). A renovação do ID da sessão é realizada pela função `session_regenerate_id`, com a atribuição do valor booleano `true` como argumento, para que a sessão anterior seja eliminada. No lado do cliente, também é possível parametrizar o *cookie* associado à sessão, utilizando a função `session_set_cookie_params`, conforme se apresenta na Listagem 3.13. Esta função foi parametrizada com a duração e domínio do servidor em que o *cookie* é válido, e com os parâmetros opcionais `secure`, para limitar a utilização do *cookie* ao protocolo HTTPS (PHP, 2024) e `httponly`, para que seja apenas acessível por pedidos HTTP do servidor, impedindo a manipulação por programação no lado do cliente, como por exemplo, em JavaScript (PHP, 2024). Após a parametrização, a sessão é iniciada com a função `session_start`.

```
6  session_set_cookie_params([
7      'lifetime' => 1800, //Duração em segundos
8      'domain' => 'localhost',
9      'path' => '/',
10     'secure' => true,
11     'httponly' => true
12 ]);
```

Listagem 3.13 – PHP: Função para definir os parâmetros dos *cookies*.

A autenticação do utilizador passa por armazenar o ID do utilizador na variável global da sessão, `$_SESSION`, identificando o utilizador autenticado na sessão atual. Esta ação é realizada após a renovação do ID de sessão, conforme se apresenta na Listagem 3.14, que, em seguida, encaminha para página de gestão dos edifícios.

```
45     regenerate_session_id();
46
47     $_SESSION["user_id"] = $result["userID"];
48
49     header("Location: ../buildings.php"); //envia para a página dos edifícios
```

Listagem 3.14 – PHP: Autenticação do utilizador definindo a variável `$_SESSION["user_id"]`.

A Figura 3.32 apresenta o fluxograma do processo de autenticação do utilizador, detalhado anteriormente.

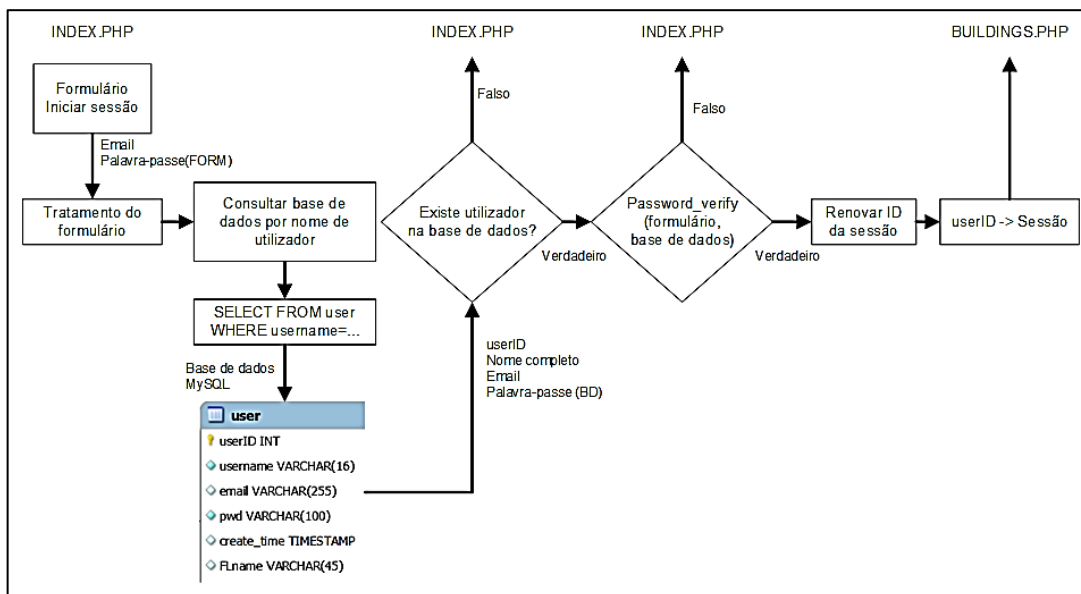


Figura 3.32 – Processo de autenticação do utilizador.

Para terminar a sessão, ou seja, retirar a autenticação dada ao utilizador, são utilizadas as funções *session_unset*, que elimina todos os dados guardados na sessão, e *session_destroy*, que elimina a sessão em si.

Conforme mencionado anteriormente, a autorização de uma aplicação define os recursos que o utilizador pode aceder e manipular. Em todas as páginas desta aplicação é comparada a informação sobre o utilizador com a informação guardada na base de dados pelas chaves primárias e chaves estrangeiras das várias tabelas, restringindo o acesso apenas ao utilizador autenticado. Nesta aplicação, em todas as páginas, exceto na página inicial (Figura 3.6), apenas é permitido o acesso ao utilizador que estiver autenticado. Caso não esteja autenticado, é direcionado para a página inicial, conforme descrito na Listagem 3.15.

```

6  if (!isset($_SESSION["user_id"])) {
7      // Verifica se o utilizador tem a sessão iniciada.
8      // Se não, é redirecionado para a página inicial index.php
9      header("Location: index.php");
10     die();
11 }

```

Listagem 3.15 – PHP: Verificação de utilizador autenticado.

A programação realizada nas páginas dos espaços, soluções construtivas, horários, equipamentos e simulação (Figura 3.6) verifica se o edifício, ao qual estes elementos são associados, pertence ao utilizador autenticado, como se apresenta na Listagem 3.16. Caso não se verifique, é realizado um redireccionamento para a página dos edifícios (Figura 3.9). Nas páginas de caracterização do espaço, paredes, cobertura, vãos envidraçados, iluminação, equipamentos, ocupação é verificado se o espaço

associado pertence a um edifício do utilizador autenticado. Caso não se verifique, é direcionado para a página dos edifícios (Figura 3.9). Além disso, sempre que se atualiza a informação de um determinado elemento, é verificado se esse elemento pertence ao utilizador.

```
18  if (!isset($_GET['buildingID'])) {
19      //Verifica se foi definido um edifício
20      //Se não for definido, é direcionado para a página de seleção do edifício
21
22      header("Location: buildings.php");
23      die();
24  } else {
25      $selectedBuildingID = $_GET['buildingID'];
26  };
27
28  $buildingData = get_building_from_DB($pdo, $selectedBuildingID, $_SESSION["user_id"]);
29
30  if (!$buildingData) {
31      //Verifica se o edifício selecionado existe na base de dados e está associado ao utilizador autenticado
32      //Se não verificar, é direcionado para a página de seleção do edifício
33
34      header("Location: buildings.php");
35      die();

```

Listagem 3.16 – PHP: Verificação do edifício selecionado.

3.4.2 Comunicação com a base de dados e manipulação de dados

A comunicação do servidor da base de dados com o servidor *web* é estabelecida utilizando objeto de dados PHP (*PDO - PHP Data objects*). Para iniciar a ligação, é criado um objeto com a definição de três parâmetros: a origem da base de dados, o nome de utilizador e a palavra-passe. Na origem da base de dados, define-se também o nome do SGBD, neste caso MySQL, o endereço, designado por *host*, e o nome da base de dados, resultando na sintaxe apresentada na Listagem 3.17:

```
$pdo = new PDO("mysql:host=$host;dbname=$dbname", $dbusername, $dbpassword);
```

Listagem 3.17 – PHP: Atribuição do objeto de dados para comunicação com a base de dados.

Os dados guardados na base de dados são manipulados a partir da programação do lado do servidor, utilizando declarações preparadas, que permitem enviar e compilar as instruções em momentos distintos do envio dos dados introduzidos pelo utilizador. O uso deste recurso permite aumentar a eficiência na execução da ação, alterando apenas os dados introduzidos. Além disso, reduz o risco de injeção de SQL, um tipo de ataque que compromete a integridade da base de dados, em que a informação introduzida pelo utilizador contém instruções (PHP, 2024).

A programação em PHP foi desenvolvida por forma a que os dados fossem processados no SGBD segundo a metodologia CRUD (*Create, Read, Update, Delete*), implementada no desenvolvimento das interfaces, como foi descrito na secção 3.3. A criação,

visualização, edição e remoção de registos na base de dados é executada pelos comandos SQL, *INSERT INTO*, *SELECT*, *UPDATE* e *DELETE*, respetivamente. Estas operações podem processar dados filtrados com uma condição lógica, utilizando a cláusula *WHERE*. No caso de uma operação envolver a manipulação de múltiplas tabelas, é aplicada uma junção de tabelas com recurso à cláusula *INNER JOIN*, relacionando-as pela chave estrangeira.

A Listagem 3.18 exemplifica como se obtém a informação sobre um espaço, utilizando declarações preparadas. Após o comando *SELECT*, são indicadas que informações devem ser recolhidas, onde a cláusula *FROM* especifica a tabela a consultar e a cláusula *WHERE* permite definir as condições consideradas na consulta. No caso do exemplo ilustrado na Listagem 3.18, são apresentados os espaços com ID igual a *:idEspacos* e que o ID do utilizador seja simultaneamente igual a *:userID*. Como o ID do utilizador não consta da tabela dos espaços, é necessário obtê-lo a partir da junção da tabela dos edifícios com recurso à cláusula *INNER JOIN*, considerando a chave *IDedificios* como chave estrangeira na tabela dos espaços. Em seguida, a instrução, sem incluir os dados fornecidos pelo utilizador, é enviada e compilada através do método *prepare* no objeto PDO. Os dados do utilizador são enviados para a base de dados utilizando o método *bindParam*, com os parâmetros do campo e do valor a atribuir. A instrução é executada, aplicando o método *execute*, sendo os resultados obtidos pelo método *fetch*.

```
6      $query = "SELECT idEspacos, nome_espaco, area, pe_direito,
7      temp_int, peso_construcao, edificios_idEdificio, nome_edificio, user_userID
8      FROM espacos INNER JOIN edificios ON edificios_idEdificio = idEdificio
9      WHERE idEspacos=:idEspacos AND user_userID=:userID ;";
10
11     $stmt = $pdo->prepare($query);
12
13     $stmt->bindParam(":idEspacos", $spaceID);
14     $stmt->bindParam(":userID", $userID);
15
16     $stmt->execute();
17
18     $result = $stmt->fetch(PDO::FETCH_ASSOC);
19     $stmt = null;
```

Listagem 3.18 – PHP: Obter informação sobre um espaço através de consulta em SQL, com base no ID.

Como mencionado anteriormente na secção 3.3, o utilizador insere os dados a registar através de formulários desenvolvidos em HTML, os quais são validados após o acionamento do respetivo botão de submissão. Após a validação, os dados são introduzidos na base de dados com a execução do comando *INSERT INTO*.

Conforme referido na secção dedicada ao desenvolvimento das interfaces gráficas (secção 3.3) e ilustrado na Figura 3.9, a apresentação dos vários registos é feita em tabelas. A seleção dos dados a apresentar é realizada com base numa consulta à base de dados, utilizando o comando *SELECT*. Os resultados obtidos da base de dados são recolhidos utilizando o método *fetch/fetchAll*. Os registos resultantes da consulta são integrados num ciclo de repetição *foreach* para repetir a apresentação de elementos HTML para construção das linhas da tabela, incorporando os dados de cada registo, com recurso ao comando *echo*, como se apresenta na Listagem 3.19.

```

27     foreach ($results as $row) {
28         echo "<tr>";
29         echo "<td data-cell='Nome: '>" . $row["nome_espaco"] . "</td>";
30         echo "<td data-cell=' '><button title='Abrir espaço' class='table-action-btn access-btn'
31         <a class='access-btn' href='space-info.php?spaceID=" . $row["idEspacos"] . "'><i class='material-icons'>&#xe895</i>
32         </a></button>";
33
34         echo "<button title='Editar espaço' onclick='f_openEditSpace(" . $row["edificios_idEdificio"] . "," . $row["idEspacos"] . ")'
35         class='table-action-btn open-editBuildingPopUp edit-btn'><i class='material-icons'>&#xe3c9</i></button>";
36
37         echo "<button title='Apagar espaço' class='table-action-btn delete-btn'
38         <a class='delete-btn' onclick='\" javascript:return confirm('Deseja eliminar');\"
39         href='includes/room-delete.php?idSpaceDelete=" . $row["idEspacos"] . "'>
40         <i class='material-icons'>deletex</i></a></button></td>";
41         echo "</tr>";

```

Listagem 3.19 – PHP: Ciclo de repetição *foreach* para visualizar elementos.

Quando o utilizador pretende editar dados de elementos, os dados previamente armazenados na base de dados são apresentados nos campos de entrada. Estes dados são obtidos a partir de uma consulta na base de dados, com base no ID do elemento a editar. O ID do elemento a editar é incorporado no URL e é acedido no formulário de edição através do método *GET*. A Listagem 3.20 apresenta como é o obtido o ID de um espaço.

```

// --- EDIÇÃO DE ESPAÇOS ---
if (isset($_GET["idRoomEdit"])) {
    //Verifica se foi ativado o modo de edição de edifício

    $id_room_edit = $_GET["idRoomEdit"];

    $result_room_edit = get_info_editing_Room($pdo, $id_room_edit);

```

Listagem 3.20 – PHP: Obter dados sobre um edifício, utilizando variável *GET*.

Em seguida, é realizada uma consulta à base de dados, semelhante à descrita na Listagem 3.18. Os resultados obtidos da base de dados são usados numa instrução constituída por código PHP e HTML para os apresentar na interface, conforme se apresenta na Listagem 3.21.

```

<input type="text" name="space_name" id="" placeholder="Nome do espaço" required
value="<?php echo $result_room_edit["nome_espaco"] ?>" />

```

Listagem 3.21 – HTML e PHP: Atribuir valor guardado na base de dados a uma caixa de texto.

O acionamento do botão de eliminação de um registo executa um ficheiro PHP que realiza tal ação, sendo o ID do registo a eliminar acedido pelo método *GET* (Listagem 3.22).

```
$idSpaceDelete = $_GET["idSpaceDelete"];
```

Listagem 3.22 – PHP: Obter o ID do espaço a remover através do método *GET*.

Em seguida, é realizada uma validação dos dados, semelhante à validação feita nos formulários, seguindo-se o processo de eliminação do registo, utilizando declarações preparadas e o comando *DELETE* (Listagem 3.23).

```
$query = "DELETE FROM espacos WHERE idEspacos=:idSpaceDelete;";  
$stmt = $pdo->prepare($query);  
  
$stmt->bindParam(":idSpaceDelete", $idSpaceDelete);  
$stmt->execute();
```

Listagem 3.23 – PHP e SQL: Eliminar o registo do espaço na base de dados definido pelo ID.

3.4.3 Validação de formulários

Os formulários são utilizados para obter dados fornecidos pelo utilizador. Os dados do formulário são enviados para a localização descrita no atributo de ação, como se apresenta na linha 57 da Listagem 3.24, de acordo com o método HTTP definido. Os principais métodos de transmissão de dados em HTTP são o *get* e o *post*. O método *get* é utilizado para enviar os dados através do endereço URL, enquanto o método *post* transmite os dados no corpo da solicitação ao servidor, sendo uma forma mais segura de transmissão dos dados (W3School, 2025).

```
57 <form action="includes/AddBuildingsForm.php" method="post">  
58  
59 <label for="building_name_create">Nome do edifício</label>  
60 <input type="text" name="building_name" id="building_name_create" placeholder="Nome do edifício" required />  
61
```

Listagem 3.24 – HTML: Ação e método de envio de formulários.

As instruções PHP para ler os dados dos campos de entrada utilizam o nome atribuído a esse campo (Listagem 3.24 – linha 60) e as variáveis *\$_GET* ou *\$_POST*, consoante o método HTTP utilizado. A Listagem 3.25 exemplifica a recolha de informação do nome do edifício, com recurso ao método *POST*, armazenando o seu valor na variável *\$building_name*:

```
$building_name = $_POST["building_name"];
```

Listagem 3.25 – PHP: Acesso a variáveis enviadas através do método *POST/GET*.

Após a leitura dos dados dos campos de entrada do formulário procede-se à sua validação, por forma a garantir que o utilizador inseriu os dados de forma correta. A primeira validação verifica se existem campos vazios, utilizando a função *empty*, como se apresenta na linha 19 da Listagem 3.26. Esta função devolve o valor booleano verdadeiro sempre que a informação não for preenchida. Caso se verifique a existência de campos vazios, os erros são guardados num vetor associativo, em que a chave é o nome do erro e o seu valor é a mensagem a apresentar ao utilizador (linha 20).

```
19         if (empty($building_name)) {
20             $errors["empty_input"] = "Campos não preenchidos";
21         };
```

Listagem 3.26 – PHP: Verificação de campos vazios com a função *empty*.

Adicionalmente, são realizadas verificações adicionais a alguns dados inseridos pelo utilizador, que se descrevem de seguida. Os campos que apenas devem ter dados numéricos são verificados com a função *is_numeric*, para garantir que apenas possuem dados numéricos. No caso de introdução de dados unívocos, é realizada uma consulta na base de dados para verificar se a informação submetida pelo utilizador já consta nos registos da base de dados. Por exemplo, na criação de um utilizador deve ser verificado que não existem registos com o mesmo email, por forma a evitar a criação de dois utilizadores com a mesma identificação de acesso. Também é validado se o utilizador está autorizado para realizar as operações que pretende efetuar nos registos. Por exemplo, o utilizador apenas pode editar um edifício que lhe pertença. Outras validações incluem a verificação das opções selecionadas em caixas de seleção, intervalo numérico, dimensão de vetores, entre outras.

Se não existirem erros, a ação para qual o formulário foi desenvolvido é executada. Caso se obtenham erros na validação, é realizado um redirecionamento para a página onde foi preenchido o formulário, para que o utilizador os possa corrigir, enviando o vetor que armazena as informações sobre os erros através de variáveis de sessão, como se mostra na Listagem 3.27.

```
23         if ($errors) {
24             // Avalia se existem erros
25
26             $_SESSION["error_create_building"] = $errors;
27             header("Location: ../buildings.php");
28
29             die(); //se existirem erros o programa termina aqui
30         }
```

Listagem 3.27 – PHP: Declaração das variáveis de erro e regresso à página do formulário.

Os erros obtidos são apresentados ao utilizador de acordo com Listagem 3.28, implementando um ciclo de repetição *foreach* para iterar o vetor. Em cada iteração, o comando *echo* permite apresentar elementos HTML, onde são criados parágrafos, com a marca *<p>*, onde se inclui a mensagem de erro.

```
foreach ($errors as $error) {  
    echo '<p class="form-error">' . $error . '</p>';  
}
```

Listagem 3.28 – PHP: Ciclo de repetição para apresentação dos erros do formulário.

3.4.4 Execução do programa de cálculo de cargas térmicas

Após a parametrização do edifício e de todos os seus elementos, são calculadas as cargas térmicas, executando um programa desenvolvido em linguagem Python, que se descreve na secção 3.5. O acionamento do botão “criar simulação +” (Figura 3.20) executa um script, em PHP, onde é criado um registo de simulação na tabela de simulações na base de dados, com o armazenamento da chave primária do edifício e a data que foi criada. A Listagem 3.29 apresenta as instruções PHP para a inserção de uma nova simulação na base de dados e a instrução para se obter o ID associado a essa simulação com o método *lastInsertID* (linha 29). O registo de simulações permite armazenar vários cenários para um mesmo espaço e edifício, onde diferentes parâmetros resultem em diferentes cargas térmicas. Esta abordagem torna possível visualizar todas as simulações sem precisar de calcular as cargas térmicas novamente, reduzindo o esforço computacional realizado no servidor.

```
22     $query = "INSERT INTO simulacao(edificios_idEdificio) VALUES (:buildingID);";  
23  
24     $stmt = $pdo->prepare($query);  
25     $stmt->bindParam(":buildingID", $buildingID);  
26  
27     $stmt->execute();  
28  
29     $simulationID = $pdo->lastInsertID();
```

Listagem 3.29 – PHP e SQL: Introdução de uma nova simulação na base de dados.

O programa de cálculo de cargas térmicas é executado pela função *exec*, que permite executar comandos do sistema operativo e ler os seus resultados (PHP, 2024). A Listagem 3.30 apresenta, na linha 39, a implementação da função *exec*, tendo como parâmetros, o comando a executar (*\$command*), a variável onde é guardado o resultado desse comando (*\$output*) e o estado desta ação (*\$result_code*). O comando a executar deve ser uma *string* que defina a linguagem de programação Python, seguida de parâmetros como a versão, caso existam várias instaladas no sistema, a localização do programa a executar e os argumentos a utilizar nesse programa, separado por espaços

(linha 38). Os argumentos do programa de cálculo são o ID do utilizador autenticado e o ID da simulação. A função *escapeshellcmd* garante que apenas é executado um comando, removendo caracteres que possam iniciar novos comandos (PHP, 2024).

```
38     $command = escapeshellcmd("py -3.10 ../Python/main.py " . $_SESSION["user_id"] . " " . $simulationID);
39     exec($command, $output, $result code);
```

Listagem 3.30 – PHP: Execução do programa de cálculo em Python a partir do servidor.

O código da Listagem 3.30 executa o programa de cálculo de cargas térmicas, para o utilizador e simulação respetiva, e armazena as linhas de texto apresentadas no terminal em Python na variável *\$output*, embora nesta aplicação, estes dados não sejam utilizados.

3.5 Programa de cálculo de cargas térmicas em edifícios

A metodologia de cálculo de cargas térmicas apresentada na secção 2.2.3 é implementada na aplicação *web*, utilizando a linguagem Python. Esta linguagem implementa o paradigma de programação orientada a objetos e tem a vantagem de apresentar uma sintaxe de implementação e aprendizagem simples. Além disso, possui várias bibliotecas instaladas ou desenvolvida por terceiros, e possibilidade de integração com outras componentes, como, por exemplo, a biblioteca de comunicação com base de dados MySQL, desenvolvida por MySQL (2025b), cuja utilização se descreve na secção 3.5.2.

O fluxograma geral do programa de cálculo é apresentado na Figura 3.33. O programa começa por obter o ID do utilizador e o ID da simulação que foram definidos na instrução de execução do programa, executada a partir da programação do lado do servidor (Listagem 3.30). A partir do ID do utilizador e da simulação, o programa executa uma consulta na base de dados para obter os dados sobre o edifício e os espaços respetivos. Posteriormente, executa o algoritmo de cálculo das cargas térmicas e, finalmente, envia os resultados para a base de dados, por forma a serem acedidos pela interface *web* de apresentação de resultados.

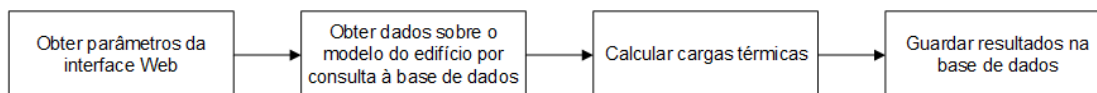


Figura 3.33 – Fluxograma geral do programa de cálculo.

As próximas subsecções descrevem detalhadamente cada um dos passos do programa apresentados na Figura 3.33.

3.5.1 Obter a identificação do utilizador e da simulação

Os dados do edifício utilizados nos cálculos de cargas térmicas são obtidos na base de dados, com base na identificação do utilizador e da simulação de cálculo que se pretende realizar. Estes dados são enviados para o programa, como argumentos da instrução do sistema operativo que inicia a execução do programa, conforme foi detalhado na secção 3.4.4.

O programa começa por obter os argumentos enviados a partir da programação do lado do servidor. Para isso, recorre-se à variável `argv` do módulo `sys`, conforme se apresenta na Listagem 3.31. A variável `argv` é uma lista sendo a primeira posição (índice = 0) reservada para o nome do programa (Python, 2022). A posição 1 da lista armazena o ID do utilizador autenticado e a posição 2 armazena o ID da simulação, conforme definido na Listagem 3.30.

```
455     if len(sys.argv) > 1:
456         userID = sys.argv[1]
457         simulationID = sys.argv[2]
```

Listagem 3.31 – Python: Obter ID de utilizador e simulação enviados pelos argumentos do programa.

3.5.2 Leitura dos dados do edifício armazenados na base de dados

Os dados do modelo do edifício a utilizar no cálculo de cargas térmicas estão armazenados na base de dados MySQL, de acordo com o modelo de dados desenvolvido na secção 3.2. Uma vez obtidos o ID do utilizador e o ID da simulação, conforme a descrição da secção 3.5.1, são realizadas várias consultas às tabelas da base de dados para se obter os dados sobre o edifício necessários para o cálculo das cargas térmicas. O processo realizado para a leitura dos dados armazenados nas tabelas da base de dados é ilustrado na Figura 3.34.

A primeira consulta é realizada à tabela de simulações para se obter o ID do edifício em estudo. O ID do edifício permite realizar uma consulta na tabela dos edifícios para obter as informações do edifício e a respetiva localização, a partir da qual se obtêm os dados meteorológicos. O ID do edifício também permite consultar a tabela dos espaços por forma a se obter os espaços associados ao edifício em estudo.

O ID dos espaços é utilizado como chave estrangeira nas tabelas dos vários elementos que afetam as cargas térmicas para se obter os dados da envolvente opaca exterior, envolvente opaca interior, vãos envidraçados, iluminação, ocupação e equipamentos.

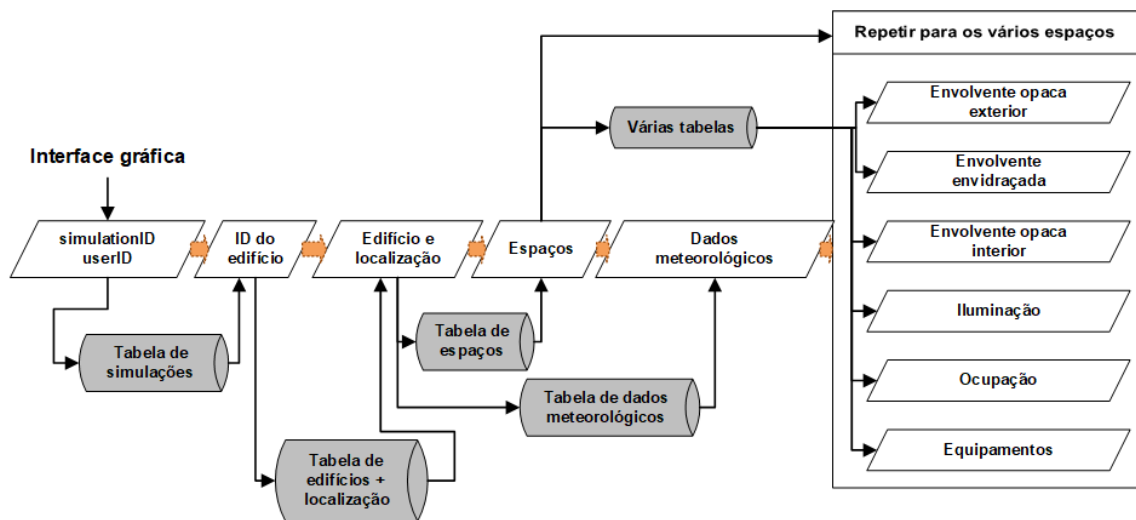


Figura 3.34 – Processo de leitura dos dados da base de dados no programa em Python.

A comunicação entre o Python e o SGBD MySQL é estabelecida com recurso ao driver/biblioteca *MySQL connector*. Esta biblioteca possui o método *connect* para estabelecer a comunicação, sendo necessário definir os seguintes parâmetros: o endereço do servidor da base de dados, o nome de utilizador, a palavra-passe do utilizador e nome da base de dados. A utilização do método *connect* cria um objeto, *mydb*, que é utilizado para a comunicação com a base de dados, utilizando a sintaxe que se apresenta na Listagem 3.32:

```
mydb = mysql.connector.connect(host=host,user=dbusername,password=dbpassword,database=dbname)
```

Listagem 3.32 – Python: Parametrização do objeto de acesso à base de dados.

Após a definição do objeto de acesso à base de dados, é possível inserir, consultar, atualizar e eliminar dados da base de dados utilizando declarações preparadas. A utilização de declarações preparadas permite executar comandos SQL de forma compilada e segura, podendo ser utilizada com parâmetros variáveis, conforme apresentada na secção 3.4.2. A instrução SQL é definida em cadeia de texto formatada com parâmetros definidos, sendo os parâmetros inseridos na posição definida por %s.

Em seguida, é criado um objeto *cursor*, que representa um cursor na base de dados, ao qual podem ser aplicados métodos para gestão das consultas. Ao criar o cursor no objeto da base de dados, aplicou-se um parâmetro para definir que os dados obtidos da base de dados serão armazenados em dicionários, onde as chaves serão os nomes das colunas na tabela. Posteriormente, é aplicado o método *execute* com base em declarações preparadas, utilizando os dados de pesquisa. Os resultados são obtidos aplicando o método *fetchone* ou *fetchall* no objeto cursor, caso se pretenda o primeiro registo ou todos os registos, respetivamente. No caso das operações que modificam

dados nas tabelas, como a inserção de dados, é necessário utilizar o método *commit* no objeto da base de dados, *mydb*, definido na Listagem 3.32, para que os dados sejam armazenados (MySQL, 2025b).

Por fim, é fechado o cursor com a aplicação do método *close*. A Listagem 3.33 exemplifica a utilização de declarações preparadas para a consulta dos dados dos vãos envidraçados de um espaço com ID armazenado na variável *spaceID*.

```
query = "SELECT * FROM envidracados WHERE Espacos_idEspacos = %s ;"  
cursor = mydb.cursor(dictionary=True)  
  
cursor.execute(query, [spaceID])  
result = cursor.fetchall()  
  
cursor.close()
```

Listagem 3.33 – Python e SQL: Consulta na base de dados por vãos envidraçados.

3.5.3 Implementação do algoritmo de cálculo de cargas térmicas

Após a leitura de todo o modelo do edifício necessários, segue-se a programação do algoritmo de cálculo de cargas térmicas. Como foi referido na secção 2.2.3, a implementação do método de função de transferência começa pelo cálculo dos ganhos térmicos provenientes das várias origens e, em seguida, das respetivas cargas térmicas.

Para implementar o método da função de transferência num programa em Python, foram desenvolvidas várias funções para o cálculo dos ganhos e cargas térmicas, agrupadas por origem, sendo que as funções das cargas térmicas têm como parâmetros de entrada os ganhos térmicos, calculados pelas respetivas funções, conforme se apresenta na Figura 3.35. Foram desenvolvidas funções para o cálculo da irradiância na envolvente opaca exterior e do fator de ganho térmico solar existentes na envolvente envidraçada, implementando a metodologia apresentada na secção 2.3. A temperatura solar é determinada após o cálculo da irradiância, numa função que recebe a irradiância solar calculada e dados meteorológicos, implementando a equação 2.4. A temperatura interior e o peso de construção são obtidos a partir dos dados sobre o espaço e são utilizados no cálculo do ganho térmico na envolvente e no cálculo da carga térmica, respetivamente.

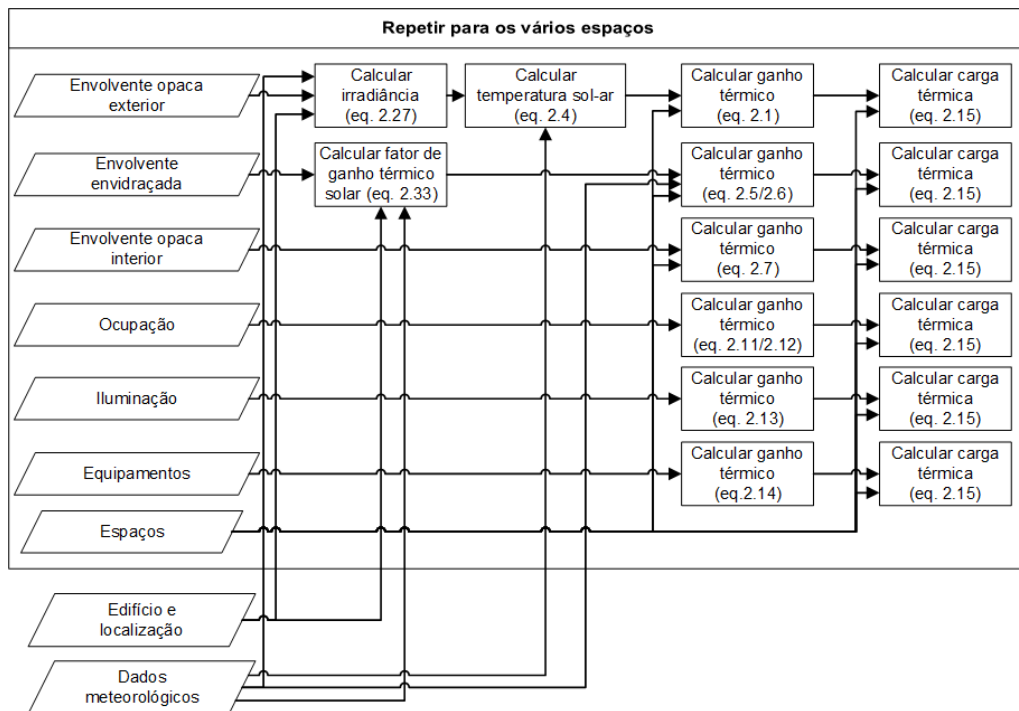


Figura 3.35 – Sequência de cálculo das cargas térmicas por origem e dados necessários para o cálculo.

A Listagem 3.34 apresenta a função utilizada para calcular o ganho e a carga térmica na envoltura opaca exterior. Nesta função, é obtido o coeficiente da função de transferência w_1 em função do peso de construção (linha 24 – 28), sendo os valores de referência do peso de construção e do respectivo coeficiente (linhas 24 – 25) obtidos em ASHRAE (1997). O mesmo processo é realizado para v_0 e v_1 (equação 2.15).

```

1 def calc_carga_envolv_op_ext(area_sup: float, temperatura_int: float, temperatura_ext: list, fluxo_solar: list,
23     # Cálculo dos coeficientes da função de transferência do espaço
24     x_w1 = [50, 200, 370, 590, 780]
25     y_w1 = [-0.84, -0.90, -0.94, -0.96, -0.97]
26
27     w1_interp = interp1d(x_w1, y_w1, 'linear')
28     w1 = w1_interp(peso_construcao)
29     (...)
30
31     n_group_diario = int(len(temperatura_sol_ar) / 24)
32
33     for month in range(0, n_group_diario):
34         hora_inicial = 24 * month
35         hora_final = 24 * month + 24
36
37         temperatura_sol_ar_atual = temperatura_sol_ar[hora_inicial:hora_final]
38
39         # Cálculo dos ganhos térmicos
40         ganho_termico_mensal = ganho_termico_envoltura.ganho_parede_ext_cob(area_sup, temperatura_sol_ar_atual,
41                                     temperatura_int, b_n, soma_c_n, d_n)
42         ganho_termico_anual.append(ganho_termico_mensal)
43
44         # Conversão de ganhos térmicos em carga térmica
45         carga_termica_mensal = heat_gain2cooling_load(ganho_termico_mensal, v0, w1, v1)
46         carga_termica_anual.extend(carga_termica_mensal)
47
48     return carga_termica_anual

```

Listagem 3.34 – Python: Função para cálculo do ganho térmico e carga térmica na envoltura opaca exterior

Em seguida, são calculados os ganhos térmicos (Listagem 3.34 – linha 50) e as respectivas cargas térmicas (linha 55) num ciclo de repetição, sendo o cálculo iterado

para o número de dias proporcional à dimensão da lista da temperatura sol-ar (linha 41). Isto permite ajustar o cálculo para um dia, um mês ou um ano. Esta função foi repetida para todas as envolventes, ocupação, iluminação e equipamentos.

A Listagem 3.35 apresenta a implementação do cálculo do ganho térmico na envolvente opaca exterior através de uma função desenvolvida em Python. Esta função é utilizada na linha 50 da Listagem 3.34 e é baseada nas equações 2.1, 2.2 e 2.3 apresentadas na secção 2.2.3. O cálculo divide-se em calcular os valores iniciais nas linhas 2-22 e realizar o processo iterativo nas linhas 24-48 utilizando um ciclo *while*. No ciclo *while* (linha 26) é verificada a equação 2.3, comparando a media nova com a anterior e o número de iterações.

```

1 def ganho_parede_ext_cob(A: float, t_sol: list, trc: float, coef_b, soma_coef_c, coef_d, nmax_iter=1000, limit_conv=0.0001):
2     # Valores Iniciais
3     q_total_wall = [0]*24
4     soma_b_t = list()
5     soma_d_q = list()
6     for h in range(len(t_sol)):
7         prod_b_t = list()
8         prod_d_q = list()
9         for n in range(1, len(coef_d)):
10            prod_d=(coef_d[n]*q_total_wall[h-n])
11            prod_d_q.insert(n, prod_d)
12
13            for n in range(len(coef_b)):
14                prod_b=(coef_b[n]*t_sol[h-n])
15                prod_b_t.insert(n, prod_b)
16
17            soma_b_t.insert(h, sum(prod_b_t))
18            soma_d_q.insert(h, sum(prod_d_q))
19            q_total_wall[h]=soma_b_t[h]-soma_d_q[h]-trc*soma_coef_c
20
21            media_anterior=0
22            media_nova=sum(q_total_wall)/len(q_total_wall)
24
25            # convergência
26            iter=-1
27            while (abs(media_nova-media_anterior)
28                )/abs(media_nova)>limit_conv and iter<nmax_iter:
29                media_anterior=media_nova
30                soma_b_t=list()
31                soma_d_q=list()
32                for h in range(len(t_sol)):
33                    prod_b_t=list()
34                    prod_d_q=list()
35                    for n in range(1, len(coef_d)):
36                        prod_d=(coef_d[n]*q_total_wall[h-n])
37                        prod_d_q.insert(n, prod_d)
38
39                    for n in range(len(coef_b)):
40                        prod_b=(coef_b[n]*t_sol[h-n])
41                        prod_b_t.insert(n, prod_b)
42
43                    soma_b_t.insert(h, sum(prod_b_t))
44                    soma_d_q.insert(h, sum(prod_d_q))
45                    q_total_wall[h]=soma_b_t[h]-soma_d_q[h]-trc*soma_coef_c
46
47            ganho_parede_ext_cob = list()
48            for id, ganho in enumerate(q_total_wall):
49                ganho_parede_ext_cob.insert(id, A*q_total_wall[id])
50            return ganho_parede_ext_cob

```

Listagem 3.35 – Python: Cálculo do ganho térmico na envolvente opaca exterior.

Após o cálculo das cargas térmicas dos vários elementos, a carga obtida em cada instante é guardada num dicionário onde se identifica a data e hora, a carga obtida, o elemento em análise e algumas das características desse elemento, conforme se apresenta na Listagem 3.36 para a envolvente opaca exterior. O conjunto de dicionários representa um período de cargas calculadas que são guardados numa lista (linha 195). Este processo foi realizado para todas as envolventes, ocupação, iluminação e equipamentos.

```

188     for data_hora_id, carga_instant in zip(data_hora_list, carga_parede_cob_ext):
189         row_wall_carga = {'data_hora': data_hora_id,
190                         'carga': carga_instant,
191                         'envolvente_opaca_exterior_ID_env_op_ext': ext_wall['ID_env_op_ext'],
192                         'area': area,
193                         'coef_trans_term': ext_wall['resis_term_total'],
194                         'orient': orient_str}
195         list_walls_carga.append(row_wall_carga)

```

Listagem 3.36 – Python: Empacotamento dos resultados em lista de dicionários.

A irradiância solar e o fator de ganho térmico solar são calculados numa função para cada, conforme descrito na secção 2.3, e utilizados para o cálculo da carga térmica na envolvente opaca exterior e envolvente envidraçada, respetivamente, conforme apresentado na Figura 3.35. A partir dos dados meteorológicos, obtém-se a data e a hora, de modo que a radiação calculada se refira ao mesmo instante que a temperatura exterior. Com a data e hora, extrai-se o dia a contar a partir do início do ano e o mês, em que se obtém a constante solar aparente, o coeficiente de extinção atmosférica, fator de difusão atmosférica e a declinação com base na tabela disponível em ASHRAE (1997), como se apresenta na Figura 3.36. A data e hora, conforme descrito na secção 3.2.4, é atribuída ao dia 21 de cada mês do ano de 2023, para garantir a concordância dos dados obtidos em tabelas da ASHRAE, descritos anteriormente. Da localização, obtém-se a latitude, longitude e o fuso horário e das superfícies obtém-se a orientação e a sua inclinação.

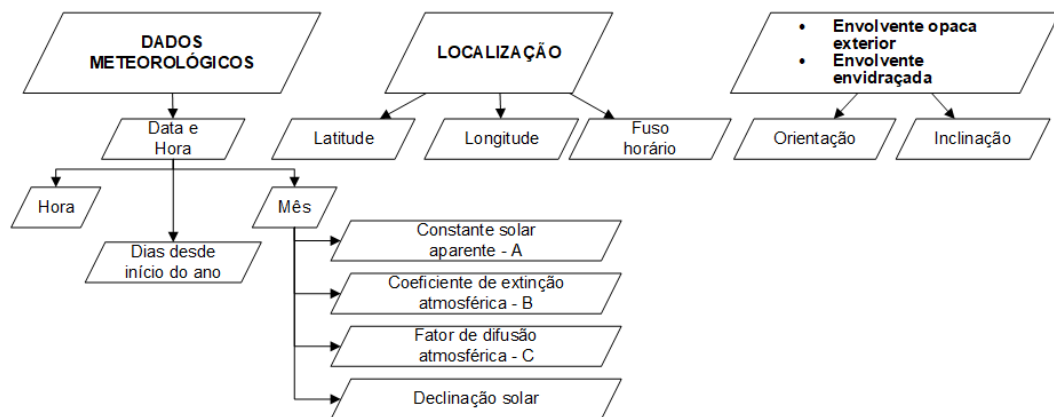


Figura 3.36 – Dados utilizados para calcular a irradiância e fator de ganho térmico solar.

Após a preparação dos dados apresentados na Figura 3.36, procede-se ao cálculo de parâmetros, como se apresenta na Figura 3.37. A equação do tempo (equação 2.17) é calculada com base no número de dias desde o início do ano até ao dia de cálculo. Em seguida, é calculada a hora solar (equação 2.16) e o respetivo ângulo (equação 2.20), com base na hora local, na longitude e no fuso horário. O ângulo de altitude solar (equação 2.22) e o ângulo de azimute solar (equação 2.23) são calculados tendo em conta o ângulo de hora solar obtido, a latitude e a declinação solar. A partir dos ângulos da posição solar, ou seja, ângulo de altitude e azimute solar, e os ângulos da superfície, ou seja, a inclinação e a orientação da superfície, determina-se o ângulo de incidência dos raios solares na superfície (equação 2.25). A próxima etapa consiste em obter a irradiância solar direta normal (equação 2.28) com base nos parâmetros anteriormente calculados, a constante solar aparente e o coeficiente de extinção atmosférica. A seguir é calculada a irradiância direta na superfície (equação 2.29), a irradiância difusa (equação 2.30) e a irradiância refletida (equação 2.32). Por fim, é calculada a irradiância

solar total (equação 2.27) para envoltente opaca exterior e o fator de ganho térmico solar (equação 2.33) para envoltente envidraçada.

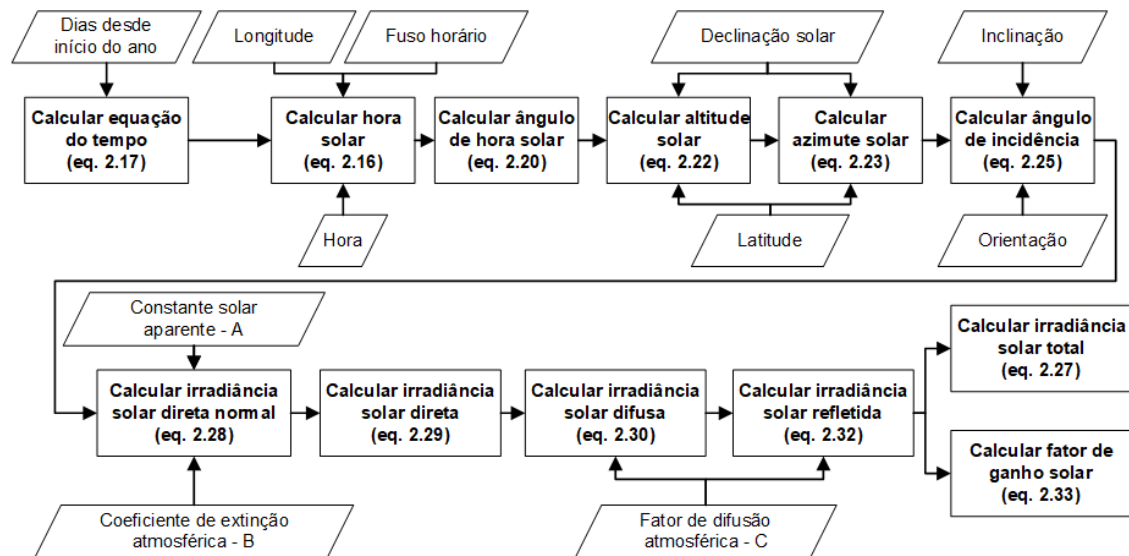


Figura 3.37 – Sequência de cálculo da irradiância solar e fator de ganho térmico solar com os dados necessários para o cálculo.

A Listagem 3.37 exemplifica o algoritmo utilizado para o cálculo do fator de ganho térmico solar, implementando a equação 2.34 entre as linhas 247 e 257, referente à irradiância transmitida pelo vidro, a equação 2.35 entre as linhas 261 e 271, referente à irradiância absorvida pelo vidro, e a equação 2.33 na linha 273. As linhas 239 e 240 apresentam os coeficientes de transmissão e absorção no vidro utilizados, obtidos em ASHRAE (1997).

```

234 def solar_heat_gain(incident_angle, direct_irradiance, diffuse_irradiance):
239     transm_coeffic = [-0.00885, 2.71235, -0.62062, -7.07329, 9.75995, -3.89922]
240     absp_coeffic = [0.01154, 0.77674, -3.94657, 8.57881, -8.38135, 3.01188]
241     (...)
248     # Transmitted component
250     for j in range(len(transm_coeffic)):
251         new_direct_transf_coeffic = transm_coeffic[j] * (math.cos(incident_angle)) ** j
252         direct_transf_coeffic = direct_transf_coeffic + new_direct_transf_coeffic
253         new_diffuse_transf_coeffic = transm_coeffic[j] / (j + 2)
254
255         difuse_transf_coeffic = difuse_transf_coeffic + new_diffuse_transf_coeffic
256
257     transmitted_component_SHG = (direct_irradiance * direct_transf_coeffic + 2 * diffuse_irradiance *
258     | | | | | | | | | | difuse_transf_coeffic)
259
260     # Absorbed component
262     for j in range(len(absp_coeffic)):
263         new_direct_absp_coeffic = absp_coeffic[j] * (math.cos(incident_angle)) ** j
264         direct_absp_coeffic = direct_absp_coeffic + new_direct_absp_coeffic
265         new_diffuse_absp_coeffic = absp_coeffic[j] / (j + 2)
266
267         difuse_absp_coeffic = difuse_absp_coeffic + new_diffuse_absp_coeffic
268
269     absorbed_component_SHG = (direct_irradiance * direct_absp_coeffic + 2 * diffuse_irradiance *
270     | | | | | | | | | | difuse_absp_coeffic)
271
272     Total_SHG = transmitted_component_SHG + absorbed_component_SHG * 0.267
  
```

Listagem 3.37 – Python: Cálculo do fator de ganho térmico solar

3.5.4 Armazenamento dos resultados do cálculo na base de dados

Após o cálculo das cargas térmicas, onde se armazenaram os resultados em listas de dicionários, os seus valores são armazenados na base de dados. Este processo inicia pela aplicação do método *cursor* no objeto de acesso à base de dados, para obter um cursor para executar um comando SQL definido numa declaração preparada, conforme se apresenta nas linhas 392-393 da Listagem 3.38. Em seguida, aplica-se um ciclo de repetição para iterar a lista de cargas térmicas. A data e hora utilizada nas iterações do cálculo são convertidas, com a função *strftime* da biblioteca *datetime*, para o formato AAAA-MM-DD hh:mm:ss, por ser o formato aceite na base de dados MySQL. O comando SQL definido na declaração preparada para inserção de registos nas tabelas é executada com a aplicação do método *execute* ao cursor, enviando uma lista com os valores dos resultados nos parâmetros. Como a inserção de registos é uma operação que modifica a tabela, após a execução de todos os comandos de inserção de dados, é necessário utilizar o método *commit* no objeto da base de dados, *mydb*, para efetivar as alterações à tabela (MySQL, 2025b). Por fim, é fechado o cursor com o método *close*. A Listagem 3.38 apresenta o script de armazenamento dos resultados das cargas térmicas da envolvente opaca exterior. Contudo, este processo foi programado para todo o tipo de cargas térmicas de todos os espaços.

```
392     cursor = mydb.cursor()
393     query = ("INSERT INTO results_envolvente_op_ext(data_hora,carga,envolvente_opaca_exterior_ID_env_op_ext,"
394           "simulacao_idsimulacao,area,coef_trans_term,orient) VALUES (%s,%s,%s,%s,%s,%s,%s);")
395     for load_ext_wall in load_ext_walls:
396         data_hora_str = datetime.strftime(load_ext_wall['data_hora'], "%Y-%m-%d %H:%M:%S")
397
398         cursor.execute(query,
399                       [data_hora_str, load_ext_wall['carga'], load_ext_wall['envolvente_opaca_exterior_ID_env_op_ext'],
400                       simulationID, load_ext_wall['area'], load_ext_wall['coef_trans_term'], load_ext_wall['orient']])
401
402     mydb.commit()
403     cursor.close()
```

Listagem 3.38 – Python: Introdução dos resultados na base de dados.

4 Validação do programa de cálculo

O desenvolvimento de uma aplicação para cálculo numérico requer uma fase de análises de resultados para a sua validação. Com este propósito, foi realizado um conjunto de análises ao longo de todo o processo de desenvolvimento do programa de cálculo, no qual foram inseridos os dados das várias origens de cargas térmicas implementadas tanto no programa de cálculo desenvolvido como num programa de referência, permitindo a comparação dos resultados das cargas térmicas obtidas. Por fim, foi introduzido um espaço de um edifício de modo a analisar o programa desenvolvido num caso prático. Para se realizar esta validação de resultados, utilizou-se o programa HAP: Hourly Analysis Program, versão 4.8 (Carrier Corporation, 2013). Nesta versão, o cálculo das cargas térmicas é realizado pelo método das funções de transferências, tendo sido o mesmo método implementado no programa de cálculo desenvolvido. O facto de implementarem o mesmo método de cálculo, a comparação dos resultados permite validar o programa de cálculo desenvolvido, evitando-se discrepâncias provocadas por diferenças nos métodos de cálculo.

A validação a realizar é dividida em duas análises. A primeira consiste em validar o cálculo das cargas térmicas pelo método da função de transferência, conforme descrito na secção 2.2.3. Para tal, considera-se o espaço que se descreve na secção 4.1 e a temperatura exterior e radiação solar obtidos no HAP. A segunda análise consiste em validar o cálculo da radiação solar, conforme descrito na secção 2.3, com base nos dados a descrever na secção 4.1.

4.1 Caracterização do exemplo em análise

Como exemplo para análise, foi considerado um espaço de escritórios, cuja planta se encontra representada na Figura 4.1. Este espaço possui uma área de 94 m², um pé-direito de 3 m e uma ocupação prevista de 15 ocupantes. A temperatura de conforto foi definida como 21 °C e um peso de construção de 340 kg/m².

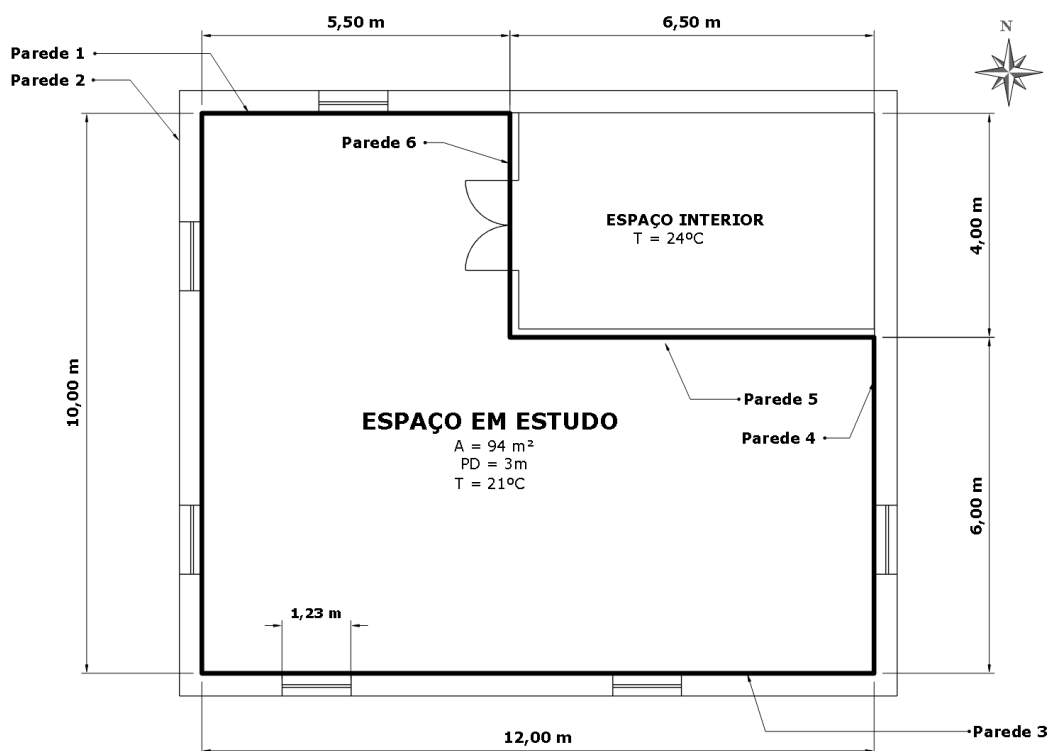


Figura 4.1 – Planta do espaço em estudo.

A localidade seleccionada para o estudo foi Lisboa, tendo-se obtido os dados geográficos e meteorológicos com recurso ao HAP e que se apresentam na Tabela 4.1 e na Tabela 4.2, respetivamente.

Tabela 4.1 – Dados geográficos de Lisboa.

Latitude	Longitude	Altitude	Fuso horário
38,8 °N	9,1 °O	122,8 m	GMT 0

Tabela 4.2 – Dados meteorológicos de Lisboa.

$T_{BS-verão}$ [°C]	$T_{BH-verão}$ [°C]	Amplitude térmica em verão		$T_{BS-inverno}$ [°C]	$T_{BH-inverno}$ [°C]
		[°C]			
33,9	20,6	10,5		3,9	0,4

Com estes dados, foram obtidas as evoluções diária e anual da temperatura e de radiação solar utilizando o HAP. Posterior à validação do cálculo de cargas térmicas utilizando a temperatura e radiação solar obtida no HAP, é calculada a radiação solar a partir dos dados apresentados na Tabela 4.1 pelo método descrito na secção 2.3 para validar esta componente.

O espaço utilizado neste caso de estudo (Figura 4.1) tem 4 quatro paredes exteriores, orientadas nos 4 pontos cardeais principais: norte, oeste, sul e este. A solução construtiva implementada nas paredes exteriores encontra-se descrita na tabela disponível em ASHRAE (1997), onde são disponibilizados os coeficientes da função de

transferência. Como critério de seleção, estabeleceu-se o coeficiente de transmissão térmica, U, máximo da solução construtiva. De acordo com a Portaria n.138-I/2021, de 1 de julho, 2021 (República Portuguesa, 2021), a zona corrente da envolvente vertical deve ter um coeficiente de transmissão térmica máximo de 0,70 W/(m²·K) num edifício de serviços, localizado em Lisboa, o que equivale à zona climática I1. Desta forma, foi selecionada a solução construtiva, apresentada na Tabela 4.3, com coeficiente de transmissão térmica, U, igual a 0,241 W/(m²·K).

Tabela 4.3 – Solução construtiva de paredes exteriores.

Parede Exterior						
Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m·K)	R (m ² ·K/W)	U (W/m ² ·K)	mti (kg/m ³)	mt (kg/m ²)
Resistência Interior	-	-	0,121		-	
Gesso	0,020	0,727	0,026		1602	
Isolamento	0,150	0,043	3,520		91	
Bloco de betão de baixa densidade	0,200	0,571	0,352	0,241	609	368
Tijolo cerâmico	0,100	1,333	0,076		2002	
Resistência Exterior	-	-	0,059		-	

As paredes 5 e 6, assinaladas na Figura 4.1, correspondem a paredes interiores com áreas de 19,5 e 12 m², respetivamente. A solução construtiva adotada para estas paredes é composta por um tijolo de 11 cm, revestido em ambos os lados por uma camada de estuque com 2 cm. Os dados sobre a condutibilidade e massa volúmica do estuque foram obtidos no ITE 50 (dos Santos & Matias, 2006) e os dados para o tijolo cerâmico foram obtidos do catálogo de um fabricante (PRECERAM, 2019). A resistência térmica interior foi obtida com base no manual do Sistema de Certificação Energética (SCE) (Direção-Geral de Energia e Geologia, 2021). A Tabela 4.4 resume os parâmetros relativos à solução construtiva adotada. Adicionalmente, o espaço em contacto com as paredes interiores foi considerado com uma temperatura interior constante de 24 °C.

Tabela 4.4 – Solução construtiva de paredes interiores.

Parede Interior						
Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m·K)	R (m ² ·K/W)	U (W/m ² ·K)	mti (kg/m ³)	mt (kg/m ²)
Resistência Interior	-	-	0,130		-	
Estuque tradicional	0,020	0,57	0,035		1000	
Tijolo cerâmico	0,110	-	0,290	1,612	654	112
Estuque tradicional	0,020	0,57	0,035		1000	
Resistência Interior	-	-	0,130		-	

Considera-se que o pavimento e o teto deste espaço estão em contacto com outro espaço que apresenta condições térmicas idênticas às do espaço em estudo. Dado que não ocorre transferência de calor entre estas superfícies e os espaços adjacentes, o pavimento e o teto não contribuem para as cargas térmicas do ambiente. Por este motivo, tais elementos não necessitam de caracterização específica no âmbito do cálculo das cargas térmicas. Este pressuposto simplifica a análise, permitindo concentrar o estudo nas superfícies envolventes que apresentam trocas térmicas relevantes, tais como os vãos envidraçados.

O espaço em estudo apresenta vãos envidraçados em todas as paredes exteriores, distribuídos da seguinte forma: um vão envidraçado na parede 1 e 4 e dois vãos envidraçados nas paredes 2 e 3. Assume-se que estes vãos envidraçados são todos fabricados em PVC com vidro duplo. De acordo com o fabricante Rehau Lda (2016), os vãos envidraçados apresentam um coeficiente de transmissão térmica de $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, considerando um vão envidraçado com largura de 1,23 m e altura de 1,48 m. O desempenho térmico e ótico do vidro foi obtido com recurso ao programa Calumen (Saint-Gobain Glass France S.A., 2024), considerando a sua constituição. Dado tratar-se de um vidro 4be/16/4 (Rehau Lda, 2016), o fator de sombreamento obtido foi de 0,61.

A Tabela 4.5 apresenta as áreas totais das paredes e vãos envidraçados, e a área de superfície opaca remanescente para o espaço em estudo.

Tabela 4.5 – Área das superfícies opacas e envidraçadas.

	Quantidade	Comprimento [m]	Altura [m]	Área [m ²]
Parede 1		5,5	3	16,5
S. Envidraçadas	1	1,23	1,48	1,8
Área S. opaca 1				14,7
Parede 2		10	3	30,0
S. Envidraçadas	2	1,23	1,48	3,6
Área S. opaca 2				26,4
Parede 3		12	3	36,0
S. Envidraçadas	2	1,23	1,48	3,6
Área S. opaca 3				32,4
Parede 4		6	3	18,0
S. Envidraçadas	1	1,23	1,48	1,8
Área S. opaca 4				16,2
Parede 5		6,5	3	19,5
Parede 6		4	3	12,0
Pavimento				94,0
Teto				94,0

No modelo implementado, considerou-se que este espaço não tinha teto falso e a iluminação seria suspensa. A potência de iluminação foi calculada recorrendo ao método espaço-por-espaço (ASHRAE, 2021), onde a densidade de potência de iluminação é tabelada de acordo com a tipologia do espaço. Para um escritório, a densidade de potência de iluminação é de 10,6 W/m². Considerando que o espaço tem uma área de 94 m², resulta numa potência de 996,4 W. O perfil de utilização da iluminação implementado foi obtido segundo o Decreto-Lei n. 79/2006, de 4 de abril, 2006 (República Portuguesa, 2006), que descreve perfis típicos para diferentes atividades. Sendo o espaço do modelo um espaço de escritório, o perfil de utilização é o apresentado na Figura 4.2.

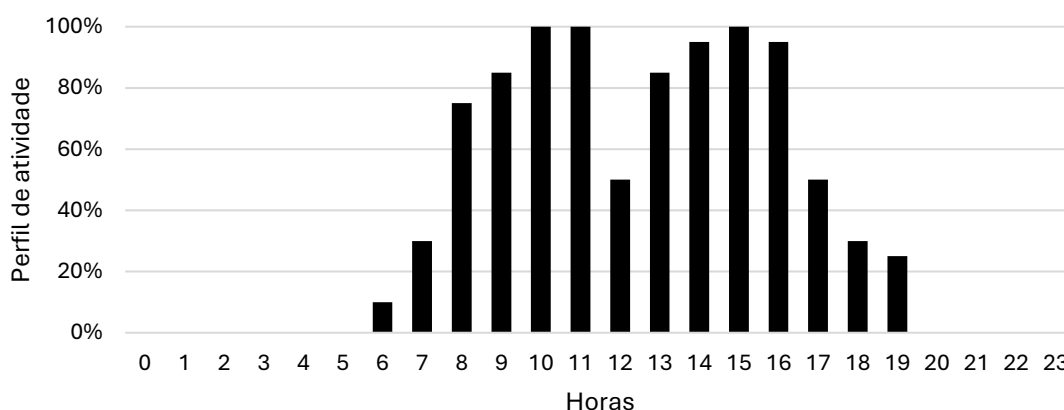


Figura 4.2 – Perfil de iluminação num escritório (República Portuguesa, 2006).

Neste espaço, prevê-se uma ocupação máxima de 15 ocupantes. De acordo com as diretrizes de ASHRAE (1997), para um ambiente de escritório onde se desempenha trabalho ligeiro e sedentário, obtém-se os ganhos sensível e latente por ocupante de 70 W e 45 W, respetivamente. O perfil de ocupação foi definido com base no Decreto-Lei n. 79/2006, de 4 de abril, 2006 (República Portuguesa, 2006), que, considerando um espaço de escritório, obtém-se o perfil apresentado na Figura 4.3.

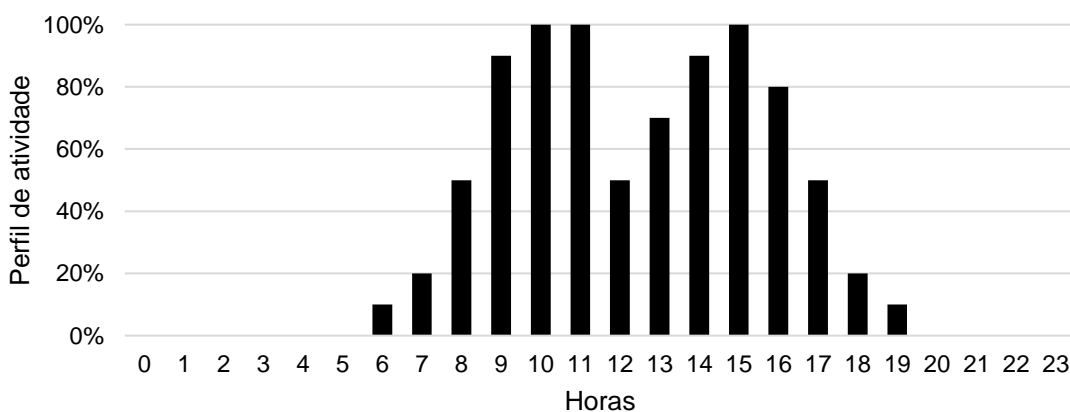


Figura 4.3 – Perfil de ocupação (República Portuguesa, 2006).

Em relação aos equipamentos existentes no espaço em análise, consideraram-se os equipamentos típicos de escritório, tais como, computadores portáteis e de secretária, monitores e impressoras, estimando-se uma potência total de 1000 W. As quantidades, as potências e os fatores de potência utilizados em cada equipamento encontram-se descritos no Apêndice III. De acordo com o Decreto-Lei n. 79/2006, de 4 de abril, 2006 (República Portuguesa, 2006), obteve-se o perfil de utilização dos equipamentos num espaço de escritório, que se apresenta na Figura 4.4.

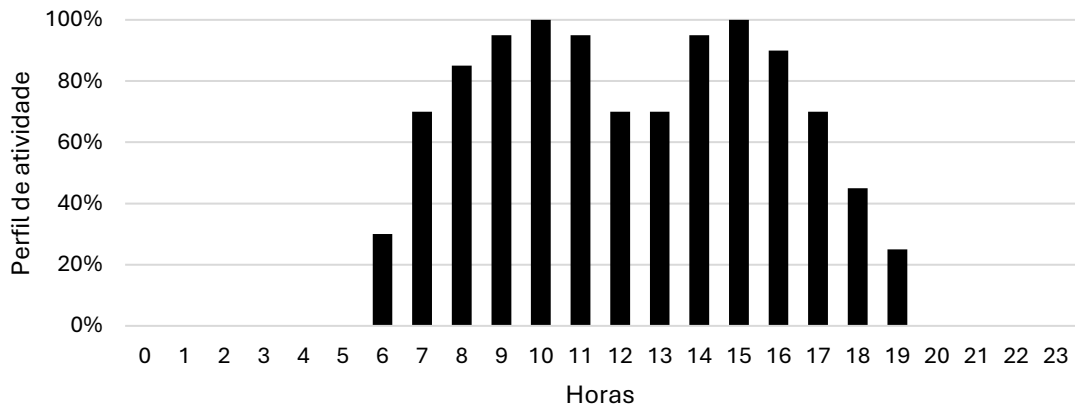


Figura 4.4 – Perfil de utilização de equipamentos (República Portuguesa, 2006).

4.2 Testes e resultados

4.2.1 Análise 1: Cálculo das cargas térmicas

Os dados do modelo do espaço apresentados na secção 4.1 foram introduzidos no programa de cálculo desenvolvido e no programa HAP, por forma a que ambos executassem o algoritmo de cálculo de cargas térmicas, que implementa o método descrito na secção 2.2.3. O HAP é um programa desenvolvido pela Carrier® e o programa de cálculo desenvolvido no âmbito deste trabalho foi elaborado em Python, como se apresentou na secção 3.5.

Analisando os resultados obtidos por ambos os programas de cálculo, concluiu-se que ambos obtiveram a carga máxima em setembro às 15 h. A Tabela 4.6 apresenta as cargas térmicas obtidas em ambos os programas, assim como os desvios do programa de cálculo desenvolvido em relação ao HAP, discriminadas pela sua origem: vão envidraçados, componente de radiação e condução, envolvente opaca exterior, envolvente opaca interior, iluminação, equipamentos e ocupação, na componente de calor sensível e calor latente. Os relatórios completos do cálculo desenvolvido e do HAP encontram-se no Apêndice II e Apêndice IV, respetivamente.

Analisando a Tabela 4.6, verificou-se que a carga térmica sensível total é de 4301 W e a latente é de 675 W, correspondendo a desvios de 0,2% e 0%, respetivamente, entre os resultados obtidos pelo programa em Python e os fornecidos pelo HAP. Estes desvios são principalmente associados à envolvente envidraçada e opaca exterior, em particular na carga de radiação no vão envidraçado voltado a oeste (2) e na carga térmica da parede a norte (1). O maior desvio registado foi de 5,8% verificado na parede a norte. Os restantes elementos da envolvente exterior também apresentam desvios, mas bastante reduzido.

Tabela 4.6 – Carga térmica máxima.

	HAP (W)	PYTHON (W)	Desvio
Envolvente envidraçada - radiação	1326	1316,9	-0,7%
Vão norte (1)	54	54,9	-0,2%
Vão oeste (2)	490	480,3	-2,0%
Vão sul (3)	619	618,6	-0,1%
Vão este (4)	162	163,1	0,7%
Envolvente envidraçada - condução	173	173,3	0,2%
Vão norte (1)	29	28,9	-0,4%
Vão oeste (2)	58	57,8	-0,4%
Vão sul (3)	58	57,8	-0,4%
Vão este (4)	29	28,9	-0,4%
Envolvente opaca exterior	175	171,8	-1,8%
Parede norte (1)	21	19,8	-5,8%
Parede oeste (2)	48	47,1	-1,9%
Parede sul (3)	72	71,1	-1,3%
Parede este (4)	34	33,9	-0,4%
Envolvente opaca interior	152	152,3	0,2%
Iluminação	865	865,8	0,1%
Equipamentos	904	904,1	0,0%
Ocupação (Sens.)	716	717,2	0,2%
Ocupação (Lat.)	675	675,0	0,0%
Total sensível	4311	4301,4	-0,2%

As diferenças entre os resultados do programa desenvolvido e o HAP podem ser atribuídas a três parâmetros: temperatura exterior, radiação solar e coeficientes da função de transferência. Embora a temperatura exterior e a radiação solar utilizadas no programa desenvolvido sejam baseadas nos valores fornecidos pelo HAP, o facto de

serem apresentados com arredondamento às décimas pode ocultar uma maior precisão numérica, resultando em ligeiros desvios nos cálculos.

Adicionalmente, os coeficientes da função de transferência da envolvente opaca exterior são obtidos por métodos distintos. No programa desenvolvido, foram utilizados os coeficientes de função de transferência apresentados em ASHRAE (1997), enquanto o HAP calcula os coeficientes da função de transferência com base nos dados da solução construtiva, definidos pelas várias camadas que a constituem. Desta forma, os coeficientes utilizados no programa de cálculo desenvolvido, apresentados em ASHRAE (1997) podem diferir, embora em pequena escala, dos coeficientes obtidos e utilizados nos cálculos realizados pelo HAP.

A distribuição da carga sensível por origem, com base nos resultados obtidos no programa desenvolvido, é apresentada na Figura 4.5. A análise do gráfico revela que a principal contribuição para a carga térmica sensível advém das cargas internas, nomeadamente da ocupação, iluminação e equipamentos, que representam 58% da carga máxima. Outra origem significativa é a carga térmica na envolvente envidraçada devido à radiação, que representa 31% da carga sensível total. Em contrapartida, as cargas por condução na envolvente envidraçada e na envolvente opaca interior e exterior representam uma fração bastante reduzida da carga total, cerca de 4%, em cada. Esta análise permite concluir que o valor de carga máxima e o instante que ocorre a carga máxima, no caso de estudo do presente trabalho, está dependente das cargas térmicas internas e da carga térmica de radiação na envolvente envidraçada.

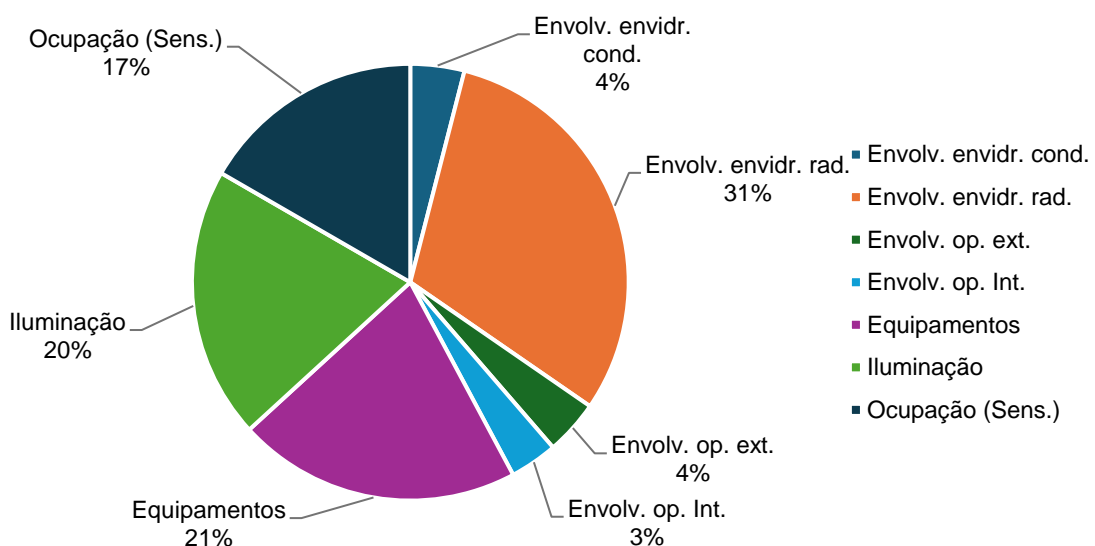


Figura 4.5 – Distribuição da carga sensível total por origem.

4.2.2 Análise 2: Cálculo da radiação solar incidente

Após a validação do cálculo das cargas térmicas, considerando a radiação solar obtida no HAP, também é necessário validar o algoritmo de cálculo de radiação solar implementado no programa (secção 3.5.3), de acordo com o método apresentado na secção 2.3. A Figura 4.6 apresenta a irradiância total obtida na hora de carga máxima, com base na metodologia apresentada na secção 2.3, em superfícies com orientação nos 4 pontos cardeais principais, sendo as orientações das superfícies apresentadas na secção 4.1. A partir da análise da Figura 4.6 observa-se que a irradiância nas superfícies orientadas a oeste é a mais elevada, seguida pelas superfícies orientadas a sul, com valores de 724,3 W/m² e 481,5 W/m², respetivamente. Para ambos os casos, o método implementado no programa em Python apresenta um desvio de 0% em relação aos resultados obtidos no HAP. A irradiância obtida para as orientações norte e este é idêntica, com um valor de 87,8 W/m², apresentando igualmente um desvio de 0% comparativamente ao HAP. Ao comparar os resultados de radiação, verificou-se um avanço temporal de aproximadamente 30 minutos na irradiância obtida pela metodologia utilizada, em relação à irradiância calculada no HAP. Consultando a documentação do programa (Carrier Corporation, 2013), verificou-se que tal é propositado. O HAP assume que a irradiância ao meio-dia deve refletir a irradiância real observada durante essa hora, utilizando, para isso, um valor médio com 30 minutos de atraso, conforme se apresenta no Anexo I. Para garantir a consistência dos resultados e averiguar outras possíveis discrepâncias, foi incorporado o atraso de 30 minutos também no programa desenvolvido em Python.

Considerando a orientação das superfícies e a localização geográfica acima do equador, e dado que a análise foi realizada às 15 h, após o meio-dia, a irradiância observada nas orientações norte e este é predominantemente difusa. Por outro lado, a irradiância obtida a sul e oeste possui componente de irradiância direta sendo maior a oeste, uma vez que está para além do meio-dia.

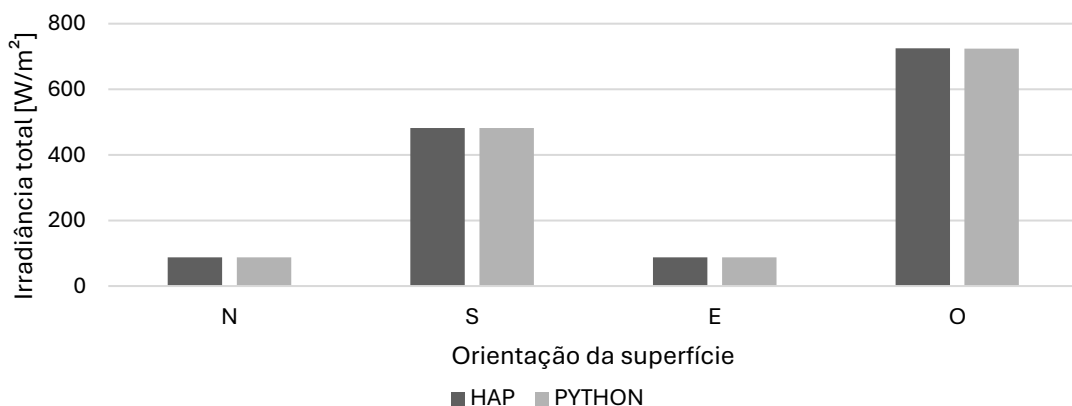


Figura 4.6 – Irradiância total no instante de carga térmica máxima.

A análise da evolução da irradiância total no dia de maior carga térmica, ocorrido em setembro, é realizada com o programa em Python e com o HAP, sendo os resultados apresentados nos gráficos da Figura 4.7.

Analisando os dados obtidos, conclui-se que na orientação norte, a irradiância máxima foi registada às 12 h, com um valor de 117,9 W/m² e o desvio máximo foi de 0,2%, ocorrido às 7 h, que corresponde à primeira hora de incidência da radiação solar. Na orientação oeste, a irradiância máxima foi obtida às 16 h, com um valor de 744,7 W/m², e o desvio máximo de 4,9% ocorreu às 12 h, que corresponde à primeira hora que se obtém irradiância direta. Na orientação a sul, a irradiância máxima também se verificou às 12 h, com um valor de 734,5 W/m², e o desvio máximo de 0,1% foi registado às 17 h, na última hora de radiação solar. Por fim, na orientação a leste, a irradiância máxima foi alcançada às 8 h, com 747,8 W/m², e o desvio máximo de 0,3% ocorreu às 12 h, que corresponde à última hora que se obtém irradiância direta.

De maneira geral, observa-se que, em todas as orientações, o desvio maior ocorreu em horas com maior variação na radiação solar, embora tais desvios sejam relativamente baixos, indicando uma boa correspondência nos cálculos da irradiância ao longo do dia.

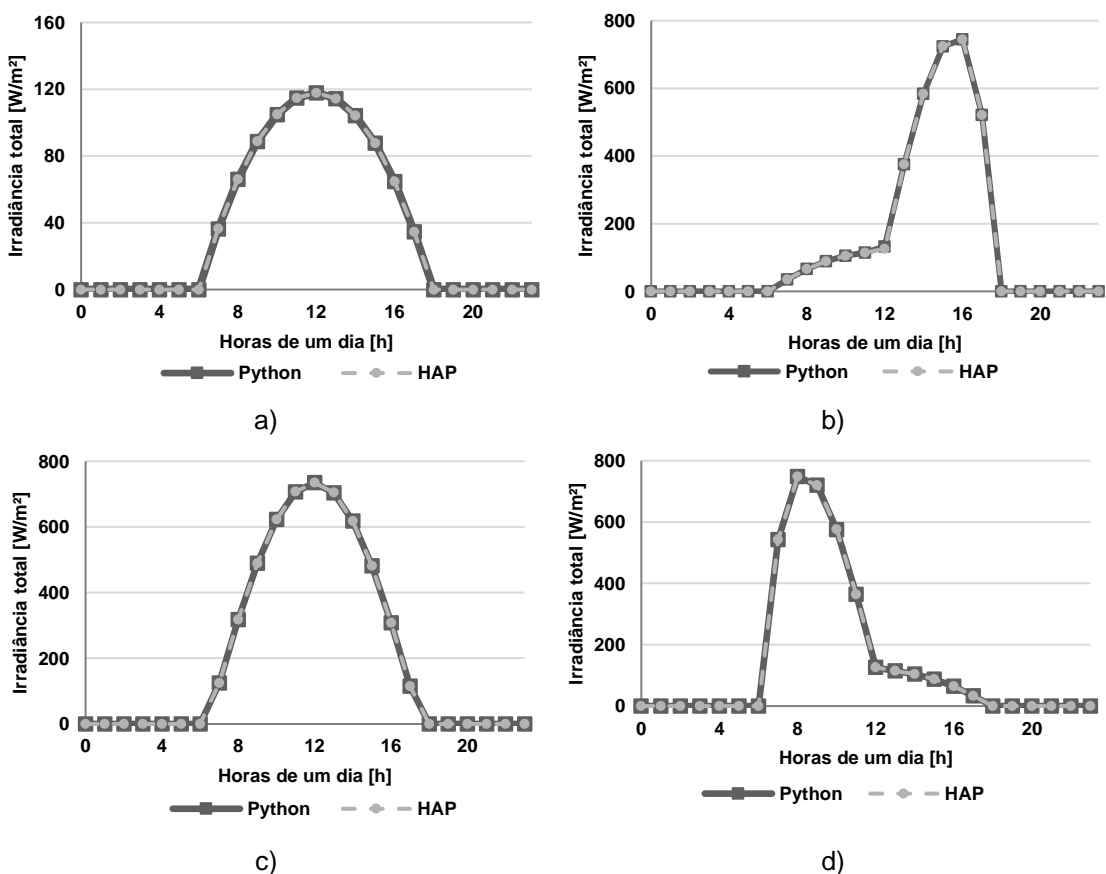


Figura 4.7 – Evolução horária de irradiância solar total em setembro para a) norte, b) oeste, c) sul e a d) este.

A Figura 4.8 apresenta a comparação dos resultados da evolução da irradiância máxima mensal ao longo de um ano, obtidos com o programa de cálculo em Python e com o HAP. A partir da Figura 4.8, observa-se que, para a orientação norte, a irradiância atinge o valor máximo no mês de junho; a leste e a oeste, o pico ocorre em abril; e a sul, o valor máximo ocorre em janeiro, com desvios inferiores a 0,1%. É de reparar que a evolução da irradiância ao longo do ano na orientação sul apresenta um comportamento oposto em relação às restantes orientações, com o máximo a ocorrer em janeiro e o mínimo em junho. Esse comportamento é explicado principalmente pelo ângulo de altitude solar, que é menor em janeiro e maior em junho, devido ao ângulo de declinação solar na equação 2.22. Esse fator resulta num ângulo de incidência dos raios solares menor em janeiro e maior em junho, de acordo com a equação 2.25. Por outro lado, as orientações a este e a oeste não seguem o mesmo padrão, uma vez que, conforme a Figura 4.7, a irradiância nessas orientações não atinge o seu valor máximo ao meio-dia, momento em que o ângulo de altitude solar é máximo ao longo de um dia.

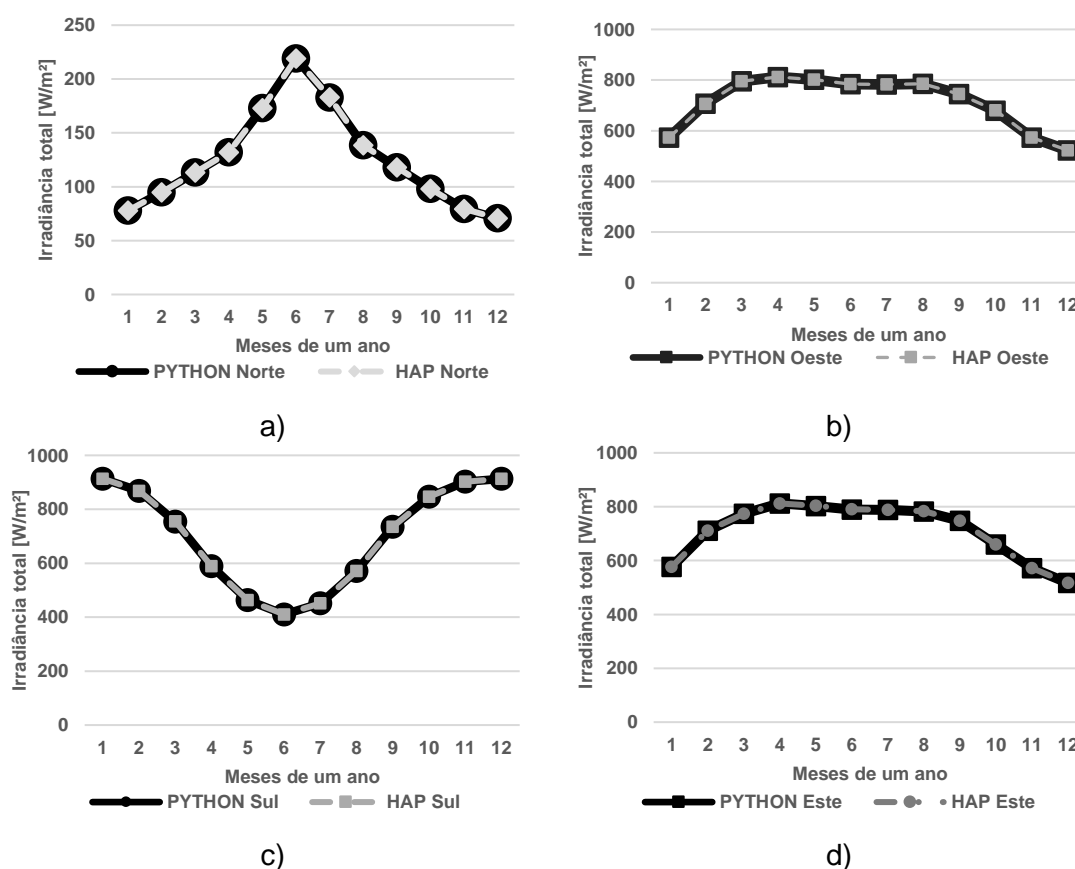


Figura 4.8 – Evolução da irradiância solar total máxima durante em 12 meses para a) norte, b) oeste, c) sul e a d) este.

A análise realizada aos resultados obtidos evidenciou uma boa concordância entre o programa desenvolvido em Python e a programa comercial HAP. Este facto demonstra que todos os conceitos, fundamentos e equações foram implementados corretamente no programa de cálculo validando o programa de cálculo com sucesso.

5 Conclusões e trabalho futuro

5.1 Conclusões

Esta dissertação teve como objetivo o desenvolvimento de uma aplicação computacional para o cálculo das cargas térmicas em edifícios, acessível via internet.

O cálculo das cargas térmicas foi implementado utilizando o método das funções de transferência, o que implicou a determinação dos ganhos térmicos e, posteriormente, das respectivas cargas térmicas. O processo de cálculo abrange as cargas térmicas provenientes da envolvente opaca, da envolvente envidraçada, da ocupação, da iluminação e dos equipamentos.

O ganho térmico na envolvente opaca exterior é determinado com base em coeficientes de função de transferência de condução. Estes coeficientes foram obtidos a partir de tabelas com valores para as soluções construtivas predefinidas. Consequentemente, a aplicação não permite o cálculo das cargas térmicas para soluções personalizadas de envolvente opaca exterior. No entanto, para a envolvente opaca interior, o cálculo considera apenas o coeficiente de transmissão térmica, que é determinado durante a criação da solução construtiva, permitindo calcular o ganho térmico para diferentes tipos de soluções. Na envolvente envidraçada, é calculado o ganho por condução e por radiação, tendo em conta o coeficiente de transmissão térmica e o fator de sombreamento, relacionado com o vão, e a temperatura exterior e o fator de ganho térmico solar, relacionado com o local do edifício.

Relativamente às cargas térmicas internas, no caso da iluminação, o utilizador deve especificar a potência, o tipo de instalação e horário de funcionamento. Para se calcular a carga térmica devido à ocupação, o utilizador define o número de ocupantes, os valores de calor sensível e latente por ocupante (devido ao tipo de atividade) e o horário de ocupação. Em relação aos equipamentos, é especificada a potência, a quantidade e o horário de funcionamento. As cargas térmicas são então calculadas com base na função de transferência do espaço, onde são obtidos os respetivos coeficientes consoante o tipo de ganho e o peso de construção. A radiação solar é calculada em

função da localização geográfica do edifício, do mês, da hora e da orientação da superfície, podendo ser um vão envidraçado, uma parede exterior ou cobertura.

A aplicação desenvolvida baseou-se na arquitetura cliente-servidor, sendo constituída por um servidor *web* Apache, um servidor de base de dados MySQL e um programa em Python para realizar o cálculo de cargas térmicas. Foi desenvolvido o modelo relacional para a estrutura de dados e implementada no sistema de gestão de bases de dados MySQL, que regista os dados sobre utilizadores, edifícios, espaços, soluções construtivas, elementos da envolvente, equipamentos, resultados, entre outros. A interação do utilizador foi implementada com a páginas *web*, desenvolvidas em linguagem de marcação HTML e programação do lado do servidor PHP, que permite criar interfaces dinâmicas. Com a programação do lado do servidor, foi implementado um sistema de criação de contas de utilizador e autenticação baseada em sessões. Além disso, foi implementada uma programação do lado do servidor para executar o programa de cálculo de cargas térmicas em edifícios, desenvolvido em *Python*, enviando dados que identificam a simulação a realizar. Este programa de cálculo, com base nos dados recebidos do servidor, realiza uma consulta na base de dados para obter os dados que caracterizam o edifício, previamente registados. Com todos os dados obtidos, o programa calcula as cargas térmicas para cada espaço e para cada componente. Uma vez calculadas, os resultados são enviados para o SGBD e armazenados na base de dados. Por fim, o programa elabora um relatório constituídos por tabelas, criadas através da programação do lado do servidor, e gráficos elaborados com recurso a bibliotecas de programação no lado do cliente e acesso à base de dados, por meio do mecanismo AJAX.

A aplicação foi validada com a realização de cálculos de um caso de estudo e comparação dos resultados com o programa HAP. O caso de estudo considerou um espaço de escritórios com paredes exteriores, vãos envidraçados em várias orientações, iluminação, ocupação e equipamentos. A comparação dos resultados com os do programa HAP, permitiu verificar que a carga máxima ocorreu no mês de setembro, em ambos os programas, com a carga predominante associada às cargas internas e à radiação nos vãos envidraçados. O maior desvio observado foi de 5,8% na parede exterior orientada a norte, estando relacionado, principalmente, com os coeficientes da função de transferência de condução e com a precisão dos dados meteorológicos, ou seja, temperatura exterior e radiação solar. Adicionalmente, a radiação solar foi validada para o instante de maior carga térmica, durante o dia de maior carga e ao longo de um ano, para as orientações consideradas no caso de estudo. Na hora de maior carga, não se verificou qualquer desvio em relação ao programa comercial. No dia de maior carga, foi observado um desvio de 4,9% para orientação a

oeste, enquanto as outras orientações apresentaram desvios inferiores a 1%. Ao longo do ano, os desvios na radiação máxima foram inferiores a 0,1%.

Como resultado de parte desta dissertação, foi publicado um artigo no *International Congress on Engineering* na Universidade da Beira Interior em 2024 (ICEUBI2024), na área temática *Computer Science and Engineering*. Em Agostinho et al. (2024), foi apresentada a componente de cálculo de cargas térmicas desenvolvida em linguagem Python, com recurso ao método da função de transferência, conforme descrito nesta dissertação. A validação de resultados considerou a análise isolada de uma parede exterior, um vão envidraçado e iluminação de um espaço, resultando em desvios inferiores a 2%.

Adicionalmente, foi publicado um artigo em *7th International Conference on Numerical and Symbolic Computation: Developments and Applications (SYMCOMP 2025)*. Este artigo (Agostinho et al., 2025) visa apresentar a modelação da radiação solar desenvolvida em linguagem Python, que se descreveu na secção 2.3 e 3.5.3 desta dissertação, e a sua aplicação no cálculo de cargas térmicas. A validação de resultados teve como base uma análise horária e máxima anual na cidade de Lisboa, à semelhança do realizado nesta dissertação, na secção 4.2.2. Além disso, foi analisada a radiação solar obtida em diferentes localizações.

Em suma, este trabalho incidiu na programação do cálculo de carga térmica do edifício nas várias origens, sendo também implementado o cálculo da radiação solar incidente sobre superfícies exteriores. Esta programação foi inserida numa aplicação cuja arquitetura permitiu a sua utilização via internet. Assim, foi possível atingir os objetivos propostos, criando uma aplicação *web*, permitindo que múltiplos utilizadores em simultâneo calculem as cargas térmicas nos edifícios que pretendam analisar.

5.2 Trabalho futuro

Para desenvolvimento futuro, propõe-se a implementação do cálculo de cargas térmicas na envolvente opaca exterior, considerado soluções construtivas personalizadas. Este cálculo pode ser realizado através da determinação dos coeficientes de função de transferência de condução ou pela implementação de outro método de cálculo, como por exemplo, método de balanço de calor. Adicionalmente, seria relevante incluir o cálculo de carga térmica de radiação solar em vãos envidraçados, considerando a integração de dispositivos de sombreamento, como persianas ou vidros de controlo solar, que influenciam diretamente o ganho térmico. Outra melhoria consiste na possibilidade de adicionar novas localizações geográficas à aplicação, permitindo a inserção manual de dados meteorológicos, através de ficheiros de dados meteorológicos ou aceder a base de dados disponíveis online.

Por fim, seria benéfico implementar a aplicação desenvolvida num servidor de acesso público, garantindo maior disponibilidade e acessibilidade, uma vez que, até ao momento, o desenvolvimento da aplicação foi realizado em um servidor Apache local.

Referências bibliográficas

- Agostinho, A., Carreira, F., & Casaca, C. (2024). Desenvolvimento de uma aplicação computacional para o cálculo de cargas térmicas em edifícios. *International Congress on Engineering (ICEUBI 2024) Sustainability and Resilience: Innovation and Solutions*, Covilhã, Universidade Da Beira Interior, Portugal, 27-29 Novembro. <https://doi.org//10.25768/9239-05-0>
- Agostinho, A., Carreira, F., & Casaca, C. (2025). Computational Modelling of Incident Solar Radiation and Application for Thermal Loads Calculation in Buildings. *7th International Conference on Numerical and Symbolic Computation: Developments and Applications (SYMCOMP 2025)*, Lisboa, Portugal, 10-11 April 2025 (Session XV). <https://doi.org/10.5281/ZENODO.15161263>
- Ahn, J., & Haberl, J. S. (2025). Origins of whole-building energy simulations for high-performance commercial buildings: Contributions of the 1975 ASHRAE algorithms for heat balance-based hourly heating and cooling load calculations. *Science and Technology for the Built Environment*. <https://doi.org/10.1080/23744731.2024.2446002>
- ASHRAE. (1997). *1997 ASHRAE Handbook: Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ISBN:9781883413446.
- ASHRAE. (2017). *Weather Data Viewer 6.0*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2021). *2021 ASHRAE handbook: Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ISBN: 9781947192904.
- Azul, A. (2010). *Sistemas de informação: técnico de informática de gestão*. Porto Editora - ISBN: 9789720441904.
- Bergman, T. L., Lavine, A. S., & Incropera, F. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (7th Edition). John Wiley & Sons, Incorporated - ISBN: 9781118137253.
- Carrier. (2022). *HAP v6 - Building load calculation and energy modeling software*. <https://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/hourly-analysis-program/>

- Carrier Corporation. (2013). *HAP* (v4.8). [Software informático].
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2014). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications* (5th ed.). McGraw-Hill Professional - ISBN: 9780073398181.
- Chapman, Nigel., & Chapman, J. (2012). *Authentication and authorization on the web*. Macavon Media - ISBN: 9780956737052.
- Chart.js. (2024). *Chart.js 4.4.7 - Documentation*. Acedido a 10/01/2025. <https://www.chartjs.org/docs/latest/>
- CYPE Ingenieros S. A. (2025). *Cypetherm Loads* (v2025.a). [Software informático].
- Direção-Geral de Energia e Geologia. (2021). *Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios*. Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho.
- dos Santos, C. A. P., & Matias, L. (2006). *ITE 50: Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. LNEC - ISBN: 9789724920658.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (Fourth Edition). Wiley - ISBN: 9781118671603.
- Eisfeld, H., & Felix Kristallovich. (2020). *The Rise of Dark Mode A qualitative study of an emerging user interface design trend*.
- Elite Software Development Inc. (2024). *CHVAC – Commercial HVAC Load Calculation*. [Software informático].
- Gonçalves, J. P. F. (2016). *Desenvolvimento de Aplicação para o Cálculo da Condução Térmica em Edifícios*. ISEL.
- Goswami, D. Y. (2015). *Principles of Solar Engineering* (Third edition). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18119>
- Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer* (Tenth Edition). McGraw-Hill Education - ISBN: 9780073529363.
- McHaney, Roger. (2009). *Understanding computer simulation*. Ventus Publishing - ISBN: 9788776815059.
- McQuiston, F. C., & Spitler, J. D. (1992). *Cooling and heating load calculation manual*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:60764345>
- MDN contributors. (2024). *Using HTTP cookies - HTTP | MDN*. Acedido a 14/12/2024. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Cookies>
- Mitalas, G. P. (1972). Transfer Function Method of Calculating Cooling Loads, Heat Extraction and Space Temperature. *ASHRAE JOURNAL*, 14(12), 54–56.
- Müller, M. (1995). Equation of time - Problem in Astronomy. In *Acta Phys. Pol. A* (Vol. 88).
- MySQL. (2025a). *MySQL Customers*. Acedido a 03/02/2025. <https://www.mysql.com/customers/>
- MySQL. (2025b). *MySQL Documentation*. Acedido a 10/01/2025. <https://dev.mysql.com/doc/>

- Oracle Corporation. (2022). *MySQL Workbench 8.0* (8.0.36-Community). [Software informático].
- Ourraoui, I., & Ahaitouf, A. (2022). Investigation of the feasibility and potential use of sun tracking solutions for concentrated photovoltaic Case study Fez Morocco. *Energy Reports*, 8, 1412–1425. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2022.08.071>
- Paraschiv, L. S., Acomi, N., Serban, A., & Paraschiv, S. (2020). A web application for analysis of heat transfer through building walls and calculation of optimal insulation thickness. *Energy Reports*, 6, 343–353. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2020.08.055>
- Pedersen, C. O., Fisher, D. E., & Liesen, R. J. (1997). Development of Heat Balance Procedure for Calculating Cooling Loads. *ASHRAE Transactions*, 103(2), 459–468. www.ashrae.org
- Pereira, A., & Poupa, C. (2022). *Linguagens Web* (6ª edição). Edições Sílabo - ISBN: 9789726189138.
- PHP. (2024). *PHP Manual*. Acedido a 10/01/2025. <https://www.php.net/manual/en/index.php>
- PRECERAM. (2019). *Tijolos cerâmicos*. https://preceram.pt/documentos/Preceram_TijoloLider.pdf
- Python. (2022). *Python Standard Library — Python 3.10.16 documentation*. Acedido a 10/01/2025. <https://docs.python.org/3.10/library/>
- Ralin Bukreev, K. (2023). Shape optimisation of teardrop trailers to minimise aerodynamic drag in articulated lorries. *International Journal of Thermofluids*, 18, 100334. <https://doi.org/10.1016/J.IJFT.2023.100334>
- Rehau Lda. (2016). *Sistema EURO-DESIGN 70 - Ficha técnica*. <https://www.rehau.com/downloads/493968/euro-desgin-70-ficha-tecnica.pdf>
- República Portuguesa. (2006). *Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril: Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*. Diário da República, 1.ª série, n.º 67, 2416–2468.
- República Portuguesa. (2021). *Portaria n.138-I/2021, de 1 de julho: Regulamenta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos e a respetiva aplicação em função do tipo de utilização e específicas características técnicas*. Diário da República n.º 126/2021, 2º Suplemento, Série I de 2021-07-01, páginas 12 - 53. Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação.
- Saint-Gobain Glass France S.A. (2024). *Calumen*. [Software informático].
- Shklar, L., & Rosen, R. (2003). *Web Application Architecture: Principles, Protocols and Practices*. John Wiley & Sons, Ltd ISBN: 0471486566.
- SimScale. (2021). *Multiphysics Engineering Simulation in the Cloud*.

- Spitler, J. D. (2014). *Load calculation applications manual* (ASHRAE, Ed.; Second edition). ISBN: 9781936504756.
- Spitler, J. D., & Fisher, D. E. (1999). On The Relationship between the Radiant Time Series and Transfer Function Methods for Design Cooling Load Calculations. *HVAC&R Research*, 5(2), 123–136.
<https://doi.org/10.1080/10789669.1999.10391228>
- Tavares, F. (2015). *MySQL* (1.ª edição). FCA - ISBN: 9789727228034.
- Top-Informática. (2021). *CYPETHERM LOADS – Exemplo prático – Open BIM*.
- W3School. (2025). *HTTP Methods GET vs POST*. Acedido a 10/01/2025.
https://www.w3schools.com/tags/ref_httpmethods.asp

Apêndices

Apêndice I – Diagrama entidade-relação

Apêndice II – Relatório de cargas térmicas da aplicação desenvolvida

Apêndice III – Potência de equipamentos do exemplo de análise

Apêndice IV – Relatório de cargas térmicas e dados introduzidos no HAP

Apêndice II – Relatório de cargas térmicas da aplicação desenvolvida

Relatório de cargas térmicas

Simulação criada a 2024-11-19 14:12:03 por: Abel Agostinho

Edifício: **Caso estudo TFM**

Localização: **Lisboa, Portugal**

Caso estudo TFM

Espaço de escritórios

Edifício: **Caso estudo TFM**

Data e Hora de cálculo: **2023-09-21 15:00:00 [Carga térmica máxima]**

Temperatura exterior: **32.8°C**

Tabela 1.1 - Carga térmica na data e hora de cálculo

	Cargas parciais		Carga térmica [W]
	Sensível	Latente	
Espaço de escritórios	4304	675	4979
	Carga sensível total		4304
	Carga latente total		675
	Carga total		4979

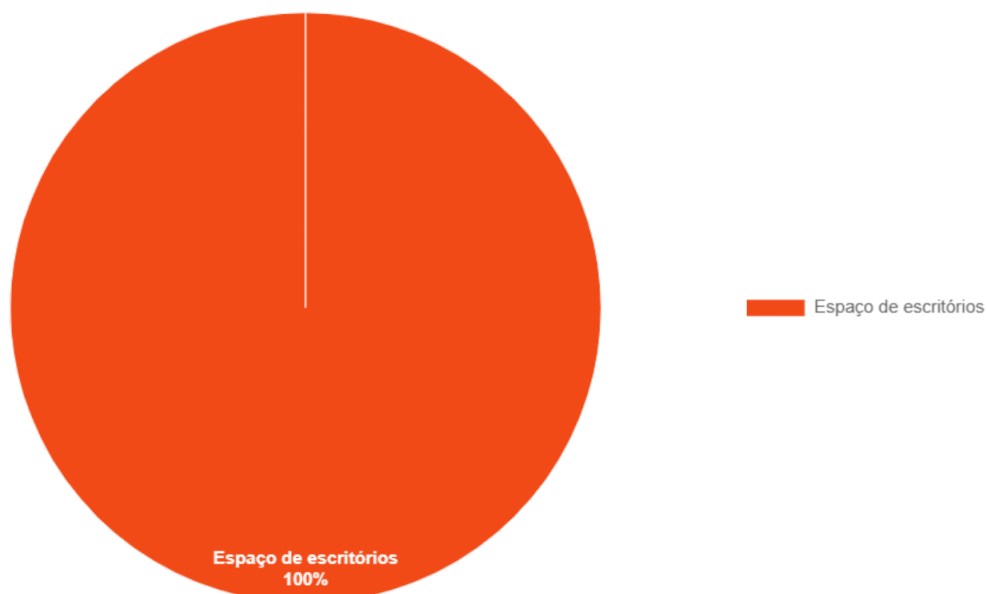


Figura 1.1 - Distribuição da carga térmica nas diferentes origens para a hora de cálculo

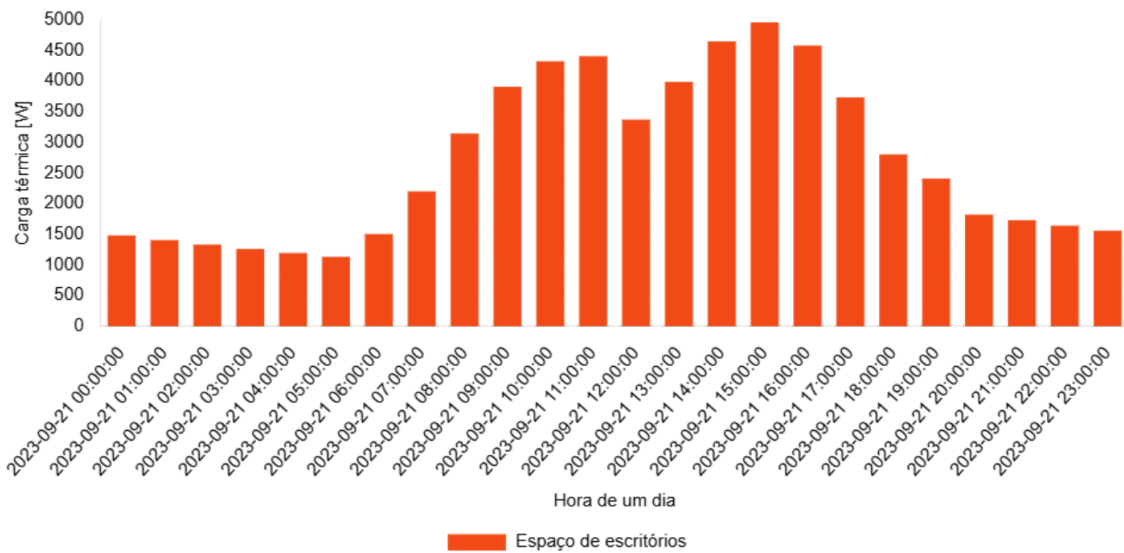


Figura 1.2 - Evolução horária da carga térmica nas diferentes origens para o dia de cálculo

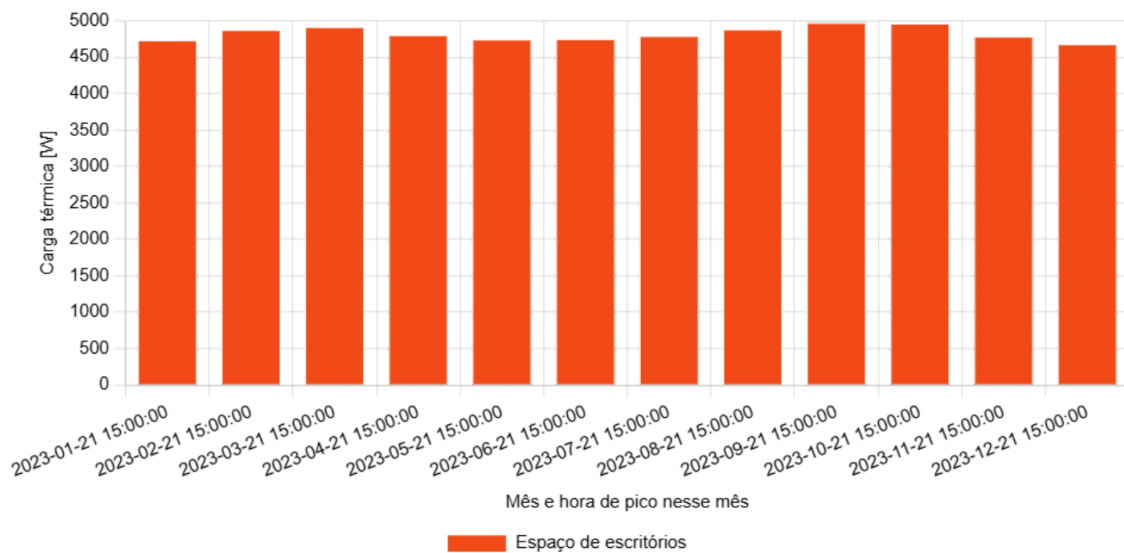


Figura 1.3 - Evolução anual da carga térmica máxima nas diferentes origens

Espaço: **Espaço de escritórios** - Área: **94 m²**

Data e Hora de cálculo: **2023-09-21 15:00:00 [Carga térmica máxima]**

Temperatura exterior: **32.8°C** - Temperatura interior: **21°C**

Tabela 1.1 - Carga térmica na data e hora de cálculo

	Características			Carga térmica [W]
Envolvente envidraçada				1489.4
<u>Condução</u>	<u>A[m²]</u>	<u>U[W/(m².K)]</u>		<u>173.3</u>
Janela 1 - N	1.82	1.6		28.9
Janela 2 - O	3.64	1.6		57.8
Janela 3 - S	3.64	1.6		57.8
Janela 4 - E	1.82	1.6		28.9
<u>Radiação</u>	<u>A[m²]</u>	<u>FS</u>	<u>Orientação</u>	<u>1316.2</u>
Janela 1 - N	1.82	0.61	N	54.9
Janela 2 - O	3.64	0.61	O	480.1
Janela 3 - S	3.64	0.61	S	618.2
Janela 4 - E	1.82	0.61	E	163
Envolvente opaca exterior	A [m²]	U [W/(m².K)]	Orientação	175.8
Parede 1 - Norte	14.7	0.24	N	19.8
Parede 2 - Oeste	26.4	0.24	O	47.1
Parede 3 - Sul	34.2	0.24	S	75
Parede 4 - Este	16.2	0.24	E	33.9
Envolvente opaca interior	A[m²]	U[W/(m².K)]		152.4
Parede 5	19.5	1.612		94.3
Parede 6	12	1.612		58
Iluminação				996.4
Ocupação	Nº de ocupantes			1392.2
<u>Sensível</u>	<u>15</u>			<u>717.2</u>
<u>Latente</u>	<u>15</u>			<u>675</u>
Equipamentos	Potência [W]			903.7
Equipamentos de escritório	1000			903.7
			Carga sensível total	4304.3
			Carga latente total	675
			Carga total	4979.3

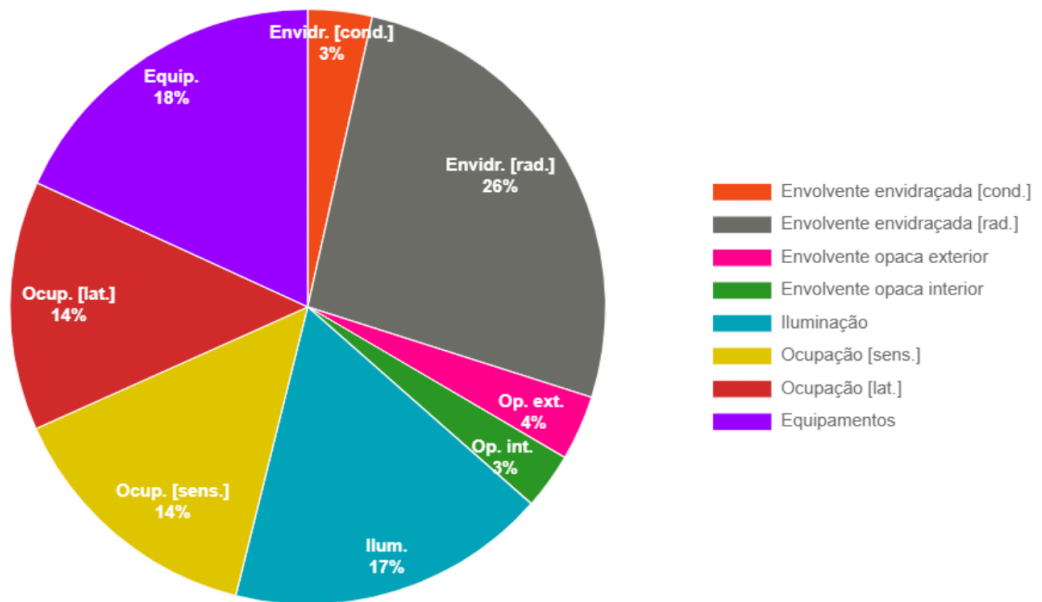


Figura 1.1 - Distribuição da carga térmica nas diferentes origens para a hora de cálculo

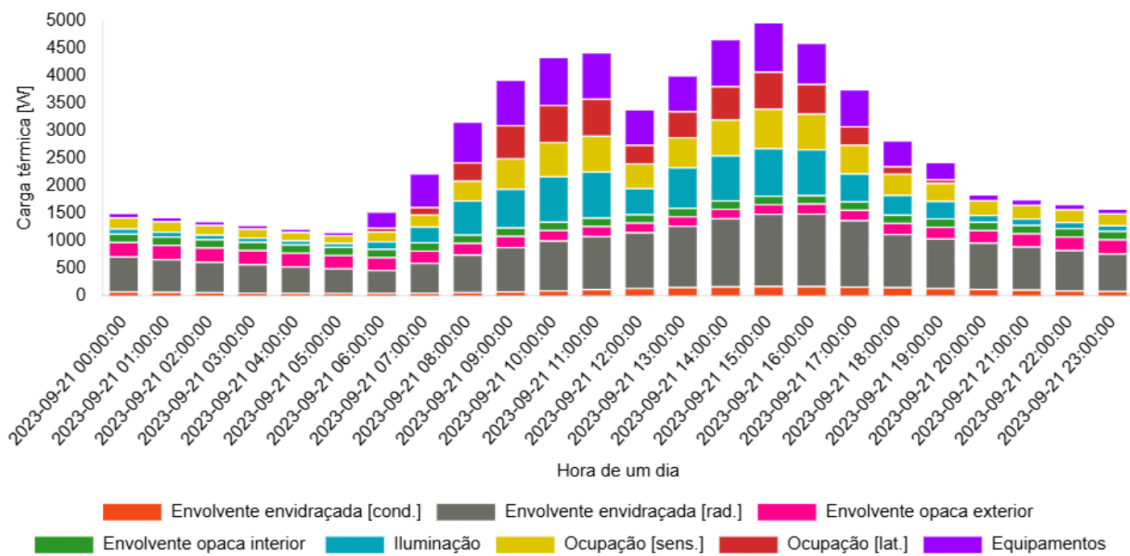


Figura 1.2 - Evolução horária da carga térmica nas diferentes origens para o dia de cálculo

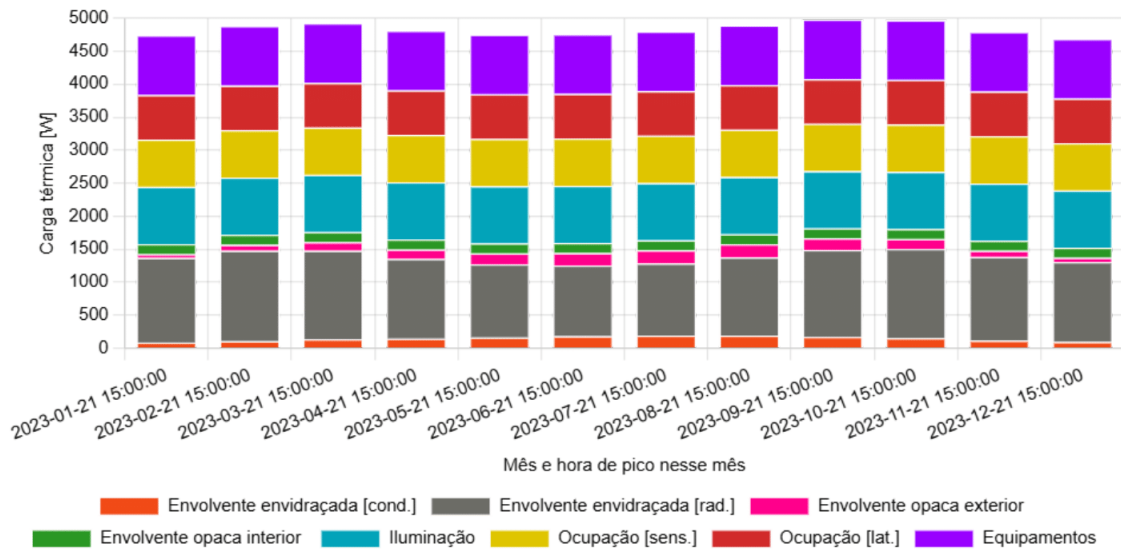


Figura 1.3 - Evolução anual da carga térmica máxima nas diferentes origens

Apêndice III – Potência de equipamentos do exemplo de análise

Tipologia de equipamento	Qtd.	Potência unitária (W)	Fator de Potência ⁽¹⁾	Fator de Exaustão ⁽²⁾	Fator de Simult. ⁽³⁾	Potência Equip. (W)
Computador portátil	7	45	35%	100%	100%	110
Computador fixo	8	240	45%	100%	100%	864
Monitor LED 20"	11	14	10%	100%	60%	9
Impressora de jato de Tinta	3	31	20%	100%	10%	2
					Total	985

(1) O fator de potência compara a potência instalada com a potência máxima que realmente o equipamento é capaz de emitir.

(2) O fator de exaustão avalia se a carga térmica emitida pelo equipamento é absorvida pelo espaço, ou se existe algum meio que retire essa carga antes de ser contabilizada, como por exemplo hottes de extração. Assume-se 100% pois não existe meios de extração localizada.

(3) O fator de simultaneidade avalia a potência simultânea.

Apêndice IV – Relatório de cargas térmicas e dados introduzidos no HAP

Space Design Load Summary for Default System		02/02/2025 07:36
Project Name: CasoDeEstudoTFM_SCE		
Prepared by: isel		

TABLE 1.1.A. COMPONENT LOADS FOR SPACE " Default Space " IN ZONE " Zone 1 "						
	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Sep 1500			HEATING DATA AT DES HTG		
	COOLING OA DB / WB 32,8 °C / 20,0 °C OCCUPIED T-STAT 21,0 °C			HEATING OA DB / WB 3,9 °C / 0,4 °C OCCUPIED T-STAT 20,0 °C		
		Sensible	Latent		Sensible	Latent
SPACE LOADS	Details	(W)	(W)	Details	(W)	(W)
Window & Skylight Solar Loads	11 m ²	1326	-	11 m ²	-	-
Wall Transmission	90 m ²	175	-	90 m ²	349	-
Roof Transmission	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Window Transmission	11 m ²	173	-	11 m ²	282	-
Skylight Transmission	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Door Loads	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Floor Transmission	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Partitions	32 m ²	152	-	32 m ²	0	-
Ceiling	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Overhead Lighting	996 W	865	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	1000 W	904	-	0	0	-
People	15	716	675	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
>> Total Zone Loads	-	4311	675	-	631	0

TABLE 1.1.B. ENVELOPE LOADS FOR SPACE " Default Space " IN ZONE " Zone 1 "						
	Area (m ²)	U-Value (W/(m ² ·K))	Shade Coeff.	COOLING	COOLING	HEATING
				TRANS (W)	SOLAR (W)	TRANS (W)
N EXPOSURE						
WALL	15	0,241	-	21	-	59
WINDOW 1	2	1,600	0,610	29	55	47
S EXPOSURE						
WALL	32	0,241	-	72	-	126
WINDOW 1	4	1,600	0,610	58	619	94
E EXPOSURE						
WALL	16	0,241	-	34	-	63
WINDOW 1	2	1,600	0,610	29	162	47
W EXPOSURE						
WALL	26	0,241	-	48	-	102
WINDOW 1	4	1,600	0,610	58	490	94

Default Space

1. General Details:

Floor Area **94,0** m²
 Avg. Ceiling Height **3,0** m
 Building Weight **340,0** kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage **User-Defined**
 OA Requirement 1 **0,0** L/s/person
 OA Requirement 2 **0,00** L/(s-m²)
 Space Usage Defaults .. **ASHRAE Standard 62.1-2007**

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type **Free Hanging**
 Wattage **10,60** W/m²
 Ballast Multiplier **1,00**
 Schedule **horario_iluminacao**

2.2. Task Lighting:

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

2.3. Electrical Equipment:

Wattage **1000,0** Watts
 Schedule **horario Equipamentos**

2.4. People:

Occupancy **15,0** People
 Activity Level **User defined**
 Sensible **70,0** W/person
 Latent **45,0** W/person
 Schedule **horario_ocupacao**

2.5. Miscellaneous Loads:

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

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
N	17,0	1	0	0
S	36,0	2	0	0
E	18,0	1	0	0
W	30,0	2	0	0

3.1. Construction Types for Exposure N

Wall Type **Parede23-ASH97**
 1st Window Type **Sample Window Assembly**

3.2. Construction Types for Exposure S

Wall Type **Parede23-ASH97**
 1st Window Type **Sample Window Assembly**

3.3. Construction Types for Exposure E

Wall Type **Parede23-ASH97**
 1st Window Type **Sample Window Assembly**

3.4. Construction Types for Exposure W

Wall Type **Parede23-ASH97**
 1st Window Type **Sample Window Assembly**

4. Roofs, Skylights:

(No Roof or Skylight data).

5. Infiltration:

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

6. Floors:

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

7. Partitions:

7.1. 1st Partition Details:

Partition Type **Wall Partition**
 Area **31,5** m²
 U-Value **1,612** W/(m².°K)
 Uncondit. Space Max Temp **24,0** °C
 Ambient at Space Max Temp **28,0** °C
 Uncondit. Space Min Temp **24,0** °C
 Ambient at Space Min Temp **27,0** °C

7.2. 2nd Partition Details:

(No partition data).

Parede23-ASH97

Wall Details

Outside Surface Color **Light**
 Absorptivity **0,450**
 Overall U-Value **0,241** W/(m²·°K)

Wall Layers Details (Inside to Outside)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m ² ·°K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,12100	0,0
Gypsum board	20,000	1602,0	0,84	0,02600	32,0
RSI-3.3 batt insulation	150,000	91,0	0,84	3,52000	13,7
203mm LW concrete block	200,000	609,0	0,84	0,35200	121,8
102mm face brick	100,000	2002,0	0,92	0,07600	200,2
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,05900	0,0
Totals	470,000	-	-	4,15400	367,7

Sample Window Assembly

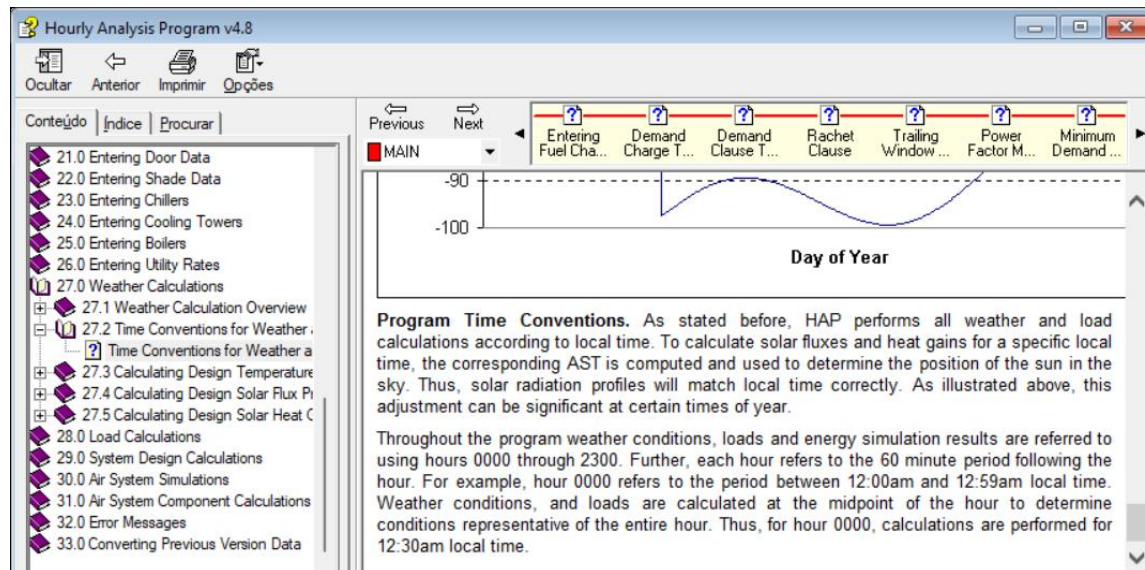
Window Details:

Detailed Input **Não**
 Height **1,48** m
 Width **1,23** m
 Overall U-Value **1,600** W/(m²·°K)
 Overall Shade Coefficient **0,610**

Anexos

Anexo I – Atraso de 30 minutos para o cálculo de radiação solar no HAP

Anexo I – Atraso de 30 minutos para o cálculo de radiação solar no HAP



The screenshot displays the 'Hourly Analysis Program v4.8' interface. On the left is a table of contents with sections like '21.0 Entering Door Data', '27.0 Weather Calculations', and '28.0 Load Calculations'. The main window shows a graph titled 'Day of Year' with a y-axis ranging from -100 to -90. A blue curve represents solar radiation, showing a seasonal cycle. Below the graph is a table of 'Program Time Conventions'.

MAIN	Entering Fuel Cha...	Demand Charge T...	Demand Clause T...	Ratchet Clause	Trailing Window ...	Power Factor M...	Minimum Demand ...

Program Time Conventions. As stated before, HAP performs all weather and load calculations according to local time. To calculate solar fluxes and heat gains for a specific local time, the corresponding AST is computed and used to determine the position of the sun in the sky. Thus, solar radiation profiles will match local time correctly. As illustrated above, this adjustment can be significant at certain times of year.

Throughout the program weather conditions, loads and energy simulation results are referred to using hours 0000 through 2300. Further, each hour refers to the 60 minute period following the hour. For example, hour 0000 refers to the period between 12:00am and 12:59am local time. Weather conditions, and loads are calculated at the midpoint of the hour to determine conditions representative of the entire hour. Thus, for hour 0000, calculations are performed for 12:30am local time.