



Comparação de Estudos Energéticos Dinâmicos de Edifícios, recorrendo ao Revit e IES.VE

ANDRÉ FILIPE MIRANDA DA SILVA

outubro de 2024

Comparação de Estudos Energéticos Dinâmicos de Edifícios, recorrendo ao Revit e IES.VE

André Filipe Miranda da Silva

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Área de Especialização em Energia

Orientadora: Engenheira Especialista Isabel Maria Garcia Sarmiento Pereira

Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Supervisor na Empresa: Engenheiro Tiago Manuel Barroso Lima

Project Manager, BimSource

Co-Supervisor na Empresa: Frederico Machado Maia

BIM Manager, BimSource

Júri:

Presidente:

Rui Filipe Neves de Araújo Rego, Professor Adjunto, ISEP

Vogais:

Maria Odete Magalhães Almeida, Professor Adjunto Convidado, ISEP

Isabel Maria Garcia Sarmiento Pereira, Professor Adjunto, ISEP

Dedicatória

Aos meus pais, ao Óscar e Sara

Aos meus colegas de curso, Nuno, Tiago, Ricardo e Marco, por todo o ânimo, motivação e apoio, que tornaram esta experiência académica muito mais agradável.

Aos meus amigos, Daniel, Elói, Rui, Bruno, pelo suporte que tem prestado nestes últimos 10 anos.

Agradecimentos

Gostaria de começar por expressar a minha gratidão á minha orientadora no ISEP, a Eng^a Isabel Sarmiento, por toda a ajuda, orientação e aprendizagem ao longo deste projeto.

Ao meu mentor, o Eng^o Tiago Lima, pela oportunidade, pelo apoio e compreensão.

A toda a equipa da BimSource, de um modo geral, por terem contribuído para a minha rápida integração na empresa, e pela disponibilidade para esclarecer as minhas dúvidas, em particular ao Manuel Rodrigues e Frederico Maia, pela ajuda preciosíssima com o Revit.

*“Je ne puis vivre personnellement sans mon art.
Mais je n’ai jamais placé cet art au-dessus de tout”*

Albert Camus

Resumo

Tendo em conta o panorama energético mundial dos dias de hoje, é cada vez mais premente falar do impacto dos consumos energéticos dos edifícios. Neste trabalho são apresentadas as análises de cargas térmicas e simulação dinâmica de três edifícios distintos, recorrendo a duas ferramentas de simulação, de um lado o Revit, do outro o IES.VE (*Integrated Invironmental Solutions*).

Atualmente, caminhamos no sentido de implementação generalizada da metodologia BIM, numa vertente geométrica, que almeja a criação de gémeos digitais dos edifícios. Tal raciocínio deve ser aplicado aos modelos energéticos dos edifícios, através do BEM. É nesta perspetiva de centralização dos modelos arquitetura/geometria dos edifícios, aliada ao projeto de todas as outras especialidades que os compõem, com os modelos de análise energética e de consumo dos edifícios, que este trabalho se desenvolve.

A premissa deste trabalho centra-se na análise energética de um edifício utilizando duas ferramentas distintas, uma certificada pelo DOE e outra não, porventura e, de modo a evitar possíveis viciações de resultados, foram feitos estudos a três edifícios de tipologias diferentes, o que permitiu averiguar as discrepâncias entre os resultados, aumentando o volume da amostra. Uma vez que o *Level of detail* dos modelos Revit utilizados atualmente no projeto de edifícios é baixo, existiu a necessidade de se criarem de raiz modelos de Arquitetura com um leque de parâmetros mais completo, nomeadamente do ponto de vista das características térmicas da envolvente, começando pela arquitetura, pelos espaços que os constituíam, pelo zonamento climático e finalmente pela criação dos seus elementos construtivos.

Foram apresentadas as formas de definição dos parâmetros de cálculo, em ambas as ferramentas de software.

Demonstrou-se, de seguida, a forma como se utiliza cada software para realizar as simulações pretendidas, tanto para obtenção de cargas térmicas como para simulação energética dinâmica de edifícios.

Obtiveram-se os resultados e a partir dos mesmos foi averiguada a exatidão da ferramenta do Revit em relação ao IES.VE. Os desvios entre as duas simulações variam entre os 2.0% e os 41.4%, para a estação de arrefecimento. Para a estação de aquecimento, os resultados mostram discrepâncias em que variam entre 32.6% e 61.2%. Já para a simulação energética dinâmica, as discrepâncias variam entre os 18% e os 98.1%.

Conclui-se acerca da aplicabilidade da ferramenta Revit para simulações energéticas e de cálculo de cargas térmicas para cada tipo de edifício e as suas limitações/dificuldades na execução de tais tarefas.

Palavras-chave: Cargas Térmicas, Edifícios, *Integrated Environmental Solutions*, Revit, Simulação Energética Dinâmica

Abstract

Taking in consideration today's global energy landscape, it makes sense, today, more than ever, to discuss the impact of building energy consumption. This paper presents the thermal load analysis, and the dynamic simulations made about three very different buildings, making use of two software programs, Revit and IES.VE (Integrated Environmental Solutions).

We are currently moving towards the generalized implementation of the BIM methodology, from a geometric point of view, which aims to create "digital twins" of buildings, such reasoning shall be applied to the energy models of buildings, through BEM. It is from this perspective of centralizing the architecture/geometry models of buildings combined with the design of all the other disciplines that make them up, with the energy analysis and consumption models of buildings that this work is developed.

The premise of this work centers on the energy analysis of a building using two different tools, one certified by the DOE and the other not. In order to avoid possible biases in the results, studies were carried out on three buildings of different typologies, which made it possible to ascertain the discrepancies between the results for a more comprehensive sample. Since the level of detail of the Revit models currently used in building design is low, there was a need to create Architectural models from scratch with a more complete range of parameters, particularly from the point of view of the thermal characteristics of the surroundings, starting with the architecture, the spaces that made them up, the climate zoning and finally the creation of their constructive elements.

The ways of defining the calculation parameters in both software tools were presented.

We then demonstrated how to use each software program to carry out the simulations required, both to obtain thermal loads and to simulate building dynamics.

The results were obtained, and the accuracy of the Revit tool compared to IES.VE was verified. The deviations between the two simulations vary between 2.0% and 41.4% for the cooling season. For the heating season, the results show discrepancies ranging from 32.6% to 61.2%. As for energy simulation, the discrepancies varies between 18% and 98.1%.

It concludes with the applicability of the Revit tool for energy simulations and calculating thermal loads for each type of building and its limitations/difficulties in carrying out such tasks.

KEYWORDS: Thermal Loads, Buildings, Integrated Environmental Solutions, Revit, Energy Simulation of Buildings

Índice

| | |
|--|----|
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1. Contextualização | 1 |
| 1.2. Objetivo | 3 |
| 1.3. Estrutura da tese | 3 |
| 1.4. Empresa de Acolhimento | 4 |
| 2. Revisão Bibliográfica | 5 |
| 2.1. Conforto Térmico | 5 |
| 2.1.1. Como o Ser Humano percebe o conforto térmico | 5 |
| 2.1.2. Fatores Secundários de Conforto Térmico | 10 |
| 2.1.3. Desconforto térmico | 10 |
| 2.1.4. Stress Térmico..... | 12 |
| 2.1.5. Métodos de Previsão de Conforto Térmico..... | 12 |
| 2.1.6. Temperatura Operativa | 14 |
| 2.2. Qualidade do Ar Interior | 15 |
| 2.2.1. Caudais Mínimos de Ventilação..... | 16 |
| 2.3. Determinação das necessidades térmicas e energéticas de edifícios | 18 |
| 2.3.1. Dados Climáticos..... | 18 |
| 2.3.2. Zonamento Térmico..... | 19 |
| 2.3.3. Cargas Térmicas | 20 |
| 2.3.4. Métodos de Cálculo de Cargas Térmicas | 20 |
| 2.3.5. Comparação entre Métodos de Cálculo | 22 |
| 2.3.6. Cálculos Energéticos | 23 |
| 2.3.7. Diferenças entre o Cálculo de Cargas Térmicas e os Cálculos Energéticos | 25 |
| 2.4. Certificação energética de Edifícios | 25 |
| 2.4.1. Certificação energética em Portugal..... | 25 |
| 2.4.2. Certificação energética e ambiental de edifícios..... | 26 |
| 2.5. Simulação Energética Dinâmica de Edifícios | 27 |
| 2.5.1. Building Energy Modelling | 27 |
| 2.5.2. ASHRAE 140 | 28 |
| 2.5.3. ASHRAE <i>Guideline</i> 14 | 31 |
| 2.5.4. Ferramenta de Simulação Energética Dinâmica | 32 |
| 2.6. <i>Building Information Modelling</i> | 33 |
| 2.6.1. Ferramenta de modelação 3D | 33 |
| 3. Métodos e Aplicação..... | 35 |
| 3.1. Casos de Estudo | 35 |
| 3.1.1. Edifício de Habitação Multifamiliar..... | 35 |

| | |
|--|-----|
| 3.1.2. Edifício de Escritórios..... | 42 |
| 3.1.3. Edifício <i>Giga-Factory</i> | 50 |
| 3.2. Definição dos Parâmetros de Cálculo | 57 |
| 3.2.1. Localização, ficheiros climáticos e orientação dos edifícios..... | 57 |
| 3.2.2. Elementos Construtivos | 61 |
| 3.2.3. Ganhos Internos (Iluminação, Ocupação e Equipamentos)..... | 62 |
| 3.2.4. Temperaturas Operativas | 62 |
| 3.2.5. Caracterização dos Sistemas AVAC..... | 64 |
| 3.3. Simulação de Cargas térmicas..... | 67 |
| 3.3.1. Revit | 68 |
| 3.3.2. IES.VE | 68 |
| 3.4. Simulação Dinâmica | 69 |
| 3.4.1. Revit | 70 |
| 3.4.2. IES.VE | 70 |
| 4. Resultados e Discussão | 73 |
| 4.1. Apresentação de resultados de Cargas Térmicas obtidos através do Revit e IES.VE.... | 73 |
| 4.1.1. Caso de estudo 1..... | 73 |
| 4.1.2. Caso de estudo 2..... | 74 |
| 4.1.3. Caso de estudo 3..... | 74 |
| 4.2. Apresentação de resultados obtidos nas simulações energéticas dinâmicas do REVIT e IES.VE | 75 |
| 4.2.1. Caso de estudo 1..... | 76 |
| 4.2.2. Caso de estudo 2..... | 76 |
| 4.2.3. Caso de estudo 3..... | 77 |
| 4.3. Discussão de resultados | 77 |
| 4.3.1. Resultados Simulação de Cargas Térmicas | 78 |
| 4.3.2. Resultados Simulação Dinâmica de Edifícios | 78 |
| 4.3.3. Análise Comparativa das diferenças entre o Revit e o IES.VE | 79 |
| 5. Conclusão..... | 81 |
| 5.1. Conclusões finais..... | 81 |
| 5.2. Trabalhos Futuros..... | 82 |
| Apêndice A | 90 |
| Apêndice B | 97 |
| Apêndice C | 101 |
| Apêndice D..... | 104 |
| Anexo A..... | 112 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Logótipo BimSource | 4 |
| Figura 2 - Trocas de calor dos vasos sanguíneos como exterior[7] | 6 |
| Figura 3 - Impacto da Velocidade do ar | 9 |
| Figura 4 - Valores de Humidade e Temperatura aceitáveis[7] | 10 |
| Figura 5 - Percentagem de Insatisfeitos devido a Assimetrias térmicas de superfícies[7] | 11 |
| Figura 6 - Percentagem de Insatisfeitos devido ao Gradiente de Temperatura entre pés e cabeça[7]..... | 11 |
| Figura 7 - Limite de exposição de um trabalhador ao Stress Térmico[7] | 12 |
| Figura 8 - Relação entre PMV e PPD | 13 |
| Figura 9 - Temperatura do ar interior, segundo a EN ISO 16798-1 [18] | 15 |
| Figura 10 . Zonamento Climático para a estação de aquecimento (esquerda) e estação de arrefecimento (direita)[25]..... | 19 |
| Figura 11 - Esquema do <i>Heat Balance Method</i> [30] | 21 |
| Figura 12 - Esquema do <i>Radiant Time Series Method</i> [30] | 22 |
| Figura 13 - Pior caso de comparação entre RTSM e HBM. [35] | 23 |
| Figura 14 - Conjunto de normas da família EN ISO 52000. [36]..... | 24 |
| Figura 15 - Comparação de resultados para as necessidades de arrefecimento simuladas nos softwares estudados no âmbito da ASHRAE Standard 140. [48]..... | 28 |
| Figura 16 - Caso 600 (ASHRAE 140).[49] | 29 |
| Figura 17 - Diagrama dos testes ASHRAE 140.[49] | 29 |
| Figura 18 - Testes de Elementos em contacto com o solo.[49] | 30 |
| Figura 19 - Geometria Caso CE100.[49] | 30 |
| Figura 20 - Geometria da série L100A.[49] | 31 |
| Figura 21 - Nº de testes necessários para certificação (ASHRAE 140).[49] | 31 |
| Figura 22 - Modelo BIM do caso de estudo 1 | 36 |
| Figura 23 - Planta do Piso 1..... | 36 |
| Figura 24 - Planta da Fração-Tipo | 37 |
| Figura 25- Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opaco e de vãos envidraçados para edifícios de habitação, U_{ref} [W/ (m ² ·C)] s. [56] | 39 |
| Figura 26 - Perfil de utilização do caso de estudo 1..... | 40 |
| Figura 27 - EN 16798-1 - Intervalos de Temperatura dos espaços ocupado[18]..... | 41 |
| Figura 28 - Modelo BIM caso de estudo 2 | 43 |
| Figura 29 - Planta do Piso 1..... | 43 |
| Figura 30 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opaco e de vãos envidraçados para edifícios de comércio e serviços, U_{ref} [W/ (m ² ·C)] s. [55] ... | 45 |
| Figura 31 - Exemplo horário de espaços de escritório [60] | 47 |
| Figura 32 - Modelo BIM do edifício do caso de estudo 3 | 50 |
| Figura 33 - Planta do Piso 1..... | 50 |
| Figura 34 - Exemplo de horário para área de escritórios. [60] | 54 |
| Figura 35 - Exemplo de horário para área de fabrico | 54 |

| | |
|--|----|
| Figura 36 - Definição da Localização do Edifício do caso de estudo 1 no Revit..... | 58 |
| Figura 37 - Localização do ed. do caso de estudo 1 no IES.VE..... | 59 |
| Figura 38 - Ficheiro Climático associado ao caso de estudo 1..... | 59 |
| Figura 39 - Gráfico da variação das temperaturas de projeto para o caso de estudo 1..... | 60 |
| Figura 40 - Orientação do edifício em relação ao Norte Geográfico..... | 60 |
| Figura 41 - Exemplo de definição de um elemento construtivo (IES.VE)..... | 62 |
| Figura 42 - Definição de ganhos internos no Revit para a divisão nº 5 do caso de estudo 2 | 63 |
| Figura 43 - <i>Analytical Systems</i> da fração 1 do caso de estudo 1, no Revit..... | 65 |
| Figura 44 - <i>Analytical Systems</i> da fração 1 do caso de estudo 2, no Revit..... | 66 |
| Figura 45 - <i>Analytical Systems</i> da fração 1 do caso de estudo 3, no Revit..... | 67 |
| Figura 46 – Cálculo de Cargas Térmicas (Revit)..... | 68 |
| Figura 47 – Cálculo de Cargas Térmicas (IES.VE)..... | 69 |
| Figura 48 - Definição de Sistemas Analíticos no Revit..... | 70 |
| Figura 49 - Ferramenta “ <i>ApacheSim</i> ” (IES.VE)..... | 71 |
| Figura 50 – Consumos Parciais IES.VE, Ed.1..... | 76 |
| Figura 51 – Consumos Parciais Revit, Ed.1..... | 76 |
| Figura 52 - Consumos Parciais IES.VE, Ed.2..... | 76 |
| Figura 53 - Consumos Parciais Revit, Ed.2..... | 76 |
| Figura 54 - Consumos Parciais IES.VE, Ed.3..... | 77 |
| Figura 55 - Consumos Parciais IES.VE, Ed.3..... | 77 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Atividade Metabólica[7]..... | 7 |
| Tabela 2 - Valores de clo por tipo de vestuário[7]..... | 8 |
| Tabela 3 - Escala do índice PMV..... | 13 |
| Tabela 4 - Escala do Índice PPD..... | 13 |
| Tabela 5 - Categorias de IEQ (adaptado de EN ISO 16798-1)..... | 15 |
| Tabela 6 - Caudal de ar novo por ocupante, para cada tipo de espaço[23]..... | 17 |
| Tabela 7 - Caudal de ar novo por unidade de ar para cada tipo de edifício[23]..... | 17 |
| Tabela 8 - Caudais de base para compartimentos principais..... | 18 |
| Tabela 9 - Caudais de base para compartimentos de serviço..... | 18 |
| Tabela 10 - Testes BESTEST utilizados pela EN ISO 52016-1..... | 25 |
| Tabela 11 - Requisitos de <i>Compliance</i> (adaptado de "Table 5-2"). [51]..... | 32 |
| Tabela 12 - Divisões da Fração-Tipo..... | 38 |
| Tabela 13 - Elementos Construtivos da envolvente opaca do caso de estudo 1..... | 39 |
| Tabela 14 - Elementos Construtivos da envolvente envidraçada do caso de estudo 1..... | 40 |
| Tabela 15 - Requisito de Renovações de ar[23]..... | 41 |
| Tabela 16 - Temperatura Operativas dos Espaços (EN 16798-1)..... | 41 |
| Tabela 17 - Perfis de Espaço para a Fração tipo do edifício do caso de estudo 1..... | 42 |
| Tabela 18 - Divisões da Fração-Tipo..... | 44 |
| Tabela 19 - Elementos Construtivos da envolvente opaca do caso de estudo 1..... | 46 |
| Tabela 20 - Elementos Construtivos da envolvente envidraçada do caso de estudo 1..... | 46 |
| Tabela 21 - Taxa de Ocupação dos espaços do edifício do caso de estudo 2..... | 47 |
| Tabela 22 - Caudal de ar novo pelo critério da ocupação do espaço..... | 48 |
| Tabela 23 - Caudal de ar novo pelo critério da área do espaço..... | 48 |
| Tabela 24 - Temperatura Operativa dos espaços (EN 16798-1)..... | 49 |
| Tabela 25 - Perfis de Espaço para o edifício do caso de estudo 2..... | 49 |
| Tabela 26 - Divisões da Fração-Tipo..... | 51 |
| Tabela 27 - Elementos Construtivos da envolvente opaca do caso de estudo 3..... | 53 |
| Tabela 28 - Elementos Construtivos da envolvente envidraçada do caso de estudo 3..... | 53 |
| Tabela 29 - Temperaturas Operativas dos espaços do caso de estudo 3 (EN 16798-1)[61]..... | 55 |
| Tabela 30 - Perfis de Espaço para o edifício do caso de estudo 3..... | 56 |
| Tabela 31 - Temperaturas Operativas para cada tipo de espaço..... | 64 |
| Tabela 32 - Valores de SCOP e SEER dos sistemas VRF para o caso de estudo 1..... | 65 |
| Tabela 33 - Valores de SCOP e SEER dos sistemas VRF para o caso de estudo 2..... | 65 |
| Tabela 34 - Valores de SCOP e SEER dos sistemas VRF para o caso de estudo 3..... | 66 |
| Tabela 35 - Resultados da Simulação de cargas térmicas em Revit e IES.VE, para o caso de estudo 1..... | 73 |
| Tabela 36 - Resultados da Simulação de cargas térmicas em Revit e IES.VE, para o caso de estudo 2..... | 74 |
| Tabela 37 - Resultados da Simulação de cargas térmicas em Revit e IES.VE, para o caso de estudo 3..... | 74 |

| | |
|--|----|
| Tabela 38 - Consumos Anuais IES.VE e Revit, caso de estudo 1 | 76 |
| Tabela 39 - Consumos Anuais IES.VE e Revit, caso de estudo 2 | 77 |
| Tabela 40 - Consumos Anuais IES.VE e Revit, caso de estudo 3 | 77 |
| Tabela 41 - Desvios percentuais das Simulações de Cargas Térmicas..... | 78 |
| Tabela 42 - Desvio Percentual de valores da Simulação Dinâmica..... | 78 |
| Tabela 43 - Desvios dos resultados das simulações de cargas térmicas em comparação com o máximo desvio permitido pela ASHRAE <i>Guideline 14</i> | 79 |
| Tabela 44 - Desvios dos resultados das simulações energéticas dinâmicas, em comparação com o máximo desvio permitido pela ASHRAE <i>Guideline 14</i> | 79 |
| Tabela 45 - Taxa de Ocupação dos espaços do edifício do caso de estudo 3..... | 97 |
| Tabela 46 - Caudal de ar novo pelo critério da ocupação do espaço | 98 |
| Tabela 47 - Caudal de ar novo pelo critério da área do espaço..... | 99 |

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

| | |
|--------|--|
| AVAC | Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado |
| ASHRAE | <i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> |
| BEM | <i>Building Energy Modelling</i> |
| BIM | <i>Building Information Modelling</i> |
| DOE | <i>Department of Energy</i> |
| EPW | <i>EnergyPlus Weather</i> |
| GEE | Gases de Efeito de Estufa |
| HBM | <i>Heat Balance Method</i> |
| TMR | Temperatura Média Radiante |
| RTMS | <i>Radiant Time Series Method</i> |
| UE | União Europeia |
| USGBC | <i>United States Green Building Council</i> |

1. Introdução

Neste capítulo serão abordados os tópicos que servirão de base para a temática, com o objetivo de a integrar no trabalho desenvolvido. Primeiramente, é contextualizado o enquadramento do trabalho. Posteriormente, são apresentados os objetivos desta dissertação e, finalmente, é apresentada a estrutura do documento.

1.1. Contextualização

O panorama energético global sofreu, no último século, grandes transformações, sobretudo ao nível do aumento do consumo energético, mudanças de fontes de energia com a introdução e investimento em energias de fonte renovável, e foi ainda marcado pelos esforços a nível internacional para mitigar as alterações climáticas. No início do século XX, a revolução industrial levou a uma insurgência nas necessidades energéticas globais, que numa primeira instância foi suprimida pelo carvão, mais tarde, já em meados do mesmo século, combustíveis como petróleo e gás natural tornaram-se dominantes devido às suas densidades energéticas e facilidade de transporte. Mais tarde, com o aumento dos efeitos negativos do uso de combustíveis fósseis, como poluição do ar e a emissão de gases de efeito de estufa (GEE) e a crise do petróleo nos anos 70, houve a necessidade de reavaliar as estratégias de consumo de Energia a nível mundial, para diminuir a dependência energética nos combustíveis fósseis.[1]

O Protocolo de Kyoto de 1997 é o primeiro acordo de impacto internacional a visar a redução de emissões de GEE, tendo também um papel de relevo por ter sido o protocolo que abriu caminho para futuros acordos, como foi o caso do Acordo de Paris, em 2015, no qual mais países aderiram e a ambição dos objetivos era também superior, onde se postulou o objetivo de reduzir o aumento da temperatura global para 2°C acima dos níveis pré-industriais.[2]

O acordo de Paris materializou-se na UE, na forma da EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*)[3], publicada já em 2002 e revista em 2024[1], por se considerar como crítico o setor imobiliário no consumo de energia na UE, representando 40% do consumo de energia final e 36% das emissões de CO₂[4] Esta diretiva estabelece requisitos mínimos do desempenho energético dos edifícios, dos sistemas que os compõem e ainda define métodos de cálculo para os mesmos, obriga a emissão de certificações energéticas dos edifícios, bem como à elaboração de planos nacionais de implementação de edifícios com necessidades energéticas quase nulas[1]. Em Portugal, a EPBD foi implementada através do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), em 2006.

Introdução

O sistema energético mundial está em transformação. Com a constante alteração do *marketshare* de cada tipo de energia, fóssil, renovável ou até nuclear, ainda a ser refinado, são estas mais recentes que suprimem as necessidades do aumento do consumo generalizado. Do lado da procura, o mercado dos transportes elétricos está a causar uma enorme pressão na produção energética. O aumento da qualidade de vida também tem um papel importante nas necessidades de fornecimento de energia, uma vez que significa mais habitações com um número maior de aparelhos elétricos e eletrónicos.[5]

Em 2022, a crise energética, por via da guerra, alavancou as tarifas de energia cobradas aos consumidores, aumentando assim o tom da discussão em torno da transição energética. Para o consumidor final, o preço desta transição deve começar por quantificar os gastos iniciais adicionais de optar por uma solução mais sustentável, como é o caso de optar por um veículo elétrico em detrimento de um a combustão interna ou até de investir numa bomba de calor ao invés de uma caldeira a gás.[6]

Este tipo de dificuldades carece de intervenção por parte dos governos de cada país ou até de comunidades de países, como é o caso da União Europeia, em gerar políticas de incentivo ao investimento em soluções sustentáveis, contudo, tais políticas devem ser administradas de forma a garantir que os custos desta transição não sejam suportados pelo cidadão comum de forma agressiva sem existirem benefícios tangíveis[6]

O preço da energia é determinante para avaliar a viabilidade económica das alternativas sustentáveis a par dos subsídios que ainda existem para os combustíveis fósseis, sobretudo em economias emergentes e em desenvolvimento. Estes subsídios distorcem os mercados e acabam por ser pagos pelos consumidores através de aumentos de impostos sobre bens.[6].

Atualmente, a metodologia BIM não só tem vindo a aumentar a sua pegada em termos de projeto, mas também nas áreas de manutenção e simulação. É uma forma de trabalho mais completa, pois, visa a integração das várias especialidades da construção num modelo único partilhado, onde se otimiza a compatibilização entre especialidades, evitando em muitos casos, problemas em obra que, pela sua natureza, acarretam custos mais elevados, quebras nos *workflows* das equipas em obra e, em casos mais extremos, obriga mesmo á paragem e intervenção das equipas de projeto para resolver esses mesmos entraves.

Em Portugal, a metodologia BIM encontra-se numa dualidade em que empresas maiores e que investiram no desenvolvimento e implementação precoce deste tipo de softwares, já se encontram em fases avançadas, que lhes permitem ter competitividade internacional, mas ainda existem muitos gabinetes de projeto onde essa transição de 2D/3D para BIM ainda não tomou lugar e que, por consequência, têm vindo a perder competitividade tanto a nível nacional como internacional uma vez que, também em Portugal, ainda que não obrigatório, os edifícios de maior dimensão e complexidade sejam projetados integralmente em metodologia BIM, devido á densidade e especificidade das soluções adotadas pelas especialidades e pela melhor coordenação entre as mesmas, obrigando assim empresas da área que não trabalhem em BIM a cingirem-se a projetos mais pequenos e de menor complexidade.

Nos dias que correm a metodologia BIM já conta em Portugal com organizações de divulgação e formação nesta área, tais como *BuildingSmart* ou *ptBIM*. Em termos legais, não existe, como

disse, obrigatoriedade de apresentar projetos nesta metodologia, mas estão em marcha esforços para futuramente impor legalmente este tipo de metodologia, através da Comissão Técnica 197 (CT197).

1.2. Objetivo

Neste trabalho, que surge como consequência da cada vez maior utilização de ferramentas BIM no setor da construção em Portugal, com vista, a antever o comportamento da ferramenta de simulação energética do software Revit, para o qual não está atualmente certificado pelo DOE/ASHRAE. Para balizar os resultados obtidos no Revit estes serão comparados a um software certificado para o efeito, o IES.VE, através dos protocolos de modelação e parametrização de simulações como ASHRAE 140.

Assim, este trabalho visa estudar a exatidão com que cada um dos softwares de simulação calcula as potências de aquecimento e arrefecimento dos espaços de cada edifício, isto é, as discrepâncias entre os valores apresentados por cada um deles, também em termos de quantidade de energia necessária á operação de cada edifício por ano.

Inicialmente, o trabalho visava a análise energética de um edifício, através das duas ferramentas de software supra indicadas, contudo, e de forma a poder tirar conclusões o mais válidas possível, optou-se por realizar o estudo a três tipologia de edifícios, ao apresentar Arquitetura diversa, quer em termos de Tipologia, Volume, Ocupação e Localização.

1.3. Estrutura da tese

O presente trabalho está dividido em sete capítulos

No primeiro é feita uma introdução global do panorama onde a tese está inserida, bem como dos objetivos da mesma, é delineada a estrutura do texto e por fim apresenta-se a entidade onde foi desenvolvido o trabalho experimental.

O segundo capítulo, Revisão Bibliográfica, serve como base de conhecimento científico às áreas de enfoque do trabalho, contendo informação técnica académica e científica acerca dos temas a abordar.

No terceiro capítulo, e provavelmente o mais importante, é descrito o método através do qual se responde ao repto inicial: “Será o Revit capaz de executar simulações dinâmicas de edifícios de qualidade suficiente?”. Este capítulo será dividido em três subcapítulos: no primeiro far-se-á uma apresentação dos edifícios que serão utilizados com amostra de controlo de resultados, no segundo será demonstrada a forma como se atribuem e definem os elementos construtivos, os ganhos internos dos edifícios, bem como localização e utilização dos ficheiros climáticos, o terceiro subcapítulo será para demonstrar a forma de preparar ambos os softwares para a simulação de cargas térmicas e, finalmente, no ultimo, são enumerados os passos para a realização das simulações energéticas dinâmicas.

Introdução

O capítulo quatro, denominado “Resultados e Discussão”, são expostos os resultados de ambas as simulações para os três casos de estudo, e onde, posteriormente se comparam os desvios relativos entre os resultados obtidos pelo Revit e os resultados tomados como referência, obtidos pelo IES.VE.

No quinto capítulo, designado Conclusões, são analisados os resultados obtidos, no âmbito do presente trabalho, e onde o repto inicial é respondido.

O capítulo seguinte, destina-se à apresentação das Referências Bibliográficas que suportaram este estudo.

Nos Anexos está presente toda a informação que, ainda de relevo para a elaboração da experiência, não acrescentaria dados para o corpo do texto nem para as conclusões retiradas. Nele inserem-se imagens, cálculos e parâmetros técnicos, utilizados ao longo do trabalho.

1.4. Empresa de Acolhimento

Este trabalho foi realizado em ambiente empresarial e em colaboração com a **BimSource**, Consultores de Engenharia. Empresa portuguesa fundada em abril de 2020, pelos engenheiros Tiago Lima e Manuel Rodrigues, em pleno estado de emergência da COVID-19. Define-se como uma empresa inovadora do setor da construção, na vanguarda da implementação de metodologias BIM, que em apenas 4 anos de existência conseguiu colocar no seu portefólio projetos de relevo nacional e internacional.

Conta atualmente com uma equipa multidisciplinar que atua, principalmente, nas áreas de projeto, consultoria, acompanhamento em obra, e formação BIM, bem como na construção, gestão e coordenação de projetos multidisciplinares onde é possível a integração de diversas equipas de múltiplas entidades em plataformas BIM, nomeadamente em Revit.



Figura 1 - Logótipo BimSource

Este trabalho foi desenvolvido no departamento de Instalações Mecânicas da **BimSource**, dirigido pelo Eng.º Tiago Lima. Neste departamento, para além do Revit para projetar e modelar sistemas AVAC, é ainda também usada a ferramenta IES.VE para realizar simulações dinâmicas de edifícios e ainda simulações de cargas térmicas dos espaços desses mesmos edifícios. Sendo estas as duas ferramentas usadas neste trabalho e cedidas pela **BimSource** para o desenvolvimento do mesmo.

2. Revisão Bibliográfica

Este capítulo serve como base de suporte científico para os temas abordados nos capítulos seguintes, de forma a enquadrar o estado da arte do tema em estudo. Passa em primeiro lugar, pelo tema do conforto térmico, qualidade do ar interior, de seguida aborda o tema das necessidades térmicas e energéticas dos edifícios, certificação energética e termina com uma revisão acerca dos softwares em estudo no enquadramento das simulações energéticas dinâmicas.

2.1. Conforto Térmico

2.1.1. Como o Ser Humano percebe o conforto térmico

A sensação consciente de conforto advém da influência que a temperatura e humidade ambientes têm na pele humana, temperatura interna corporal e ainda, do esforço necessário para manter essa temperatura. Obtém-se, assim, uma sensação de conforto, com uma variação baixa da temperatura ambiente em relação à corporal, humidade à flor da pele baixa e esforço de termorregulação baixo. O conforto depende também da atividade metabólica, do tipo e quantidade de roupa usada e da velocidade do ar interior.[7]

Mecanismos de termorregulação Humana

A atividade metabólica resulta, quase exclusivamente, na dissipação de calor através da superfície do corpo humano, com vista a manter uma temperatura corporal estável. As elevadas oscilações de temperatura interna do corpo podem ter consequências mais gravosas, uma delas sendo o dano cerebral irreversível se esta ultrapassar os 46°C, ou a arritmia cardíaca e possível paragem cardíaca aquando de temperaturas inferiores a 28°C. Como valores de referência de temperatura corporal podem-se tomar os seguintes: numa situação de repouso, ronda os 36.8°C e sobe com o nível de atividade física para os 37.9°C, em corrida.

Por razões de conveniência é usual falar-se de atividade metabólica por unidade de área, no caso de uma pessoa em repouso usa-se o valor de referência de 58 W/m², ou seja 1 *met*, unidade usada, como veremos mais à frente para caracterizar as temperaturas do ambiente interior de um espaço. A escala *met* foi baseada da perda de calor de um homem europeu de 1.8m² de área de superfície corporal, em situação de repouso. Outros tipos de atividade metabólica são normalmente referenciados a partir do caso de repouso, ou seja, se a taxa metabólica de certa atividade é 10 vezes superior à de repouso, diz-se ser de 10 *met*.

O conforto térmico é influenciado por dois tipos de permuta de calor com o meio circundante imediato, a perda de calor sensível e a perda de calor latente e de evaporação através da pele.

A perda de calor sensível depende em grande parte da perda por convecção e por radiação, que, por sua vez, são dependentes do gradiente de temperatura entre a superfície da pele e do ar ambiente, em ambos os casos, bem como da velocidade deste ar, no caso de transferência de calor por convecção.[7]

A transferência de calor latente ocorre através da transpiração da pele e está dependente, não apenas da humidade presente à superfície da pele, responsável pela perda evaporativa de calor, mas, de forma complementar, pela difusão de água através da pele. Uma taxa elevada de humidade superficial é, por vezes causadora de “stress térmico”, um parâmetro que contribui para a diminuição do conforto térmico dos ocupantes que abordaremos mais à frente.

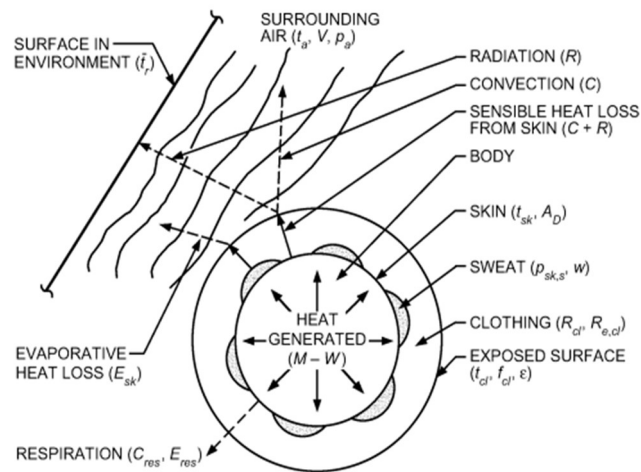


Figura 2 - Trocas de calor dos vasos sanguíneos como exterior[7]

Perdas por respiração

A perda de calor através da respiração deve também ser considerada uma vez que, para além de troca de calor existe também uma transferência de massa. Uma vez que no ato da respiração é na fase de inspiração admitido ar à temperatura e humidade ambientes e, na expiração é expelido ar quase saturado, praticamente à temperatura média do corpo humano, a transferência de calor deste modo tem um importante peso do equilíbrio de calor pois afeta de forma tácita a termorregulação corporal, ainda mais por ser dependente do tipo de atividade do individuo, ou seja, esta é maior quanto mais exigente for a sua atividade, isto é, a sua taxa metabólica.[7].

Tabela 1 - Atividade Metabólica[7]

| | W/m ² | met* |
|--|------------------|------------|
| Resting | | |
| Sleeping | 40 | 0.7 |
| Reclining | 45 | 0.8 |
| Seated, quiet | 60 | 1.0 |
| Standing, relaxed | 70 | 1.2 |
| Walking (on level surface) | | |
| 3.2 km/h (0.9 m/s) | 115 | 2.0 |
| 4.3 km/h (1.2 m/s) | 150 | 2.6 |
| 6.4 km/h (1.8 m/s) | 220 | 3.8 |
| Office Activities | | |
| Reading, seated | 55 | 1.0 |
| Writing | 60 | 1.0 |
| Typing | 65 | 1.1 |
| Filing, seated | 70 | 1.2 |
| Filing, standing | 80 | 1.4 |
| Walking about | 100 | 1.7 |
| Lifting/packing | 120 | 2.1 |
| Driving/Flying | | |
| Car | 60 to 115 | 1.0 to 2.0 |
| Aircraft, routine | 70 | 1.2 |
| Aircraft, instrument landing | 105 | 1.8 |
| Aircraft, combat | 140 | 2.4 |
| Heavy vehicle | 185 | 3.2 |
| Miscellaneous Occupational Activities | | |
| Cooking | 95 to 115 | 1.6 to 2.0 |
| Housecleaning | 115 to 200 | 2.0 to 3.4 |
| Seated, heavy limb movement | 130 | 2.2 |
| Machine work | | |
| sawing (table saw) | 105 | 1.8 |
| light (electrical industry) | 115 to 140 | 2.0 to 2.4 |
| heavy | 235 | 4.0 |
| Handling 50 kg bags | 235 | 4.0 |
| Pick and shovel work | 235 to 280 | 4.0 to 4.8 |
| Miscellaneous Leisure Activities | | |
| Dancing, social | 140 to 255 | 2.4 to 4.4 |
| Calisthenics/exercise | 175 to 235 | 3.0 to 4.0 |
| Tennis, singles | 210 to 270 | 3.6 to 4.0 |
| Basketball | 290 to 440 | 5.0 to 7.6 |
| Wrestling, competitive | 410 to 505 | 7.0 to 8.7 |

Influências Externas

A relação do corpo humano com o ambiente que o rodeia carece, ainda, de uma avaliação mais profunda, desta vez, não apenas cingindo-se à natureza humana, mas também a fatores externos, mais ou menos controláveis.

Estes parâmetros incluem:

-Isolamento do vestuário;

-Temperatura média radiante: A TMR é a temperatura média de todas as superfícies que rodeiam um ocupante. Inclui a influência das superfícies aquecidas e arrefecidas dentro do espaço;

-Velocidade do ar: O movimento do ar através da pele do ocupante influencia a sua percepção da temperatura;

-Humidade: A humidade relativa afeta a capacidade do corpo para regular a temperatura através da evaporação.

Para estimar estes parâmetros e para uniformizar, a certo ponto, a forma como são projetados os espaços e foram criados perfis de ocupação de espaços [8], que tabelaram, entre outros, parâmetros como as taxas metabólicas para cada tipo de atividade (*met*), tipos de isolamento por vestuário (*clo*), parâmetros de conforto térmico dos ocupantes, impacto de grandes velocidades do ar ambiente no conforto térmico, e não menos importante, métodos de previsão do conforto desses mesmos ocupantes.

Vestuário

A roupa que usamos difere quer pela atividade que nos dispomos a fazer quer pela estação do ano em que estamos, não obstante que também depende da escolha pessoal de cada um de nós. Tendo a principal função de nos proteger, esta camada superficial serve também como isolamento térmico e desempenha um papel de relevo no nosso conforto, criando assim a necessidade de ser estimado o seu impacto no tipo e teor das perdas de calor com o ar circundante, resguardando-nos de perdas excessivas de energia térmica.

A resistência térmica que esta camada oferece é medida em (clo), truncação de *Clothes*, que representa o nível de isolamento que cada peça de vestuário oferece, equivalendo 1 clo a uma resistência de $0.155 (m^2.K) /W$. [9]

De forma a simplificar e “*standarizar*” a resistência térmica que cada peça de roupa oferece foi, através de trabalho experimental, produzida a seguinte tabela: [7]

Tabela 2 - Valores de clo por tipo de vestuário [7]

| Garment Description ^a | $I_{clo,p}$ clo ^b | Garment Description ^a | $I_{clo,p}$ clo ^b | Garment Description ^a | $I_{clo,p}$ clo ^b |
|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Underwear | | Long-sleeved, flannel shirt | 0.34 | Long-sleeved (thin) | 0.25 |
| Men's briefs | 0.04 | Short-sleeved, knit sport shirt | 0.17 | Long-sleeved (thick) | 0.36 |
| Panties | 0.03 | Long-sleeved, sweat shirt | 0.34 | Dresses and skirts^c | |
| Bra | 0.01 | Trousers and Coveralls | | Skirt (thin) | 0.14 |
| T-shirt | 0.08 | Short shorts | 0.06 | Skirt (thick) | 0.23 |
| Full slip | 0.16 | Walking shorts | 0.08 | Long-sleeved shirtdress (thin) | 0.33 |
| Half slip | 0.14 | Straight trousers (thin) | 0.15 | Long-sleeved shirtdress (thick) | 0.47 |
| Long underwear top | 0.20 | Straight trousers (thick) | 0.24 | Short-sleeved shirtdress (thin) | 0.29 |
| Long underwear bottoms | 0.15 | Sweatpants | 0.28 | Sleeveless, scoop neck (thin) | 0.23 |
| Footwear | | Overalls | 0.30 | Sleeveless, scoop neck (thick) | 0.27 |
| Ankle-length athletic socks | 0.02 | Coveralls | 0.49 | Sleepwear and Robes | |
| Calf-length socks | 0.03 | Suit jackets and vests (lined) | | Sleeveless, short gown (thin) | 0.18 |
| Knee socks (thick) | 0.06 | Single-breasted (thin) | 0.36 | Sleeveless, long gown (thin) | 0.20 |
| Panty hose | 0.02 | Single-breasted (thick) | 0.44 | Short-sleeved hospital gown | 0.31 |
| Sandals/thongs | 0.02 | Double-breasted (thin) | 0.42 | Long-sleeved, long gown (thick) | 0.46 |
| Slippers (quilted, pile-lined) | 0.03 | Double-breasted (thick) | 0.48 | Long-sleeved pajamas (thick) | 0.57 |
| Boots | 0.10 | Sleeveless vest (thin) | 0.10 | Short-sleeved pajamas (thin) | 0.42 |
| Shirts and Blouses | | Sleeveless vest (thick) | 0.17 | Long-sleeved, long wrap robe (thick) | 0.69 |
| Sleeveless, scoop-neck blouse | 0.12 | Sweaters | | Long-sleeved, short wrap robe (thick) | 0.48 |
| Short-sleeved, dress shirt | 0.19 | Sleeveless vest (thin) | 0.13 | Short-sleeved, short robe (thin) | 0.34 |
| Long-sleeved, dress shirt | 0.25 | Sleeveless vest (thick) | 0.22 | | |

^a"Thin" garments are summerweight; "thick" garments are winterweight.

^b1 clo = 0.155 (m²·K)/W

^cKnee-length

Correção da temperatura operativa consoante o aumento do CLO:

Devido às alterações sazonais de indumentário dos ocupantes, foram estabelecidos na ASHRAE 55 os valores de 0.5 clo, no verão, e 0.9 clo, no Inverno, como valores de referência para o nível de resistência térmica do vestuário. Assim deverá ser tida em consideração os aumentos do clo dos utentes no cálculo da temperatura operativa do espaço a climatizar, fazendo-a diminuir em 0.6K por cada 0.1 clo adicionado ao vestuário. [8], [10]

Temperatura Média Radiativa:

A temperatura média radiante é um fator importante a ter em consideração aquando do cálculo de transferência de calor do corpo humano com o ambiente do espaço em que se encontra. A temperatura média radiante pode ser calculada medindo a temperatura das paredes do espaço, impondo-se posteriormente um fator de forma, respetivo à posição de determinada parede em relação ao ocupante [9], [10]

Velocidade do Ar Interior:

Outro dos fatores que afetam a sensação de conforto dos ocupantes, fazendo variar a perda de calor por convecção é a velocidade do ar interior. As correntes de ar são um aspeto sensorial de causa de desconforto. Tendem a ser aceites valores médios de velocidade até 0.25 m/s, sem que a percentagem de ocupantes insatisfeitos ultrapasse valores aceitáveis. Este aspeto é de tal forma influente que para situações onde esta velocidade ultrapasse os 0.15m/s deve ser adotada uma correção à temperatura operativa do sistema de climatização devido, sobretudo, ao efeito de refrigeração deste ar acelerado. O nível de desconforto provocado por este parâmetro tende a diminuir com o aumento da atividade metabólica dos utentes, sendo usual considerar que utentes cuja atividade metabólica supere os 2.3 met sejam marginalmente afetados pela velocidade do ar ambiente. [7]

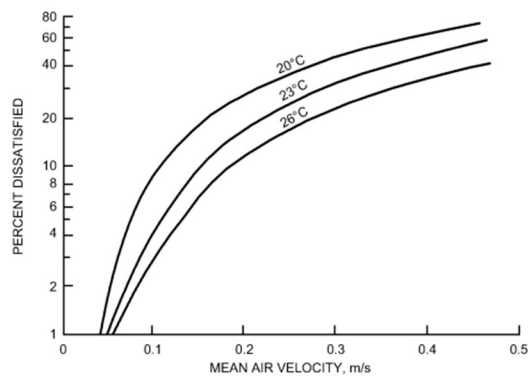


Figura 3 - Impacto da Velocidade do ar

Humidade do ar interior:

Balizar os níveis de humidade do ar em termos de garantia de conforto térmico torna-se uma tarefa de teor mais abstrato e subjetivo. Sabe-se, ainda assim, que níveis mais baixos de humidade do ar fazem secar as superfícies mucosas do corpo, aumentando assim as queixas em relação a nariz, garganta e olhos secos, tendencialmente em ambiente com ponto de orvalho abaixo dos 0 °C. Sabe-se também que as dificuldades respiratórias ganham notoriedade no inverno devido a níveis reduzidos de humidade no ar. Daí ser recomendado que o ponto de orvalho não desça abaixo dos 2°C.[11]

Ambientes com elevada humidade causam também desconforto, através da difusão de água através da pele e da transpiração, bem como o aumento da fricção entre a pele e as peças de vestuário. Para prevenir desconforto térmico desta natureza, é recomendado que a humidade relativa do ar dos espaços não exceda os 60% [11], [12]

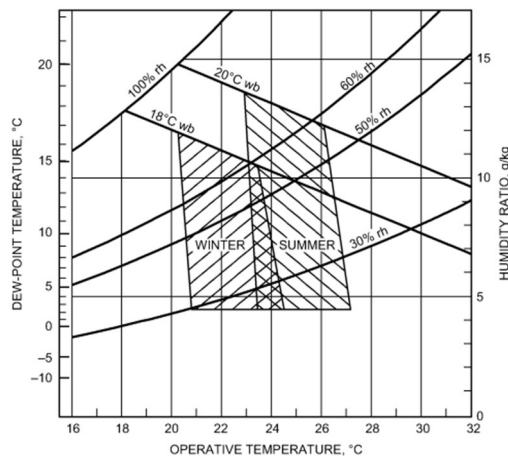


Figura 4 - Valores de Humidade e Temperatura aceitáveis[7]

2.1.2. Fatores Secundários de Conforto Térmico

-Variações diárias: Fanger, em 1973 postulou uma variação mínima na temperatura ambiente de 0.6K, preferida entre indivíduos durante quatro dias consecutivos, sugerindo que podem ser alcançadas condições de conforto consistentes no dia a dia.[7], [13]

-Idade: Contrariamente ao pressuposto de que as preferências de conforto variam com a idade devido a alterações metabólicas, os estudos de Fanger, 1982 [14] indicaram que as preferências permanecem consistentes em diferentes grupos etários, com taxas metabólicas mais baixas em indivíduos mais velhos compensadas por uma perda evaporativa reduzida.[7]

-Adaptação: As experiências de Fanger, 1982[14] demonstraram que as pessoas de vários climas, incluindo regiões tropicais e ambientes frios, apresentavam preferências de conforto semelhantes quando expostas a condições controladas, sugerindo uma adaptabilidade limitada para preferir ambientes mais quentes ou mais frios.[7]

-Sexo: Estudos realizados por Fanger, 1982[14], compararam as preferências de conforto entre gêneros e encontraram pequenas diferenças atribuídas à temperatura da pele ligeiramente mais baixa das mulheres e à perda por evaporação, compensada pelo seu vestuário mais leve.[7]

2.1.3. Desconforto térmico

Ainda que dentro do espaço o ocupante esteja em equilíbrio térmico com o mesmo, podem ainda haver outras causas de desconforto, incluindo nestas as correntes de ar, que já falamos, outras são:

Assimetria Térmica por Radiação:

Causada sobretudo pelas diferenças de temperatura superficiais de paredes, tetos, janelas, máquinas e outras superfícies que, devido a estes gradientes de temperatura e valores de emissividade elevados, causam estratificação da temperatura do ar, cuja sensação de desconforto se deve às diferenças de temperatura entre as extremidades do corpo, pés e

cabeça. Na prática, este gradiente destaca a forma como a temperatura varia desde o nível do chão até ao teto. Em muitos edifícios, especialmente aqueles com tetos altos ou espaços com diferenças de altura significativas, pode ser impactante. Por exemplo, o ar quente tende a subir, conduzindo a temperaturas mais elevadas perto do teto e a temperaturas mais baixas perto do chão. Esta estratificação vertical da temperatura pode afetar os ocupantes de forma diferente, dependendo da sua localização no espaço.[7]

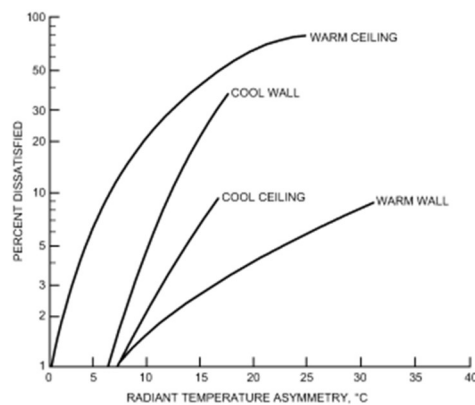


Figura 5 - Percentagem de Insatisfeitos devido a Assimetrias térmicas de superfícies[7]

Temperatura dos Pavimentos e Tetos:

Este conceito refere-se à sensação de desconforto dos ocupantes devido à temperatura da superfície do pavimento. Os pavimentos quentes ou frios podem afetar os níveis de conforto dos ocupantes e a percepção térmica geral dentro de um espaço. Pavimentos frios podem resultar de um isolamento insuficiente ou do contacto direto com superfícies mais frias, como lajes de betão ou espaços não aquecidos por baixo. Por outro lado, os pavimentos excessivamente quentes podem ocorrer quando são instalados sistemas de aquecimento radiante por baixo da superfície do pavimento ou quando o pavimento absorve calor de fontes próximas.[7]

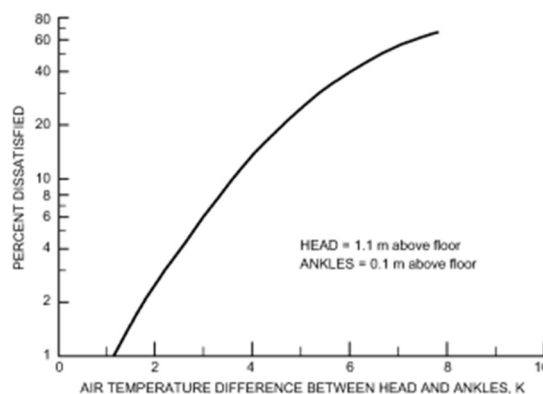


Figura 6 - Percentagem de Insatisfeitos devido ao Gradiente de Temperatura entre pés e cabeça[7]

2.1.4. Stress Térmico

O stress térmico é um fator a ter em conta em ambientes interiores, particularmente em edifícios onde os ocupantes passam períodos prolongados, tais como ambientes industriais. Ocorre quando a capacidade do corpo para dissipar o calor é ultrapassada, provocando desconforto, fadiga e riscos potencialmente graves para a saúde. Nesses casos, deve ser tido em conta o índice WBGT, ou *Wet-Bulb Globe Temperature*, que traduz o stress térmico de um indivíduo e combina a temperatura de bolbo húmido na ausência de vento com a temperatura de bolbo negro, uma vez se considerar o caso de ambiente interior.

O WBGT depende então de quatro variáveis, a temperatura do ar, a temperatura média radiativa, velocidade do ar e da humidade.[10]

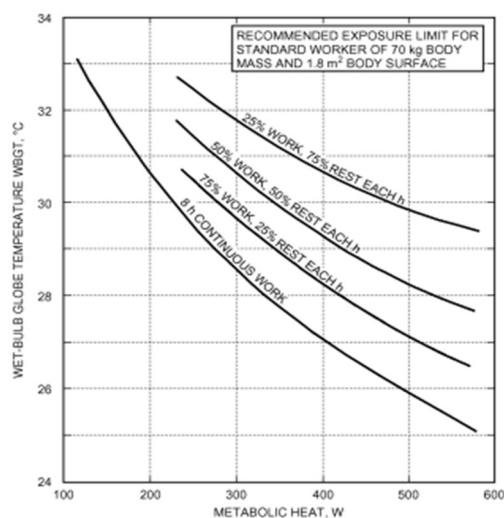


Figura 7 - Limite de exposição de um trabalhador ao Stress Térmico[7]

2.1.5. Métodos de Previsão de Conforto Térmico

A ASHRAE 55 emprega vários métodos para prever o conforto térmico, sendo uma das principais abordagens a utilização de índices como o *Predicted Mean Vote* (PMV) e o *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD).[7], [8]

O índice *Predicted Mean Vote* (PMV) é uma métrica fundamental utilizada para avaliar o conforto térmico em ambientes interiores. Desenvolvido por Fanger, 1970[15], o PMV quantifica a sensação térmica média de um grupo de ocupantes com base em vários fatores ambientais, como a temperatura do ar, a temperatura radiante, a velocidade do ar, a humidade e o isolamento do vestuário.[8]

O este índice, fornece ainda, uma previsão numérica da sensação térmica média sentida pelos ocupantes numa escala que vai de -3 (sensação de frio), a +3 (sensação de calor), com 0 a indicar uma sensação térmica neutra. [16]

Tabela 3 - Escala do índice PMV

| | |
|----|----------------------|
| +3 | <i>Hot</i> |
| +2 | <i>Warm</i> |
| +1 | <i>Slightly warm</i> |
| 0 | <i>Neutral</i> |
| -1 | <i>Slightly cool</i> |
| -2 | <i>Cool</i> |
| -3 | <i>Cold</i> |

Na ASHRAE 55, o *Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)*, serve como uma medida quantitativa para avaliar o conforto térmico em ambientes interiores. Calcula a percentagem de ocupantes que se espera que expressem insatisfação com as condições térmicas prevalentes, com base nos mesmos parâmetros que o PMV.[17]

Tabela 4 - Escala do Índice PPD

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

Ao contrário do *Predicted Mean Vote (PMV)*, que fornece uma classificação média da sensação térmica, o PPD oferece uma compreensão mais granular, destacando a proporção de indivíduos suscetíveis de sentir desconforto.[11]. Estes índices relacionam-se da forma demonstrada na Figura 8:

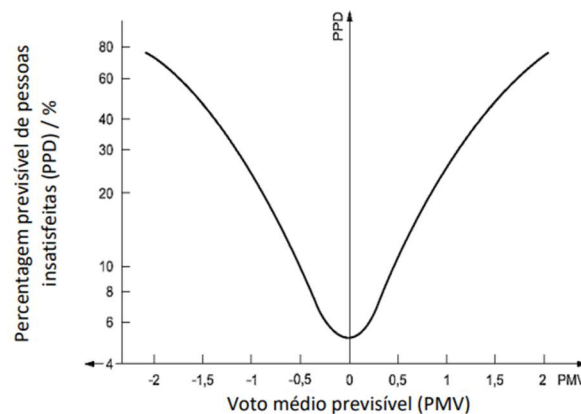


Figura 8 - Relação entre PMV e PPD

ISO 7730:

A ISO 7730, é uma norma denominada "Ergonomia do ambiente térmico - Determinação analítica e interpretação do conforto térmico através do cálculo dos índices PMV e PPD e dos critérios locais de conforto térmico". A sua principal área de preocupação é a ergonomia das condições térmicas, especialmente em espaços interiores, correspondendo assim á ASHRAE 55 em âmbito.[16]

2.1.6. Temperatura Operativa

De forma a garantir um espaço climatizado que ofereça um ambiente confortável para os seus ocupantes, é necessário, á luz daquelas que foram as variáveis apresentadas ao longo deste capítulo, calcular a temperatura á qual o ar deve ser insuflado nos espaços, temperatura operativa, de forma a considerar a influência que a variação de parâmetros como a taxa metabólica, a velocidade do ar ou o tipo de vestuário, impõem.

A temperatura operativa depende, de forma inerente, da temperatura do ar ambiente (bolbo negro) e da temperatura média radiativa dos espaços, ambas afetadas pelos coeficientes de transferência de calor por convecção e radiação, Equação (1).

$$T_o = (hc \cdot T_a + hr \cdot T_r)/(hc + hr) \quad (1)$$

Se considerarmos o ambiente interior com uma velocidade do ar inferior a 0.1 m/s, convecção natural, é possível simplificar a equação anterior, onde a temperatura operativa resulta da média entre a temperatura do ar e a temperatura média radiante. Ver Equação (2).[10]

$$T_o = (T_a + T_r)/2 \quad (2)$$

Em condições ideais, onde o nível de isolamento dos edifícios é elevado, a velocidade do ar é reduzida e as temperaturas das superfícies da envolvente do espaço são próximas á temperatura do ar, é possível igualar a temperatura operativa á temperatura do ar do espaço. É, aliás, este o pressuposto a utilizar nas simulações efetuadas neste trabalho, como veremos mais á frente. As temperaturas interiores dos espaços são definidas a partir da norma EN ISO 16798-1, que define essas mesmas temperaturas tendo em conta a *Indoor Environmental Quality* (IEQ), expectável para cada tipo de edifício. A IEQ está dividida em três categorias de expectativa I, II e III, onde I representa o nível de expectativa máximo. (ver Tabela 5)

Tabela 5 - Categorias de IEQ (adaptado de EN ISO 16798-1)

| Categoria | Nível de expectativa |
|--------------------------|-----------------------------|
| IEQ_I | Alto |
| IEQ_{II} | Médio |
| IEQ_{III} | Moderado |

As temperaturas do ar interior dos edifícios são apresentadas na Figura 9, conforme cada nível de expectativa.

| IEQ aspect | Building/space type | Category | | | Remark |
|--------------------------|----------------------------------|--------------|----------|----------|---|
| | | I | II | III | |
| Temperature range winter | Residential buildings (bedrooms) | 21-25 °C | 20-25 °C | 18-25 °C | These are operative temperatures, assuming clo value of 0.5 in summer and 1.0 in winter, with activity level of 1.2 met |
| | Offices (landscape layout) | 21-23 °C | 20-24 °C | 19-25 °C | |
| | Schools (classrooms) | 21-23 °C | 20-24 °C | 19-25 °C | |
| Temperature range summer | Residential buildings (bedrooms) | 23,5-25,5 °C | 23-26 °C | 22-27 °C | Additionally, also adaptive (less strict) upper temperature limits are defined |
| | Offices (landscape layout) | 23,5-25,5 °C | 23-26 °C | 22-27 °C | |
| | Schools (classrooms) | 23,5-25,5 °C | 23-26 °C | 22-27 °C | |

Figura 9 - Temperatura do ar interior, segundo a EN ISO 16798-1 [18]

2.2. Qualidade do Ar Interior

A Qualidade do Ar Interior (IAQ) é um aspeto relativo aos espaços interiores dos edifícios, mais especificamente à saúde e conforto dos ocupantes desses mesmos espaços.

Remete-se a controlar determinados poluentes garantindo a saúde, tanto imediata, como a longo prazo dos utentes de um determinado espaço.

Alguns efeitos nefastos deste tipo de exposição podem ter efeitos quase imediatos, tais como irritação dos olhos, nariz e garganta (superfícies mucosas), bem como dores de cabeça, tonturas e fadiga. Pode ainda provocar agravamentos de doenças respiratórias existentes tais como asma[19]

Pode ainda provocar doenças graves a longo prazo, para além de doenças respiratórias podem provocar doenças cardíacas ou até cancro, podendo debilitar ou até ter consequências fatais para os ocupantes de ambientes poluídos por períodos prolongados. [19]

Materiais de Revestimento Interior:

Os materiais de construção desempenham um papel crucial na qualidade do ar interior, uma vez que podem ser responsáveis pela emissão de partículas de carga poluente, pelo que, a escolha destes deve recair sobre materiais de baixa emissão de poluentes, que sejam não desagregáveis e não Higroscópicos, tais como materiais cerâmicos e pétreos. Materiais como

aglomerados de madeira, cortiça, esmaltes alquídicos, lã mineral e ainda amianto, são considerados materiais de revestimento de elevada carga poluente e devem ser de utilização limitada ou até proibida como do amianto[20]

Radão:

O radão é um gás radioativo de origem natural que, sendo indetetável ao ser humano, é originado a partir do urânio e rádio presente nas rochas e a sua libertação depende da porosidade dos solos, é particularmente preocupante em zonas rochosas com o norte de Portugal. [20]

2.2.1. Caudais Mínimos de Ventilação

A norma ASHRAE 62.1 estabelece os padrões mínimos de ventilação necessários para manter a qualidade do ar interior (IAQ) e o bem-estar e a satisfação dos ocupantes nos espaços dos edifícios. Esta norma é utilizada para determinar a quantidade necessária de ar novo, considerando as taxas por pessoa e por área (ver Anexo A), de modo a reduzir eficazmente os poluentes interiores, de forma a minimizar efeitos adversos na saúde dos mesmos. Este standard serve para aplicação em edifícios novos, contendo ainda informação acerca de alterações a edifícios existentes. Aplica-se a espaços de ocupação humana exceto espaço de habitação familiar (*Dwellings*), onde a ocupação é de natureza não-transiente, a espaços com fumo, áreas para pacientes e laboratórios com matérias poluentes. Faz referência ao design, instalação e manutenção de Sistemas de ventilação mecânica e ainda fontes de contaminação do ar.[21]

Além disso, a norma também aprova táticas adaptativas como a Ventilação Controlada pela Procura, (DCV), que modifica as quantidades de ar em função dos níveis de ocupação atuais, melhorando assim a eficiência energética sem comprometer a qualidade do ar. Além disso, a ASHRAE 62.1 permite a recirculação regulada do ar para otimizar o consumo de energia, mantendo os padrões de qualidade do ar. [22]

Em Portugal, o manual SCE faz equivalência com a ASHRAE 62.1, tabelando os valores mínimos de caudal de ar novo, para vários tipos de edifício, quer seja calculado pelo critério da área quer seja pelo critério da ocupação (Tabela 6 e Tabela 7). [20]

Tabela 6 - Caudal de ar novo por ocupante, para cada tipo de espaço[23]

| Tipo de espaço | Tipo de atividade | Caudal de ar novo [m ³ /(h.ocupante)] |
|--|-------------------|--|
| Quartos, dormitórios e similares | Sono | 16 |
| Salas de repouso, salas de espera, salas de conferências, auditórios e similares, bibliotecas | Descanso | 20 |
| Escritórios, gabinetes, secretarias, salas de aula, cinemas, salas de espetáculo, salas de refeições, lojas e similares, museus e galerias, salas de convívio, salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares | Sedentária | 24 |
| Salas de jardim de infância e pré-escolar e salas de creche | | 28 |
| Laboratórios, <i>ateliers</i> , salas de desenho e trabalhos oficinais, cafés, bares, salas de jogos e similares | Moderada | 35 |
| Pista de dança, salas de ginásios, salas de <i>ballet</i> e similares | Ligeiramente alta | 49 |
| Salas de musculação, salas em ginásios e pavilhões desportivos e similares | Alta | 98 |

Tabela 7 - Caudal de ar novo por unidade de ar para cada tipo de edifício[23]

| Situação do edifício | Caudal de ar novo [m ³ /(h.m ²)] |
|---|---|
| Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos | 3 |
| Com atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos ⁽¹⁾ | 5 |
| Com espaços em que a existência predominante (superior a 75%) de materiais de baixa emissão poluente ⁽²⁾ | 2 |
| Piscinas (em que a área de referência é a área do plano de água) | 20 |

Para espaços de habitação, o SCE prevê a taxa de renovação total da fração, não apresentando valores para cada divisão, nesses casos é usada a norma NP 1037-1, que prevê uma ventilação natural média na fração de 0,5 rph, não impõe ventilação mecânica e prevê valores de extração de compartimentos de produção de poluentes, como cozinhas e instalações sanitárias e áreas de lavanderia.[20]

Para o edifício de habitação em estudo, o Manual SCE, remete para a norma portuguesa NP1037, mais precisamente, para a NP 1037-2, visto que neste trabalho, o edifício de habitação sofre ventilação mecânica centralizada. Nesta norma são definidos os métodos de calculo de ar novo nos espaços das habitações, segundo a Tabela 8, parta os compartimentos principais.

Tabela 8 - Caudais de base para compartimentos principais

| Materiais não classificados com baixa emissão de poluentes para o ar interior | | Materiais classificados com baixa emissão de poluentes para o ar interior | |
|---|---|---|---|
| $Q_{quarto} (l/s) = \text{Max.}(Vol/3,6; 5 \times n_{ocup})$ | 1 | $Q_{quarto} (l/s) = \text{Max.}(0,5 \times Vol/3,6; 5 \times n_{ocup})$ | 3 |
| $Q_{sala} (l/s) = \text{Max.}(Vol/3,6; 6 \times n_{ocup})$ | 2 | $Q_{sala} (l/s) = \text{Max.}(0,5 \times Vol/3,6; 6 \times n_{ocup})$ | 4 |

Para compartimentos de serviço, tais como, instalações sanitárias, cozinhas ou espaços de arrumos, os caudais de base são calculados tal como apresenta a Tabela 9 .

Tabela 9 - Caudais de base para compartimentos de serviço

| Instalação sanitária com caudal constante | | Cozinha | |
|---|---|--|---|
| $Q_{instalação\ sanitária} (l/s) = \text{Max.}(4 \times Vol/3,6; 12,5)$ | 5 | $Q_{cozinha} (l/s) = 2 \times Vol/3,6$ | 6 |
| Podendo ser limitado a 25 l/s | | | |

2.3. Determinação das necessidades térmicas e energéticas de edifícios

Aspetos como, a localização dos edifícios, as características climatéricas onde esses mesmos edifícios são implantados e os métodos de cálculo empregues por cada ferramenta de simulação influenciam, de forma abrupta, os resultados dessas mesmas simulações, podendo dar origem a sistemas de climatização pouco otimizados, do ponto de vista energético, para os edifícios em projeto.

2.3.1. Dados Climáticos

Os dados climáticos muito relevantes para cálculo das necessidades energéticas de climatização de edifícios são referentes ao clima de cada região, nomeadamente, a temperatura do ar exterior e os valores relativos à radiação solar existente. O zonamento climático foi estabelecido em Portugal com base na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos de nível III (NUTS III) que divide o continente em trinta zonas distintas, onde cada uma delas é classificada por diferentes níveis de severidade climática de inverno e de verão. [24]

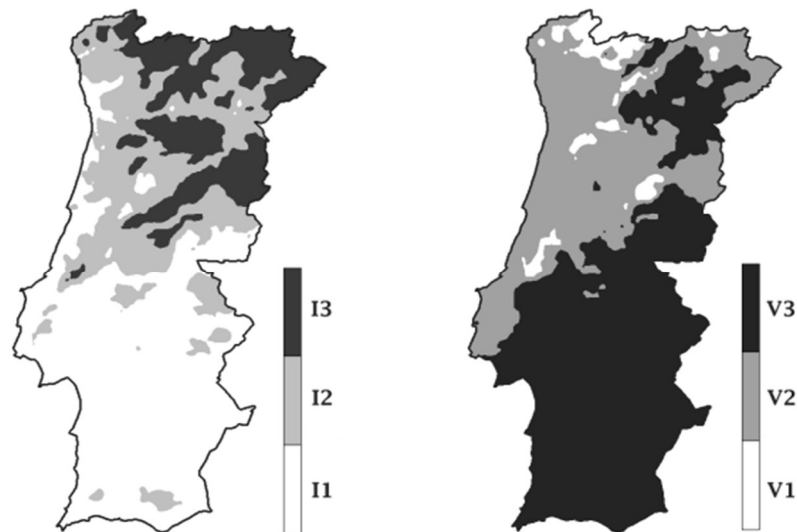


Figura 10 . Zonamento Climático para a estação de aquecimento (esquerda) e estação de arrefecimento (direita)[25]

Por outro lado a ASHRAE *Standard* 169 denominada “*Climatic Data for Building Design Standards*” faz, também, uma avaliação dos dados climáticos de vários países ao redor do mundo, incluindo Portugal. Para softwares de simulação dinâmica, são utilizados ficheiros do tipo EPW (*EnergyPlus Weather files*), utilizados, de forma direta, na ferramenta de simulação dinâmica do software IES.VE. [26]

2.3.2. Zonamento Térmico

Em edifícios onde existem espaços com aspetos semelhantes como, perfil de ocupação, iluminação, equipamentos, requisitos de ventilação, e exposição solar, o balanço de energia deve ser aplicado por zonas térmicas.[23]

Para além da semelhança dos espaços, podem ser aplicados critérios definidos pelo Manual SCE, em que, edifícios com uma área interior útil de pavimento inferior a 250 m², deve ser tratado como sendo uma zona térmica apenas.[23]

O zonamento térmico conhece ainda, outra aplicação, aplicada às simulações energéticas dos edifícios onde várias estratégias de zonamento podem ser aplicadas. A primeira é postulada na ASHRAE 55 onde esta divisão e junção de espaços deve-se, tal como no SCE, às semelhanças das condições interiores dos espaços. A segunda encontra-se na ASHRAE 90.1 onde esta divisão deve-se ao tipo de sistema de climatização dos espaços e ao seu controlo. A última, derivada da ASHRAE 90.1, é exposta na ASHRAE 198.1, e indica estratégias para edifícios de alta performance energética.

2.3.3. Cargas Térmicas

As cargas térmicas dos espaços dos edifícios são um aspeto de enorme impacto, quer seja na arquitetura e definição da envolvente do edifício, quer seja no design dos sistemas de climatização e ventilação desses mesmos edifícios.

Define-se como carga térmica de arrefecimento ou aquecimento de um espaço, a potência térmica que a este se deve retirar ou fornecer, de forma a manter a sua temperatura interna, definida como pressuposto de projeto e, por sua vez, afetado pelos parâmetros de conforto térmico já referidos.[27]

Tipos de cargas térmicas:

De origem externa:

Ganhos solares: Radiação solar que entra no espaço através de vãos envidraçados. A orientação, sombreamento exterior e interior e o tipo de vidro definidos para a construção do edifício são determinantes para o desempenho energético do espaço/edifício.[28]

Temperatura externa: O gradiente de temperatura entre o exterior do edifício, temperatura exterior e a temperatura á qual se quer manter o espaço a climatizar, provoca uma transferência de calor por condução através da envolvente do edifício.[27], [29]

De origem interna:

Taxa de ocupação: O calor gerado pelos ocupantes, quer seja sensível ou latente, dependendo do tipo de edifício e da atividade metabólica dos ocupantes contribui para a carga térmica dos espaços.[8]

Equipamentos: Aparelhos como computadores, máquinas industriais, luzes, etc. produzem calor. Parâmetros como o tipo de equipamento, perfil de utilização e eficiência energética do próprio aparelho, fazem variar sua contribuição para o valor da carga térmica do espaço.[30]

Componentes da carga térmica:

Carga térmica sensível: Que resulta da variação da temperatura do ar, incluindo ganhos por condução, convecção e radiação. Depende, sobretudo, dos ganhos solares e carga térmica associada a equipamentos [30]. A ocupação tem influência neste aspeto, mas faz também variar a carga térmica latente.

Carga térmica latente: Associada à humidade relativa do ar, a carga térmica latente envolve a energia necessária para fazer mudar de fase o vapor de água presente no ar. A ocupação contribui para este valor através da respiração e transpiração. [31]

2.3.4. Métodos de Cálculo de Cargas Térmicas

A determinação dos valores de carga térmica dos espaços de um edifício é tarefa fundamental do projeto AVAC. A precisão do cálculo tem impacto no dimensionamento do sistema e no desempenho do edifício em longo prazo, já que sistemas AVAC sobre ou subdimensionados tendem não operar eficazmente. Segundo Çolak, et al.[32], os dois métodos de cálculo mais frequentemente utilizados são o, *Heat Balance Method* (HBM), utilizado pelo IES.VE e o *Radiant Time Series Method* (RTSM), utilizado pelo software Revit.

Método do Balanço de Calor (HBM):

Este é considerado um dos métodos mais abrangentes e é a base de muitas ferramentas de software de cálculo de cargas térmicas. Tem em conta as interações complexas entre os diferentes componentes do edifício, as cargas internas (dos ocupantes, equipamento e iluminação) e as condições climáticas externas.[33]

Este método tem em conta quatro variáveis principais:

- Equilíbrio térmico da envolvente exterior
- Transferência de calor através da envolvente
- Equilíbrio térmico do revestimento interior
- Equilíbrio térmico do ar

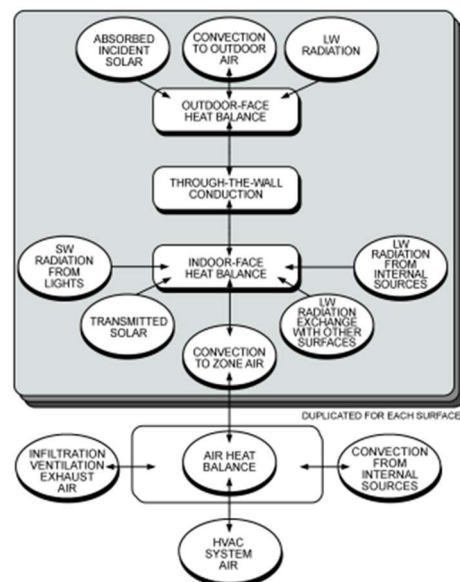


Figura 11 - Esquema do Heat Balance Method [30]

Método das séries temporais radiantes (RTSM):

Derivado do HBM, apenas simplificado, com o objetivo de ser uma alternativa moderna a outros métodos simplificados como o *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) e o *Transfer Function Method* (TFM). O método RTS tem em conta variáveis dependentes do clima, como a radiação solar e as variações da temperatura exterior ao longo do dia. É particularmente eficaz para determinar o efeito dos ganhos e perdas de calor radiante.[33]

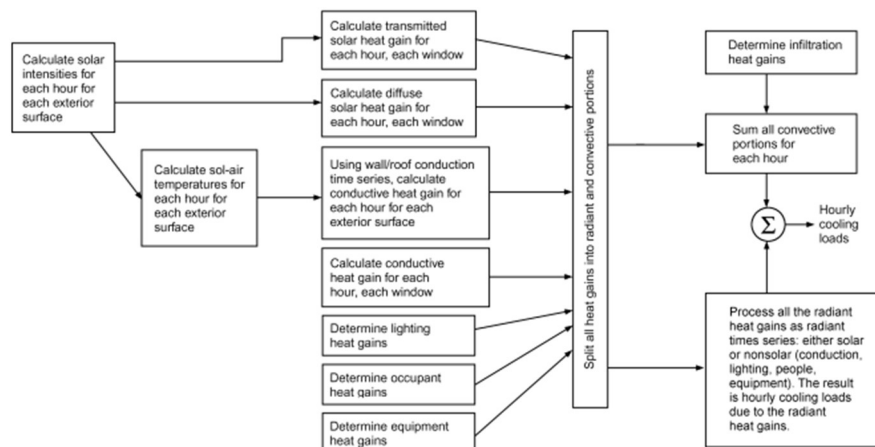


Figura 12 - Esquema do *Radiant Time Series Method* [30]

Este método não carece de cálculos iterativos, mas mantém uma forma rigorosa de cálculo de cargas térmicas, é bastante simples de utilizar em forma de *spreadsheet*, contudo, inclui demasiados cálculos para ser usado de forma manual. Ainda que eficaz no cálculo de necessidades máximas de potência energética dos espaços, não deve ser utilizado para cálculos energéticos anuais.[30]

2.3.5. Comparação entre Métodos de Cálculo

Em termos comparativos o RTSM apresenta uma forma mais simples de calcular as cargas térmicas de um edifício, enquanto o HBM, apresenta uma maior precisão nos resultados obtidos. Ainda que seja um método de maior dificuldade de implementação, o HBM é o método ao qual a maioria dos softwares que servem, especificamente para a simulação de cargas térmicas recorrem.

O RTSM e o HBM diferem sobretudo na forma como processam os seguintes parâmetros de cálculo:

- Convecção e Radiação Exteriores: o HBM trata separadamente a convecção exterior e a transferência de calor por radiação. Na transferência de calor por convecção pelo exterior, considera um coeficiente de convecção, relacionando, a velocidade do ar com a diferença de temperatura entre a superfície exterior e o ar em contacto. No caso da transferência de calor pela radiação, o HBM, necessita da emissividade das paredes, do fator solar das paredes com o meio envolvente (céu), do fator solar das paredes com o solo, temperatura ambiente temperatura do solo. No RTSM, são combinadas a condutibilidade térmica da envolvente com o gradiente térmico da superfície exterior e o ar exterior, num coeficiente apenas.[34]

- Transferência de Calor por Condução Transiente: o HBM simula simultaneamente a condução transiente na envolvente pelo lado exterior e interior, considerando as temperaturas superficiais de ambas as extremidades e o fluxo de calor entre elas. O RTSM trata ambas a transferências de calor nas fronteiras de forma independente.[34]

- Convecção e Radiação Interiores: de forma semelhante ao caso exterior, o HBM, separa estas duas formas de transferência de calor, considerando a diferenças de temperatura entre as

superfícies interiores e a temperatura do ar interior. O RTSM, combina ambos os fenómenos de transferência de calor num coeficiente único.[34]

Os resultados obtidos através do RTSM, em comparação com o HBM, tendem a ser bastante superiores, quando aplicados aos mesmos casos de estudo. A dimensão desse desvio é evidenciada quando o espaço em estudo tem como envolvente exterior uma grande percentagem de vãos envidraçados (90%), onde os valores obtidos pelo RTSM, superam em 37%, aqueles obtidos pelo HBM, para as horas de pico, como mostra a Figura 13.[35]

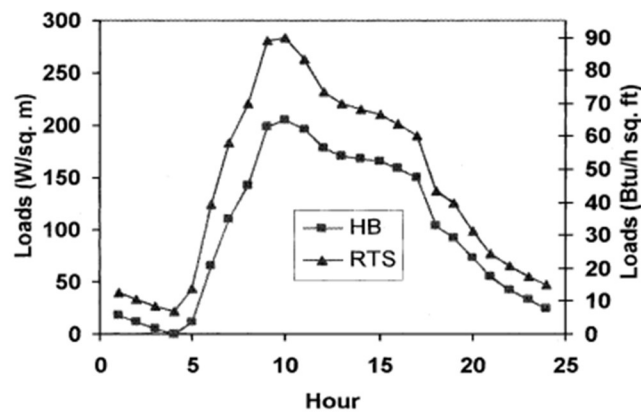


Figura 13 - Pior caso de comparação entre RTSM e HBM. [35]

Para casos onde as percentagens de vãos envidraçados dos espaços variam, os resultados obtidos, para os mesmos casos de estudo, tanto para envolventes de inércia térmica fraca e forte, comparativamente com os valores medidos no edifício real, são bastante esclarecedores do grau de precisão do RTSM e do HBM.

Os resultados do HBM superam os valores medidos em 1.83% para o caso de inércia térmica da envolvente forte e 5.15%, para uma inércia térmica fraca.

O RTSM, obteve resultados, para os mesmos casos de estudo, que superam os valores medidos em 32.6% e 35.9%, para o cenário de inércia térmica fraca e forte, respetivamente.[33]

2.3.6. Cálculos Energéticos

A aplicação da EPBD, levou à criação da norma EN ISO 13790– “*Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling*”, como forma de harmonização das metodologias de cálculo para avaliação do desempenho térmico dos edifícios. Estas metodologias de cálculo incidem sobre o consumo de energia para aquecimento e arrefecimento nos edifícios face às condições climáticas exteriores. De acordo com a norma EN ISO 13790:2008, as necessidades de energia anual de aquecimento e arrefecimento de um edifício podem ser calculadas por três métodos: método de base sazonal (ou mensal), método horário e simulação dinâmica.[24]

Posteriormente a norma EN ISO 13790 foi substituída pela norma EN ISO 52016-1, que faz parte do conjunto de normas que deriva da EN ISO 52000 (Figura 14), cujo método de cálculo horário é mais avançado que o da norma que substitui e mais bem calibrado para as interações

dinâmicas entre os componentes do edifício e os elementos dos sistemas que os compõem. Interações essas que, com o os requisitos de baixos consumos energéticos dos edifícios impostos pela EPBD, se tornaram mais proeminentes, comparativamente ao passado, que, pelo facto dos edifícios terem consumos energéticos dos sistemas bastante superiores, ofuscavam a importância de tais interações.[36]

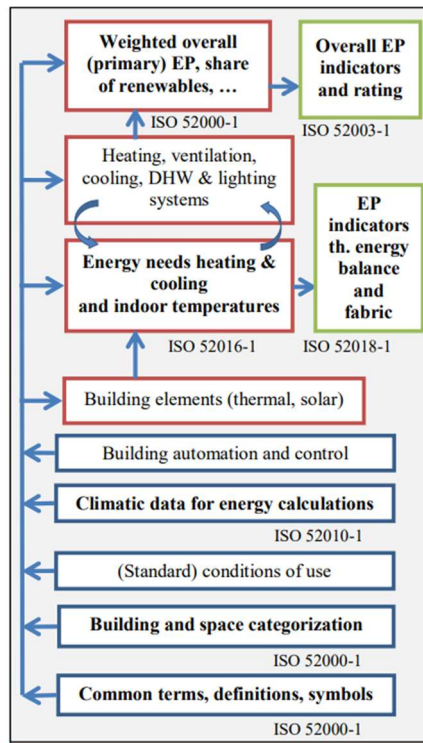


Figura 14 - Conjunto de normas da família EN ISO 52000. [36]

A EN ISO 52016-1 prescreve, para além do método de cálculo horário, o método de cálculo mensal, tanto para cálculo de cargas de aquecimento como de arrefecimento, métodos de cálculo de necessidades específicas para cada sistema de aquecimento e arrefecimento, que como veremos mais á frente, serão necessários para uma melhor contabilização das necessidades energéticas dos edifícios. Esta norma tem também em consideração, formas de prever os consumos energéticos dos edifícios, aprovadas internacionalmente, de forma harmonizada e transparente.[36]

Os métodos de cálculos referidos na EN ISO 52016-1, foram validados recorrendo aos casos de estudo definidos pelo BESTEST. Os testes BESTEST são utilizados á várias décadas e foram impostos pela *International Energy Agency* (IEA), e são usados mundialmente, sobretudo nas normas/*guidelines* ANSI/ASHRAE (nomeadamente ASHRAE 140).[36]

Os testes BESTEST utilizados pela EN ISO 52016-1 são:

Tabela 10 - Testes BESTEST utilizados pela EN ISO 52016-1

| Case identifier | Continuous heating and cooling | Intermittent heating and cooling | No heating and cooling (free float) |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Lightweight construction | 600 | 640 | 600FF |
| Heavyweight construction | 900 | 940 | 900FF |

Uma descrição mais detalhada acerca deste tipo de testes será apresentada no item 2.5.2.

2.3.7. Diferenças entre o Cálculo de Cargas Térmicas e os Cálculos Energéticos

Os cálculos de carga térmica e os cálculos energéticos de edifícios, são cruciais na conceção de edifícios e na gestão da energia. Os cálculos de carga térmica, visam estabelecer as necessidades de aquecimento e arrefecimento, para garantir um ambiente interior dos espaços de um edifício, confortável, tendo em conta fatores como a geometria do edifício, os materiais que o constituem, o nível de isolamento, a sua ocupação e as condições meteorológicas características da localização onde se encontra ou encontrará o edifício[37]. O objetivo principal é dimensionar corretamente os sistemas de climatização, para as situações de pico.

Por outro lado, os cálculos energéticos do edifício, oferecem uma avaliação exaustiva da sua total utilização energética, englobando os sistemas mecânicos, a iluminação e os aparelhos, ao longo de um período mais alargado [38], para além de, levar em conta variáveis como, o número de ocupantes e o perfil de utilização do edifício.

Em suma, o dimensionamento de um sistema AVAC, é assegurado através da realização de cálculos de carga térmica, em condições extremas, enquanto os cálculos consumos energéticos dos edifícios, são efetuados durante períodos mais longos, para identificar melhorias de eficiência e compreender as tendências energéticas [39].

2.4. Certificação energética de Edifícios

Os consumos energéticos dos edifícios são hoje uma preocupação a nível mundial, dada a sua preponderância ano consumos energéticos globais, daí a EPBD fazer refletir a necessidade de controlar tais consumos. Tal como referido do item 2.3.6, é através da família de normas EN ISSO 52000 que os estados-membros de UE são obrigados a implementar medidas de sustentabilidade e poupança energética dos edifícios, tendo cada estado membro a sua legislação própria para o efeito.

2.4.1. Certificação energética em Portugal

Em Portugal, e através da ADENE, tem sido direcionados esforços para melhorar as condições de conforto do parque edificado português, por um lado mantendo um relacionamento de reabilitação urbana a par da EPDB, que impõe a integração de estratégias a médio/longo prazo

para a diminuição da pobreza energética, diminuição dos consumos energéticos e reforço da utilização de fontes de energia renováveis, bem como uma generalizada melhoria da eficiência energética dos edifícios, com o objetivo último de alcançar a neutralidade de emissões de dióxido de carbono até 2050.[40]

A Certificação Energética dos Edifícios, que entrou em vigor em 2007, por transposição da Diretiva Europeia de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), serve para avaliar a eficiência energética de um edifício. Recorre a uma escala de 8 classes, em que A+ é muito eficiente e F é muito pouco eficiente. Fornece ainda aos proprietários informação sobre os impactos dessa classificação no conforto, na saúde e nos consumos energéticos relativos à climatização e águas quentes sanitárias. Cabe aos “Peritos Qualificados” emitirem um documento digital (Certificado Energético), que comprove isso mesmo. Devem cumprir também a função de identificar as medidas necessárias para implementar em cada imóvel, que possibilitem a melhoria do conforto térmico, como também a redução do consumo energético, tais como a definição do tipo de janelas mais eficientes ou o reforço de isolamento térmico.[40]

“O objeto de certificação energética, varia com a tipologia de utilização, com a constituição de propriedade, com candidaturas a benefícios fiscais ou de acesso a instrumentos financeiros e com o sistema de climatização.”[23]

2.4.2. Certificação energética e ambiental de edifícios

Tal como acontece na União Europeia, vários países e comunidades económicas tem ferramentas de certificação energética dos edifícios. Um dos exemplos deste tipo de ferramenta mais internacionalmente aceite a nível mundial é a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), para além deste, outros tipos de certificação são:

- BREAAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), do Reino Unido;
- CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*), do Japão;
- DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*), da Alemanha
- LiderA, de Portugal.

O LEED, um programa de certificação criado pelo USGBC, é amplamente conhecido em todo o mundo por incentivar métodos de construção sustentáveis. A certificação LEED oferece uma estrutura completa para criar, construir e gerir edifícios eficientes e amigos do ambiente. O principal objetivo é promover a redução do consumo de energia e água, melhorar a qualidade do ar interior e apoiar a utilização de materiais amigos do ambiente.

Os edifícios com certificação LEED são criados para melhorar o desempenho em vários aspetos, como a conservação de energia, a eficiência hídrica, a redução das emissões de CO₂, a melhoria da qualidade do ar interior e a utilização responsável dos recursos.[41]

Standard ASHRAE 90.1

A ASHRAE 90.1 procura melhorar a eficiência energética em novas construções e renovações de grande escala, com exceção de edifícios residenciais de baixa altura. Inclui tópicos como a envolvente de edifício, aquecimento, fluxo de ar, sistemas AVAC, água quente sanitária, eletricidade, iluminação, entre outros. O regulamento diz respeito a diferentes categorias de edifícios comerciais, como escritórios, áreas comerciais, centros hospitalares e escolas.

A norma ASHRAE 90.1, tem desempenhado um papel fundamental na redução do consumo de energia em edifícios comerciais. As estruturas construídas para cumprir esta norma resultam numa conservação significativa de energia quando comparadas com modelos anteriores ou sem quaisquer normas [42]. Permite, também, ajudar os proprietários e operadores de edifícios a reduzir as despesas de energia. As análises do custo do ciclo de vida (LCC) mostram que a adoção da ASHRAE 90.1 é rentável, sendo os investimentos iniciais compensados pelos benefícios financeiros a longo prazo. [43]

A ASHRAE 90.1 ajuda a diminuir as emissões de gases com efeito de estufa através da redução do consumo de energia, contribuindo para a luta contra as alterações climáticas a nível mundial.[44]

De igual forma, a ASHRAE 90.1 determina como obrigatória a entrega de um relatório de consumos energéticos dos edifícios e serve de suporte á certificação LEED.

2.5. Simulação Energética Dinâmica de Edifícios

A simulação energética dinâmica de edifícios revela-se cada vez mais uma necessidade para efetuar estudos acerca dos consumos energético dos edifícios. Para além de resultar em poupanças na fatura energética este tipo de estudos tornou-se de carácter obrigatório a nível europeu, através da EPBD

Segundo a norma EN ISO 52016-1, referida no item 2.3.6, os edifícios devem seguir métodos de calculo em linha com os testes BESTEST, de igual modo, para a realização de simulações com recurso a ferramentas de software para este fim, estes devem ser compatíveis com tais testes, bem como, tal como referido no mesmo item, os modelos de simulação devem seguir normas de criação e parametrização como a ASHRAE 140, e cujos resultados devem estar em linha com a ASHRAE *Guideline* 14, ambas abordadas neste capítulo.[35], [45]

2.5.1. Building Energy Modelling

Carvalho et al.[46] teve como objetivo examinar o potencial do *Building Information Modelling* (BIM) para melhorar a análise energética e a avaliação da sustentabilidade dos edifícios em Portugal. O objetivo principal é ilustrar como o BIM pode ser integrado no fluxo de trabalho dos projetos de conceção e reabilitação de edifícios, com o objetivo de melhorar o seu desempenho energético e a sua sustentabilidade global.

Building Energy Modelling (BEM) é uma ferramenta crucial frequentemente discutida em conjunto com os *Building Information Modeling* (BIM) no contexto do reforço da

sustentabilidade e da eficiência energética dos edifícios. Enquanto a BIM fornece uma representação 3D abrangente das características físicas e funcionais do edifício, o BEM preocupa-se especificamente com a previsão e a simulação do consumo de energia e da eficiência dos edifícios em relação à sua concepção, funcionamento e fatores ambientais.[46]

A integração do BEM permite que as partes interessadas tomem decisões informadas sobre estratégias de conservação de energia e práticas de sustentabilidade, fornecendo uma análise detalhada do potencial uso de energia e melhorias de eficiência.[47]

2.5.2. ASHRAE 140

A norma ASHRAE 140, "Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs", serve como referência crucial na avaliação da precisão e fiabilidade das ferramentas de simulação energética de edifícios. Esta norma foi criada para fornecer uma base consistente e reproduzível para avaliar o desempenho técnico do software de análise energética. Descreve uma série de casos de teste concebidos para verificar a capacidade destes programas para prever com exatidão a utilização de energia em edifícios em vários cenários. Neste Standard foram comparadas várias ferramentas de simulação energética dinâmica.

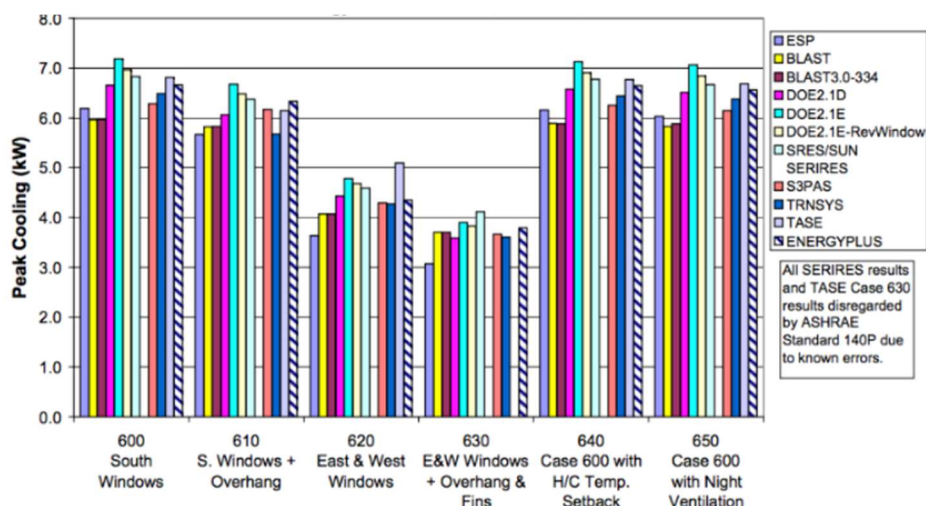


Figura 15 - Comparação de resultados para as necessidades de arrefecimento simuladas nos softwares estudados no âmbito da ASHRAE Standard 140. [48]

O processo de teste minucioso descrito na ASHRAE 140 garante que as ferramentas de simulação energética atingem um nível mínimo de desempenho, facilitando a sua utilização na concepção de edifícios energeticamente eficientes, na realização de análises de reabilitação e na garantia de cumprimento dos códigos e normas energéticas dos edifícios.

Esta norma estabelece vários tipos de testes, tais como:

-Weather Driver Tests

-Caso WD100- grande elevação e Condições de verão quente e seco e Invernos Frios

-Caso WD200- Baixa Altitude e condições quentes e húmidas

Entre outros que visam estudar os efeitos das variações climáticas nos resultados das simulações dinâmicas, sempre para o mesmo modelo de arquitetura

-Building Thermal Envelope and Fabric tests (Class I)

-Caso 600 -teste genérico para edifícios de baixa inercia térmica,

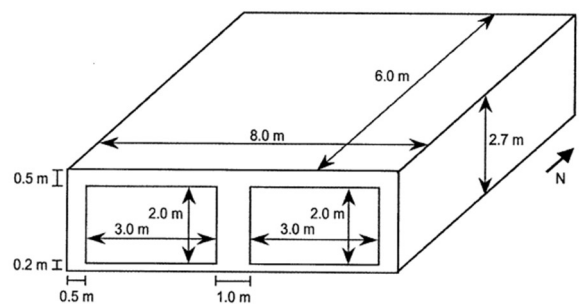


Figura 16 - Caso 600 (ASHRAE 140).[49]

a partir deste são feitos vários testes para o mesmo edifício apenas variando outros parâmetros, tais como no caso 680 onde se aplica um isolamento térmico maior nas paredes e cobertura, ou até se acrescenta sombreamento nas janelas do caso 600 (caso 630).[50]

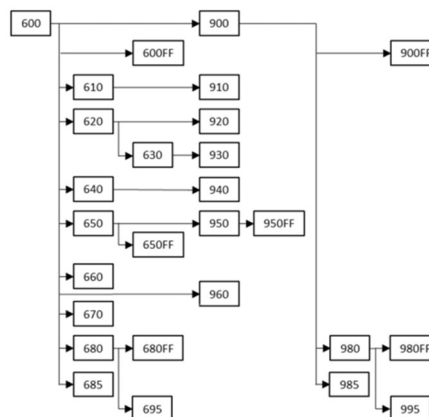


Figura 17 - Diagrama dos testes ASHRAE 140.[49]

Cada um dos testes acima derivam do Caso600 e cada um é realizado com o pressuposto da variação de um parâmetro inerente à simulação dinâmica do edifício em questão. A série 900 deriva da mesma arquitetura do edifício da série 600 apenas com uma inercia térmica maior, ver Figura 17.

Os casos "In-Depth", do caso 195 ao caso 320, do caso 395 ao caso 470, em conjunto com os casos 800 e 810, são casos mais detalhados onde são variados vários parâmetros entre os testes e o nível de escrutínio acerca desses parâmetros outrora tomados por garantidos é feito, tais

como o coeficiente de transferência de calor por convecção interior e o coeficiente superficial de transferência de calor combinado entre fração radiativa e convectiva.[50]

-Ground-Coupled Slab-On Grade Analytical Verification Tests

Estes testes usam resultados de modelos numéricos detalhados para transferência de calor entre lajes em contacto com o solo e o próprio solo.

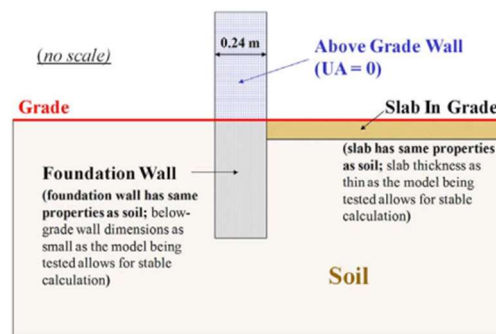


Figura 18 - Testes de Elementos em contacto com o solo.[49]

- Testes de performance de Equipamentos de Arrefecimento Ambiente

- Caso CE100: É o ponto de partida para esta série de testes onde o ambiente de estudo é um espaço retangular monozona, quase adiabático, onde apenas são dados inputs de ganhos internos para provocar cargas de arrefecimento "steady-state".[50]

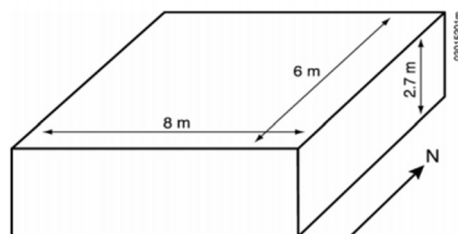


Figura 19 - Geometria Caso CE100.[49]

Paralelamente existem também os testes de performance de equipamentos de aquecimento ambientes (Case HE100), que derivam da série CE100 apenas diferem no objetivo dos equipamentos, aquecimento ao invés de arrefecimento.

- Testes de performance de Equipamentos AVAC Tudo Ar (serie AE100)

--Building Thermal Envelope and Fabric tests (Class II)

- Série L100A- Seguem a filosofia dos testes da serie 600 e atualizam o modelo de arquitetura utilizado, para algo com mais detalhe.

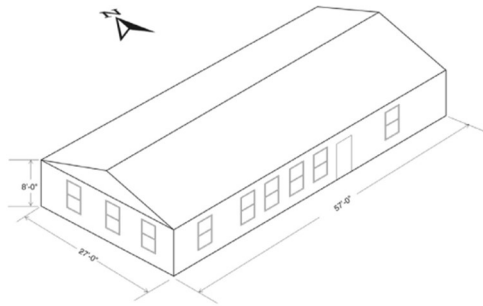


Figura 20 - Geometria da série L100A.[49]

Em suma, este standard apresenta todos os testes necessários realizar para certificar um software de simulação de cargas térmica e simulação dinâmica de edifícios, apresentando até valor máximos e mínimos para os resultados dos consumos anuais por m^2 /ano de cada teste.

Para certificar um *software* não é preciso apenas obter resultados dentro do intervalo permitido uma vez, é preciso que haja consistência nesses resultados sendo o nº de vezes que o software a certificar “acerte” nestes valores apresentado na figura

Table A3-14 Acceptance Range Pass Criteria

| Test Group | Tables of Ranges | Number of Range Cases in Test Group | Minimum Number of Range Cases within the Test Group to Pass |
|--------------------------|--|-------------------------------------|---|
| Thermal Fabric Low Mass | A3-1, A3-2 | 21 | 18 |
| Thermal Fabric High Mass | A3-3, A3-4 | 19 | 17 |
| Cooling Equipment | A3-5 | 14 | 12 |
| Heating Equipment | A3-6, A3-7 | 6 | 5 |
| Air-side Equipment | A3-8, A3-9, A3-10, A3-11, A3-12, A3-13 | 54 | 48 |

Figura 21 - Nº de testes necessários para certificação (ASHRAE 140).[49]

2.5.3. ASHRAE Guideline 14

Esta diretriz é crucial para garantir que as poupanças são medidas de forma consistente e fiável em vários projetos que envolvam contratos de desempenho energético, reabilitação e outras iniciativas de poupança de energia.

A diretriz estabelece processos uniformes para a realização de medições, recolha de dados e análise para gerar resultados consistentes e fiáveis.

A ASHRAE *Guideline* 14 também descreve diferentes métodos para calcular as poupanças. A análise de regressão e os cálculos de poupanças normalizadas são destacados como técnicas chave entre estes métodos.

Outro aspeto importante da diretriz envolve a criação de planos de Medição e Verificação (M&V). Estes planos descrevem as técnicas e ferramentas utilizadas para a recolha de dados, incluindo o processo de medição, o calendário para a recolha de dados e as normas para a aceitação de dados.

Esta diretriz inclui também uma componente significativa sobre a análise da incerteza. A diretriz fornece instruções sobre como medir e comunicar a incerteza nas estimativas de poupança, crucial para garantir a transparência e precisão dos relatórios.

Na Tabela 11, são apresentados os valores máximos dos desvios entre as simulações energética e de cargas térmicas, quando comparados com valores medidos no edifício real. Neste trabalho, é considerado como o cenário de “edifício real”, aquele que foi simulado com recurso ao IES.VE, fazendo comparar os resultados obtidos pelo Revit com os obtidos pelo IES.VE, com uma margem de tolerância abaixo apresentada.

Tabela 11 - Requisitos de *Compliance* (adaptado de "Table 5-2"). [51]

| |
|--|
| Períodos inferiores a 12 meses: max. 20% (consumos energéticos), 30% (cargas térmicas) |
| Períodos entre 12 e 60 meses: max. 25% (consumos energéticos), 35% (cargas térmicas) |
| Períodos superiores a 60 meses: max. 30% (consumos energéticos), 40% (cargas térmicas) |

Considera-se, portanto, fidedigna a ferramenta de simulação do Revit, se os valores obtidos nas simulações, tiverem um desvio dentro do intervalo exposto na Tabela 11.

2.5.4. Ferramenta de Simulação Energética Dinâmica

O *Virtual Environment* (VE), é uma ferramenta desenvolvida pela *Intergrated Environmental Solutions* (IES), e consiste numa ferramenta certificada pelo DOE, especializada em simulação de ambientes de edifícios, mais relevante para este caso de estudo são a ferramenta de cálculo de cargas térmicas e a ferramenta de Simulação dinâmica (cálculo de consumos anuais) dos edifícios.[52]

O *modus operandi* do IES.VE começa pela modelação de uma superfície analítica do volume do edifício e posterior divisão desse volume nos compartimentos que o compõem, estes serão os volumes sujeitos a análise e sobre os quais serão calculados valores tanto de cargas térmicas como de consumos anuais por isso são, normalmente, definidos segundo os compartimentos do projeto de arquitetura.

Para além das ferramentas referidas o IES.VE é capaz de realizar simulações de evacuação em caso de emergência (*Simulex*), calcular a incidência solar nos edifícios (*Suncast*), e até simular escoamentos do ar exterior ou interior através da sua ferramenta de Dinâmica de Fluidos Computacional (*MicroFlo-CFD*).[52]

Em termos de certificação, o IES.VE, ao contrário do Revit, obteve a certificação por parte das várias entidades do setor, sendo, em conjunto com softwares como o *EnergyPlus*, HAP ou o TRACE 700, um dos poucos válidos para a simulação dinâmica de edifícios[53]

O IES.VE é atualmente certificado pelas seguintes entidades:[54]

-ASHRAE 140

-ANSI/ASHRAE/ACCA Standard 183

- BESTEST
- CIBSE TM33
- EU EN13791
- ISO 52000

2.6. Building Information Modelling

A Metodologia BIM consiste numa mudança revolucionária nos sectores da arquitetura, engenharia e construção (AEC), proporcionando uma representação digital dos atributos físicos e funcionais de um edifício. O BIM funciona como uma ferramenta de colaboração que combina dados sobre todos os aspetos de um edifício, permitindo uma forma mais abrangente de conceber e gerir edifícios.

O BIM vai além do software; começa com um modelo 3D inteligente e abrange as fases de projeto, construção e utilização durante o ciclo de vida do edifício. Este processo inclui a introdução, revisão e distribuição de pormenores de construção num ambiente virtual partilhado denominado modelo. O BIM ajuda a orientar as decisões sobre uma estrutura a partir da fase concetual inicial, continuando ao longo do processo de conceção e construção, e prolongando-se ao longo do seu tempo de vida operacional até à sua eventual demolição.

O BIM também oferece a vantagem de uma maior eficiência. A capacidade de criar uma representação de um bem num ambiente virtual permite a execução de processos de planeamento e construção mais automatizados, precisos e eficazes. Esta capacidade ajuda a identificar possíveis problemas numa fase inicial, o que reduz as hipóteses de reparações dispendiosas durante o processo de construção real.

Maior capacidade de visualização. O software BIM oferece várias ferramentas para criar modelos digitais 3D, visualizar edifícios no seu ambiente e simular a funcionalidade do mundo real. Isto conduz a uma melhor tomada de decisões sobre materiais, processos, calendários e conceção, melhorando assim consideravelmente o resultado do projeto.

Gestão do ciclo de vida: Após a conclusão da construção, o BIM continua a ser útil para a gestão de edifícios, ajudando na execução de operações e tarefas de manutenção. Os gestores de instalações podem utilizar modelos BIM para acompanhar o estado dos ativos, planear a manutenção de forma proactiva e gerir o espaço e os recursos de forma mais eficaz.

2.6.1. Ferramenta de modelação 3D

O Revit é um software de metodologia BIM desenvolvido pela Autodesk que teve a sua origem no final dos anos 90, cujo nome deriva da expressão “*Revise Instantly*” [55]

Esta ferramenta permite desenvolver projetos de edifícios nas várias especialidades, sendo o ponto de partida, como é natural, o projeto de Arquitetura.

O modo de funcionamento e do Revit parte do princípio do uso de famílias. As famílias são representações tridimensionais de objetos/elementos que compõem os modelos dos edifícios.

Para além de representarem fisicamente os elementos dos projetos, como é o caso das paredes, pisos, portas e janelas nos modelos de arquitetura, ou até equipamentos como utas, ventiladores, condutas, tubagem, nos modelos de instalações mecânicas, é possível parametrizar estas famílias para comportarem parâmetros de características físicas dos objetos (ex. Resistência e condutibilidade térmica das paredes), ou até parâmetros de projeto como caudais e perdas de carga, estes principalmente nos modelos de Instalações mecânicas e Hidráulicas Prediais.

A grande vantagem do Revit reside na comunicação entre especialidades, de forma a compatibilizar os espaços ocupados por cada especialidade e ainda verificar a exequibilidade dos vários projetos. A forma que o Revit usa para tal é uma filosofia de modelo único por especialidade em que os restantes são adicionados através de um *link*, isto é, a cada modelo de especialidade são "*linkados*" outros modelos de outras especialidades permitindo apenas a visualização dos elementos dessas mesmas especialidades, não permitindo assim a alteração de quaisquer posições ou dimensões dos elementos dos outros modelos

Para além de funções intrínsecas como o cálculo de dimensões de tubagem/condutas a partir dos valores de caudal de cada elemento, o Revit apresenta ainda uma ferramenta de Cálculo de Cargas térmicas e outra de Simulação dinâmica do edifício. Estas ferramentas fazem parte do objeto de estudo deste trabalho.

3. Métodos e Aplicação

Neste capítulo são descritos os métodos implementados para a realização dos estudos energéticos. Começando pela definição dos edifícios, passando pela forma como foram desenvolvidas no *software* Revit e posteriormente no *software* IES.VE. Neste estudo foi considerado como referência o estudo efetuado em IES.VE, uma vez que, este é certificado pelo DOE, segundo o ASHRAE Standard 140. Visto que este *standard* implica uma análise energética elemento a elemento, e, uma vez que estamos a analisar edifícios completos, com vários tipos de espaço, optou-se por comparar estes resultados com os obtidos através do Revit tendo em conta os desvios admitidos pela *ASHRAE Guideline 14*, que baliza desvios para edifícios existentes em projetos de *retrofit*.

3.1. Casos de Estudo

Numa primeira instância, este trabalho debruçava-se apenas sobre um edifício, posteriormente optou-se por realizar estudos sobre três casos de estudo, que se justificam-se pela necessidade de variedade de geometrias e perfis de espaço, com vista a evidenciar discrepâncias nos valores obtidos nos dois *softwares* ou, em caso contrário, mostrar que, embora o Revit não seja certificado para o efeito, pode ser utilizado em projetos que não necessitem certificação, pois garante resultados aceitáveis.

3.1.1. Edifício de Habitação Multifamiliar

O primeiro caso de estudo é aplicado a um edifício de habitação que se situa no concelho de Bragança, a uma altitude de 680 metros e a uma distância à costa superior a 5 km. Trata-se de um edifício em fase de projeto, logo é uma construção nova. Este edifício destina-se a habitação multifamiliar com 32 frações autónomas de tipologia T2, sendo constituído por 4 pisos.

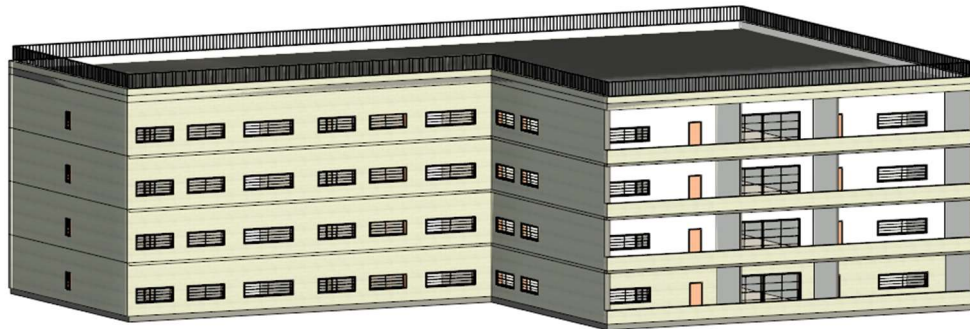


Figura 22 - Modelo BIM do caso de estudo 1

Constituição do edifício:

Este edifício caracteriza-se por ter 4 pisos com uma área de implantação de 1843 m², em que os quatro são repletos de 8 frações T2 cada um, totalizando 32 frações no total.



Figura 23 - Planta do Piso 1

A codificação das frações faz-se por piso (ex. 101) e por nº de fração no piso (ex. 101), da esquerda para a direita, começando na parte de cima e numerando em sentido horário. A numeração dos espaços de cada fração faz-se também em sentido horário.

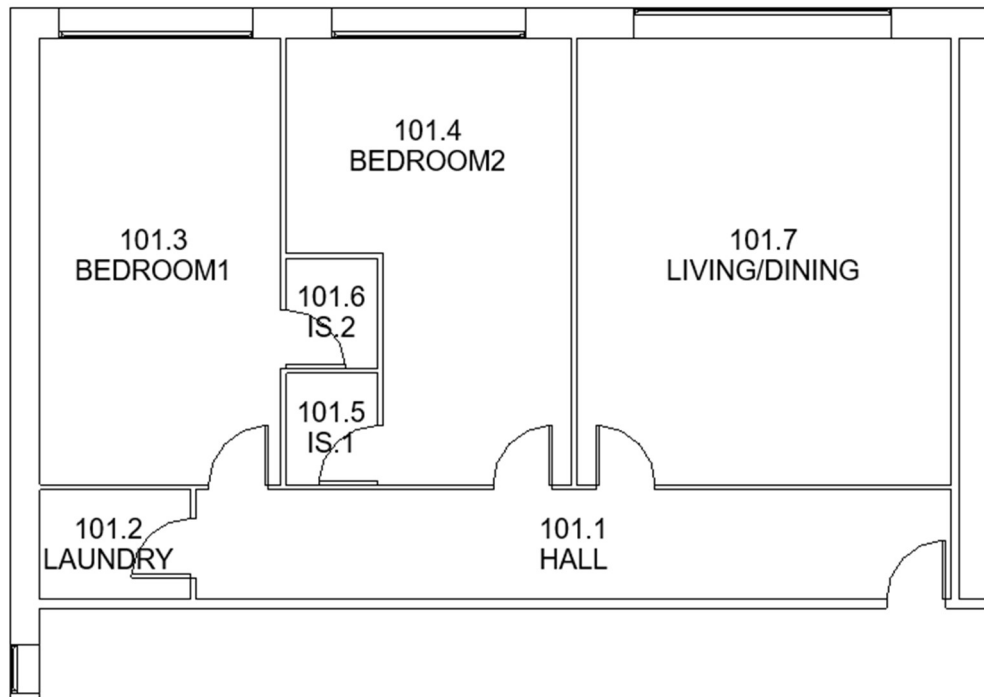


Figura 24 - Planta da Fração-Tipo

Zonamento Climático:

O concelho de Bragança situa-se na zona climática do Alto Trás-os-Montes segundo o NUTS III sendo os seus parâmetros climáticos os seguintes:

- $z_{ref} = 680$ m
- Grau-Dia (GD)
 - $REF = 2015$ °C
 - $a = 1400$ °C/km
- Temperatura exterior de verão ($\theta_{ext,v}$)
 - $REF = 21,5$ °C
 - $a = -7$ °C/km

De onde resulta para a estação de aquecimento e arrefecimento, respetivamente, tem-se:

$$-GD = 2043,0 \text{ °C } 10$$

$$-\theta_{ext,v} = 21,4 \text{ °C}$$

O que equivale a uma localização com zona climática I3 para a estação de aquecimento e zona climática V2 para a estação de arrefecimento

Caracterização das Frações

Todas as frações do edifício são iguais em termos de nº e tipo de espaços, podendo apenas variar ligeiramente a área de cada uma delas.

Tabela 12 - Divisões da Fração-Tipo

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área |
|---------------|-----------------|-------------------|
| 101.1 | HALL | 20 m ² |
| 101.2 | LAUNDRY | 4 m ² |
| 101.3 | BEDROOM1 | 26 m ² |
| 101.4 | BEDROOM2 | 25 m ² |
| 101.5 | IS.1 | 2 m ² |
| 101.6 | IS.2 | 2 m ² |
| 101.7 | LIVING/DINING | 40 m ² |

Solução de Climatização das Frações:

O tratamento ambiente de cada fração é autónomo e baseado num sistema *Variable Refrigerant Flow* (VRF), que assegura o aquecimento e arrefecimento ambiente das divisões de cada fração. A ventilação das habitações é efetuada por admissão de ar através de aberturas de ar na fachada, fixas ou reguláveis manualmente nos compartimentos principais e por condutas de exaustão com perda de carga baixa nos compartimentos de serviço. O princípio de ventilação aplicado enquadra-se no âmbito do Manual SCE.[23]

Soluções construtivas:

O edifício em estudo apresenta soluções construtivas semelhantes para as várias frações autónomas, excetuando particularidades de construção inerentes às características de cada fração. As frações presentes no piso 0 apresentam pavimento diferente das frações dos outros pisos devido ao contacto com espaço interior não útil. Já as frações autónomas do piso 4 apresentam cobertura em contacto com o exterior, ao contrário das frações dos outros pisos.

Envolvente:

A envolvente opaca dos edifícios deve cumprir vários requisitos legais em Portugal, referentes tanto a aspetos de comportamento estrutural como, e mais importante para o âmbito em questão, comportamento térmico dos edifícios. Para avaliar a performance energética do edifício em causa, é oportuno verificar a validade dos valores de transmissão térmica dos elementos construtivos, verificando se estes cumprem os requisitos legais impostos no país da construção do edifício, neste caso Portugal. A tabela seguinte apresenta os valores de referência máximos para os coeficientes de transmissão térmica máximos para um edifício de habitação em Portugal Continental segundo a Portaria nº 138-I/2021.[56]

| Portugal Continental | | | Zona Climática | | |
|------------------------------|-----------------------|---|----------------|------|------|
| Tipo de elemento | | Condição fronteira | I1 | I2 | I3 |
| Zona corrente da envolvente. | Verticais | Exterior ou interior com $b_{zu} > 0,7$ | 0,50 | 0,40 | 0,35 |
| | | Interior com $b_{zu} \leq 0,7$ | 2,00 | 2,00 | 1,90 |
| | Horizontais | Exterior ou interior com $b_{zu} > 0,7$ | 0,40 | 0,35 | 0,30 |
| | | Interior com $b_{zu} \leq 0,7$ | 1,65 | 1,30 | 1,20 |
| Zona de PTP | Verticais | Exterior | 0,90 | | |
| | | Interior com $b_{zu} > 0,7$ | 1,75 | 1,60 | 1,45 |
| | | Interior com $b_{zu} \leq 0,7$ | 2,00 | 2,00 | 1,90 |
| | Horizontais | Exterior | 0,90 | | |
| | | Interior com $b_{zu} > 0,7$ | 1,25 | 1,00 | 0,90 |
| | | Interior com $b_{zu} \leq 0,7$ | 1,65 | 1,30 | 1,20 |

Figura 25- Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opaco e de vãos envidraçados para edifícios de habitação, U_{ref} [W/ (m²·C)] s. [56]

A envolvente opaca definida neste caso de estudo, foi baseada no trabalho de Almeida, 2016 [24], no qual recorre ao ITE50 e á ISO 13790, para criar uma envolvente com uma performance energética melhorada. A partir do seu trabalho, que define as camadas de cada tipo de elemento construtivo, foi utilizado o ficheiro Excel “PTnZEB_SCE2.5”[57], (Apêndice A), para obter os valores dos coeficientes e transmissão térmica, apresentados na Tabela 13.[58]

Tabela 13 - Elementos Construtivos da envolvente opaca do caso de estudo 1

| Superfície | Espessura Total (m) | U (W/(m ² ·C)) |
|---|---------------------|---------------------------|
| Pavimento em contacto com o Solo | 0.42 | 0.25 |
| Pavimentos Intermediários | 0.455 | 0.24 |
| Cobertura | 0.405 | 0.36 |
| Paredes Exteriores | 0.3 | 0.45 |
| Paredes Interiores | 0.23 | 0.60 |
| Portas | 0.05 | 2.5 |

No Apêndice A, é possível consultar a forma como estes valores foram calculados.

A envolvente envidraçada foi também definida através do ficheiro Excel “PTnZEB_SCE2.5”[57], mas uma vez que o Revit não permite a inclusão de proteções solares para o modelo de cálculo, foi necessário calcular um fator solar ponderado para servir como input ao fator solar dos envidraçados. Tal não acontece no IES.VE onde é possível incluir proteções solares, a sua percentagem de área ativada e até definir horários de onde esta percentagem varia

Métodos e Aplicação

dependendo da incidência solar. Segundo Despacho n.º 6476-H/2021, o fator solar ponderado é calculado considerando 60% da área do envidraçado com proteção ativada. [59]

Segue na Tabela 14, o resumo das características térmicas dos envidraçados, consideradas para os casos de estudo.

Tabela 14 - Elementos Construtivos da envolvente envidraçada do caso de estudo 1

| Superfície | Envidraçados |
|--|--------------|
| Espessura total (m) | 0.028 |
| U (W/(m²·C)) | 2.7 |
| Fração Envidraçada (F_g) | 0.65 |
| Fator Solar área transparente (g_{L,vi}) | 0.78 |
| Fator solar com proteção totalmente ativada (g_{tot}) | 0.07 |
| Fator solar ponderado | 0.35 |

No Apêndice A, é possível consultar a forma como estes valores foram calculados.

Perfis de Utilização:

Para edifícios de habitação considera-se uma ocupação permanente 24h por dia, visto que a sua ocupação é independente de horários e funcionamento como acontece nos edifícios de comércio e serviços.

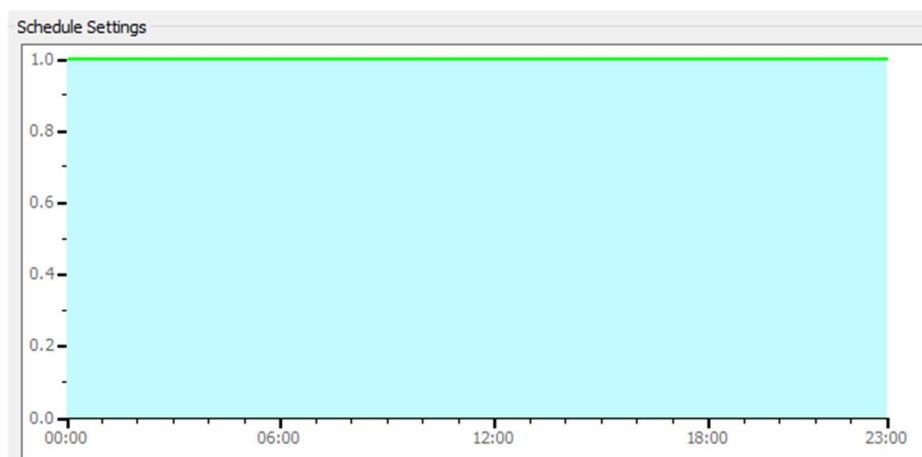


Figura 26 - Perfil de utilização do caso de estudo 1

Caudais mínimos de ar novo:

Segundo o Manual SCE, deve ser considerada uma taxa de renovação de ar horária de 0.5 renovações por hora.

Tabela 15 - Requisito de Renovações de ar[23].

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Pé-Direito | Requisito rph (SCE) | Caudal necessário (m ³ /h) |
|---------------|-----------------|--------------------|------------|---------------------|---------------------------------------|
| 101.1 | HALL | 20 m ² | 3 | - | - |
| 101.2 | LAUNDRY | 4 m ² | 3 | - | - |
| 101.3 | BEDROOM1 | 26 m ² | 3 | - | - |
| 101.4 | BEDROOM2 | 25 m ² | 3 | - | - |
| 101.5 | IS.1 | 2 m ² | 3 | - | - |
| 101.6 | IS.2 | 2 m ² | 3 | - | - |
| 101.7 | LIVING/DINING | 40 m ² | 3 | - | - |
| Total | - | 119 m ² | 3 | 0.5 | 180 |

Temperaturas Operativas dos espaços:

A temperatura de *setpoint* dos espaços é um aspeto muito importante para o cálculo de cargas térmicas, para o conforto dos ocupantes e influencia de forma significativa os consumos energéticos dos edifícios. Para este caso de estudo, bem como para os seguintes, foram definidas as temperaturas dos espaços segundo a norma EN 16798-1, a qual estabelece intervalos de temperatura aceitáveis para os espaços com ocupação.[18]

| IEQ aspect | Building/space type | Category | | | Remark |
|--------------------------|----------------------------------|--------------|----------|----------|---|
| | | I | II | III | |
| Temperature range winter | Residential buildings (bedrooms) | 21-25 °C | 20-25 °C | 18-25 °C | These are operative temperatures, assuming clo value of 0.5 in summer and 1.0 in winter, with activity level of 1.2 met |
| | Offices (landscape layout) | 21-23 °C | 20-24 °C | 19-25 °C | |
| | Schools (classrooms) | 21-23 °C | 20-24 °C | 19-25 °C | |
| Temperature range summer | Residential buildings (bedrooms) | 23,5-25,5 °C | 23-26 °C | 22-27 °C | Additionally, also adaptive (less strict) upper temperature limits are defined |
| | Offices (landscape layout) | 23,5-25,5 °C | 23-26 °C | 22-27 °C | |
| | Schools (classrooms) | 23,5-25,5 °C | 23-26 °C | 22-27 °C | |

Figura 27 - EN 16798-1 - Intervalos de Temperatura dos espaços ocupado[18]

Para todos os espaços ocupados do edifício deste caso de estudo, definiram-se as temperaturas operativas segundo a categoria IEQ_i, conforme a Tabela 16.

Tabela 16 - Temperatura Operativas dos Espaços (EN 16798-1)

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Categoria | Temperatura de Inverno | Temperatura de Verão |
|---------------|-----------------|-------------------|-----------|------------------------|----------------------|
| 101.1 | HALL | 20 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 101.2 | LAUNDRY | 4 m ² | I | - | - |
| 101.3 | BEDROOM1 | 26 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 101.4 | BEDROOM2 | 25 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 101.5 | IS.1 | 2 m ² | I | - | - |
| 101.6 | IS.2 | 2 m ² | I | - | - |
| 101.7 | LIVING/DINING | 40 m ² | I | 21°C | 25.5°C |

Espaços/Perfis de Ocupação:

Para todos os casos de estudo foram considerados perfis de espaço pré-definidos pelo IES.VE que, embora sejam iguais em nome aos apresentados no Revit, diferem em alguns dos valores como, por exemplo, o ganho térmico latente por pessoa ou o ganho interno por iluminação. Com vista a executar simulações idênticas para possibilitar a sua comparação, foram alterados os valores nos perfis do Revit para igualar àqueles do IES.VE, esta escolha deve-se ao facto de partirmos do princípio de que o IES.VE é uma software certificado e deve servir como matriz de comparação como o software a certificar, o Revit, minimizando assim possíveis discrepâncias entre os valores que resultam, tanto das simulações de cargas térmicas, como das simulações dinâmicas efetuadas.

Abaixo são apresentados os perfis de espaço associados a cada espaço bem como alguns dos valores relevantes para as simulações (ver Anexo A).

Tabela 17 - Perfis de Espaço para a Fração tipo do edifício do caso de estudo 1

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Space Type |
|----------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 101.1 | HALL | 20 m ² | Lobby |
| 101.2 | LAUNDRY | 4 m ² | Laundry |
| 101.3 | BEDROOM1 | 26 m ² | Dormitory Bedroom |
| 101.4 | BEDROOM2 | 25 m ² | Dormitory Bedroom |
| 101.5 | IS.1 | 2 m ² | Restrooms |
| 101.6 | IS.2 | 2 m ² | Restrooms |
| 101.7 | LIVING/DINING | 40 m ² | Dining Area – Family Dining |

3.1.2. Edifício de Escritórios

O segundo caso de estudo é aplicado a um edifício de serviços que se situa na freguesia de Paranhos, pertencente ao concelho do Porto, a uma altitude de 90 metros e a uma distância à costa superior a 5 km. Trata-se de um edifício em fase de projeto, logo é uma construção nova. Este edifício destina-se à utilização por parte de uma empresa, servindo como a sua sede, constituído por 1 piso térreo.

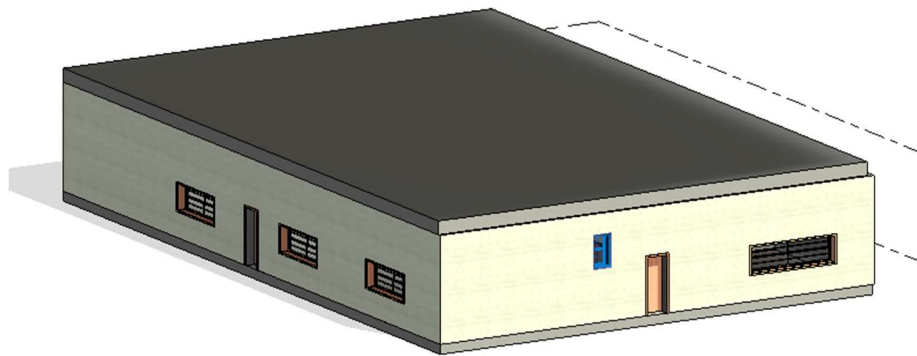


Figura 28 - Modelo BIM caso de estudo 2

Constituição do edifício:

Este edifício caracteriza-se por ter 1 piso com uma área de implantação de 620 m², no qual encontramos 10 espaços, incluído o corredor. Conta com espaços de escritório, salas de reunião, sala de conferências, Instalação sanitária, lounge, cafeteria e sala de arrumos.

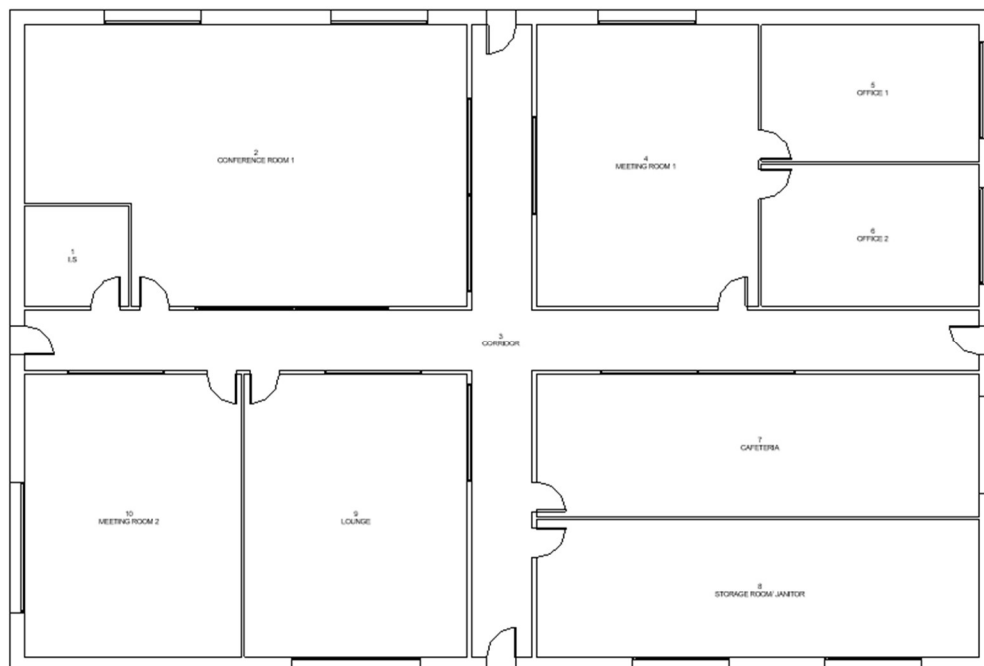


Figura 29 - Planta do Piso 1

A codificação das frações faz-se por nº de fração no piso, da esquerda para a direita, começando na parte de cima e numerando em sentido horário. A numeração dos espaços de cada fração faz-se também em sentido horário.

Métodos e Aplicação

Zonamento Climático:

O concelho do Porto situa-se na zona climática do Grande Porto segundo o NUTS III sendo os seus parâmetros climáticos os seguintes:

- $z_{ref} = 90$ m
- Grau-Dia (GD)
 - $REF = 1250$ °C
 - $a = 1600$ °C/km
- Temperatura exterior de verão ($\theta_{ext,v}$)
 - $REF = 20,9$ °C
 - $a = -0$ °C/km

De onde resulta (conforme o ponto 2.3.1.5) para a estação de aquecimento e arrefecimento, respetivamente, tem-se:

$$-GD = 1243,6 \text{ °C}$$

$$-\theta_{ext,v} = 20,9 \text{ °C}$$

O que equivale a uma localização com zona climática I2 para a estação de aquecimento e zona climática V2 para a estação de arrefecimento

Caracterização dos espaços do edifício:

A tabela seguinte apresenta os espaços que perfazem este edifício, bem como o seu nome e respetiva área.

Tabela 18 - Divisões da Fração-Tipo

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área |
|---------------|----------------------|--------------------|
| 1 | I.S. | 10 m ² |
| 2 | Conference Room | 109 m ² |
| 3 | Corridor | 88 m ² |
| 4 | Meeting Room 1 | 60 m ² |
| 5 | Office 1 | 28 m ² |
| 6 | Office 2 | 30 m ² |
| 7 | Cafeteria | 60 m ² |
| 8 | Storage Room/Janitor | 58 m ² |
| 9 | Lounge | 60 m ² |
| 10 | Meeting Room 2 | 59 m ² |

Solução de Climatização das Frações:

O tratamento ambiente de cada espaço é baseado num sistema *Variable Refrigerant Flow* (VRF) centralizado apoiado por uma unidade de Tratamento de ar Novo (UTAN), conta ainda com unidades terminais em cada espaço climatizado que, no edifício em questão, são todos exceto o corredor, a instalação sanitária e a sala de arrumos, que apenas tem estão ligados à rede de ar novo. A instalação sanitária é a única que recorre a um sistema de extração de ar mecânico individual tudo o resto está ligado à rede de retorno da UTAN, incluindo a sala de arrumos que por não ter emissão de poluentes específicos pode constar nesta. As taxas de caudal de ar novo dos espaços seguem a norma ASHRAE 62.1, e para a determinação do conforto térmico seguem a ASHRAE 55. São utilizadas apenas os critérios das normas ASHRAE pois ainda que o edifício seja implantado em solo português, com vista a simplificar o *setup* dos perfis de utilização dos espaços e uma vez que os softwares usados já dispõem de perfis segundo estas normas.

Soluções construtivas:

O edifício em estudo apresenta soluções construtivas semelhantes para os vários espaços. O piso 0 apresenta pavimento típico, semelhante aquele normalmente encontrado em pisos em contacto com o solo. A parte superior do edifício apresenta uma cobertura em contacto com o exterior, também semelhante a soluções construtivas do mesmo género.

Envolvente:

A tabela seguinte apresenta os valores de referência máximos para os coeficientes de transmissão térmica máximos para um edifício de comércio e serviços em Portugal Continental segundo a Portaria nº 138-I/2021.[56]

| Portugal Continental e Regiões Autónomas | | | Zona Climática | | |
|--|-----------------------|---|----------------|------|------|
| Tipo de elemento | | Condição fronteira | I1 | I2 | I3 |
| Zona corrente da envolvente | Verticais | Exterior ou interior com $b_{zu} > 0,7$ | 0,70 | 0,60 | 0,50 |
| | Horizontais | Exterior ou interior com $b_{zu} > 0,7$ | 0,50 | 0,45 | 0,40 |
| Zona de PTP | Verticais | Exterior | 0,90 | | |
| | | Interior com $b_{zu} > 0,7$ | 1,75 | 1,60 | 1,45 |
| | Horizontais | Exterior | 0,90 | | |
| | | Interior com $b_{zu} > 0,7$ | 1,25 | 1,00 | 0,90 |

Figura 30 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opaco e de vãos envidraçados para edifícios de comércio e serviços, Uref [W/ (m²·C)] s. [55]

A envolvente opaca definida neste caso de estudo, foi baseada no trabalho de Almeida, 2016 [24], no qual recorre ao ITE50 e á ISO 13790, para criar uma envolvente com uma performance energética melhorada. A partir do seu trabalho, que define as camadas de cada tipo de elemento construtivo, foi utilizado o ficheiro Excel “PTnZEB_SCE2.5”[57], (Apêndice A), para obter os valores dos coeficientes e transmissão térmica, apresentados na Tabela 13.[58]

Tabela 19 - Elementos Construtivos da envolvente opaca do caso de estudo 1

| Superfície | Espessura Total (m) | U (W/(m²·C)) |
|---|----------------------------|--------------------------------|
| Pavimento em contacto com o Solo | 0.42 | 0.25 |
| Pavimentos Intermédios | 0.455 | 0.24 |
| Cobertura | 0.405 | 0.36 |
| Paredes Exteriores | 0.3 | 0.45 |
| Paredes Interiores | 0.23 | 0.60 |
| Portas | 0.05 | 2.5 |

No Apêndice A, é possível consultar a forma como estes valores foram calculados.

A envolvente envidraçada foi também definida através do ficheiro Excel “PTnZEB_SCE2.5” [57], mas uma vez que o Revit não permite a inclusão de proteções solares para o modelo de calculo, foi necessário calcular um fator solar ponderado para servir como input ao fator solar dos envidraçados. Tal não acontece no IES.VE, onde é possível incluir proteções solares, a sua percentagem de área ativada e até definir horários de onde esta percentagem varia dependendo da incidência solar. Segundo Despacho n.º 6476-H/2021, o fator solar ponderado é calculado considerando 60% da área do envidraçado com proteção ativada. [59]

Segue na Tabela 14, o resumo das características térmicas dos envidraçados, consideradas para os casos de estudo.

Tabela 20 - Elementos Construtivos da envolvente envidraçada do caso de estudo 1

| Superfície | Envidraçados |
|--|---------------------|
| Espessura total (m) | 0.028 |
| U (W/(m²·C)) | 2.7 |
| Fração Envidraçada (F_g) | 0.65 |
| Fator Solar área transparente (g_{L,vi}) | 0.78 |
| Fator solar com proteção totalmente ativada (g_{tot}) | 0.07 |
| Fator solar ponderado | 0.35 |

No Apêndice A, é possível consultar a forma como estes valores foram calculados.

Perfis de Utilização:

Os perfis de Utilização dos espaços deste edifício em estudo foram selecionados a partir das bases de dados tanto do Revit como do IES.VE que por sua vez têm a sua origem no RSECE.



Figura 31 - Exemplo horário de espaços de escritório [60]

Caudais Mínimos de Ar Novo

Os caudais mínimos de ar novo de cada espaço foram definidos a partir da norma ASHRAE 62.1, uma vez tanto o Revit como o IES.VE usam esta norma como base para a atribuição de caudais de ar novo, quer seja pela área do espaço, quer seja pela ocupação do mesmo. Outra opção seria considerar os critérios definidos pelo Manual SCE, mas uma vez que isso significaria a alteração de todos os perfis de espaço nos dois softwares, foi tomada a decisão de seguir com os valores das normas ASHRAE, não esquecendo que estes valores podem diferir entre os softwares, sendo considerado, em caso de discrepância, o valor definido pelo *Thermal Template* do IES.VE.

Na Tabela 21 são apresentados os valores de ocupação dos espaços a partir do requisito definido pela ASHRAE 62.1, que estabelecem uma taxa de ocupação por metro quadrado por cada tipo de espaço.

Tabela 21 - Taxa de Ocupação dos espaços do edifício do caso de estudo 2

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Requisito ASHRAE 62.1 (pessoa/m ²) | Nº de pessoas |
|---------------|----------------------|--------------------|--|---------------|
| 1 | I.S. | 10 m ² | - | - |
| 2 | Conference Room | 109 m ² | 0.5 | 55 |
| 3 | Corridor | 88 m ² | - | - |
| 4 | Meeting Room 1 | 60 m ² | 0.05 | 3 |
| 5 | Office 1 | 28 m ² | 0.05 | 2 |
| 6 | Office 2 | 30 m ² | 0.05 | 2 |
| 7 | Cafeteria | 60 m ² | 0.2 | 12 |
| 8 | Storage Room/Janitor | 58 m ² | - | - |
| 9 | Lounge | 60 m ² | 0.2 | 12 |
| 10 | Meeting Room 2 | 59 m ² | 0.05 | 3 |

Métodos e Aplicação

Na Tabela 22, são apresentados os valores de caudal de ar novo necessário por espaço segundo o critério da ocupação da ASHRAE 62.1.

Tabela 22 - Caudal de ar novo pelo critério da ocupação do espaço

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Pé-Direito | Requisito ASHRAE 62.1 (l/s·pessoa) | Caudal necessário (l/s) |
|---------------|-----------------|--------------------|------------|------------------------------------|-------------------------|
| 1 | I.S. | 10 m ² | 4 m | - | - |
| 2 | Conference Room | 109 m ² | 4 m | 2.5 | 140 |
| 3 | Corridor | 88 m ² | 4 m | - | - |
| 4 | Meeting Room 1 | 60 m ² | 4 m | 2.5 | 7.5 |
| 5 | Office 1 | 28 m ² | 4 m | 2.5 | 5 |
| 6 | Office 2 | 30 m ² | 4 m | 2.5 | 5 |
| 7 | Cafeteria | 60 m ² | 4 m | 2.5 | 30 |
| 8 | Storage Room | 58 m ² | 4 m | - | - |
| 9 | Lounge | 60 m ² | 4 m | 2.5 | 30 |
| 10 | Meeting Room 2 | 59 m ² | 4 m | 2.5 | 7.5 |

Na Tabela 23 apresentam-se os valores de caudal de ar novo por espaço, necessários, resultantes do critério da área do espaço da ASHRAE 62.1.

Tabela 23 - Caudal de ar novo pelo critério da área do espaço

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Pé-Direito | Requisito ASHRAE 62.1 (l/s·m ²) | Caudal necessário (l/s) |
|---------------|-----------------|--------------------|------------|---|-------------------------|
| 1 | I.S. | 10 m ² | 4 m | 2.5 | 25 |
| 2 | Conference Room | 109 m ² | 4 m | 0.3 | 33 |
| 3 | Corridor | 88 m ² | 4 m | 0.3 | 27 |
| 4 | Meeting Room 1 | 60 m ² | 4 m | 0.3 | 18 |
| 5 | Office 1 | 28 m ² | 4 m | 0.3 | 9 |
| 6 | Office 2 | 30 m ² | 4 m | 0.3 | 9 |
| 7 | Cafeteria | 60 m ² | 4 m | 0.3 | 18 |
| 8 | Storage Room | 58 m ² | 4 m | 5 | 300 |
| 9 | Lounge | 60 m ² | 4 m | 0.3 | 18 |
| 10 | Meeting Room 2 | 59 m ² | 4 m | 0.3 | 18 |

Temperaturas Operativas dos Espaços

Tal como no caso de estudo 1, as temperaturas dos espaços são definidas a partir da norma EN 16798-1, para a categoria IEQ, e apresentam-se na Tabela 24.

Tabela 24 - Temperatura Operativa dos espaços (EN 16798-1)

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Categoria | Temperatura de Inverno | Temperatura de Verão |
|---------------|-----------------|--------------------|-----------|------------------------|----------------------|
| 1 | I.S. | 10 m ² | I | - | - |
| 2 | Conference Room | 109 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 3 | Corridor | 88 m ² | I | - | - |
| 4 | Meeting Room 1 | 60 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 5 | Office 1 | 28 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 6 | Office 2 | 30 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 7 | Cafeteria | 60 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 8 | Storage Room | 58 m ² | I | - | - |
| 9 | Lounge | 60 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 10 | Meeting Room 2 | 59 m ² | I | 21°C | 25.5°C |

Perfis de Ocupação:

Para este caso de estudo, á semelhança do caso de estudo 1, foram atribuídos a partir de perfis existentes nas bases de dados das ferramentas de software, e onde os valores dos parâmetros de calculo foram alterados no Revit para igualarem os valores dos parâmetros correspondentes do IES.VE.

Na Tabela 25, são apresentados os perfis de espaço associados a cada divisão do edifício.

Tabela 25 - Perfis de Espaço para o edifício do caso de estudo 2

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | <i>Space Type</i> |
|---------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| 1 | I.S. | 10 m ² | Restroom |
| 2 | Conference Room | 109 m ² | Conference/Meeting |
| 3 | Corridor | 88 m ² | Corridor/Transition |
| 4 | Meeting Room 1 | 60 m ² | Office-Enclosed |
| 5 | Office 1 | 28 m ² | Office-Enclosed |
| 6 | Office 2 | 30 m ² | Office-Enclosed |
| 7 | Cafeteria | 60 m ² | Lounge Recreation |
| 8 | Storage Room/Janitor | 58 m ² | Active Storage |
| 9 | Lounge | 60 m ² | Lounge Recreation |
| 10 | Meeting Room 2 | 59 m ² | Office-Enclosed |

3.1.3. Edifício *Giga-Factory*

O último edifício em estudo situa-se no concelho do Lisboa, a uma altitude de 100 metros e a uma distância à costa superior a 5 km. Trata-se de um edifício em fase de projeto, logo é uma construção nova. Este edifício destina-se a uma unidade fabril.

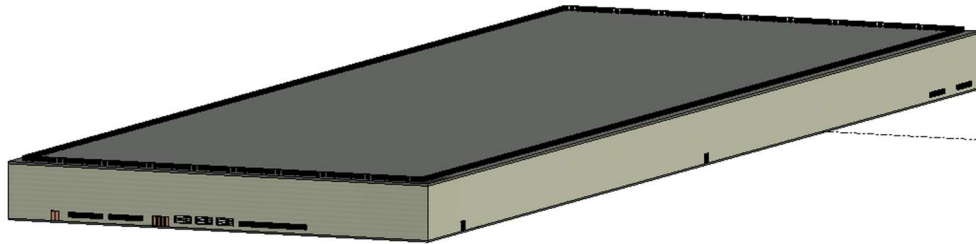


Figura 32 - Modelo BIM do edifício do caso de estudo 3

Constituição do edifício:

Este edifício caracteriza-se por ter 1 piso com uma área de implantação de 30184 m², no qual encontramos 30 espaços. Conta com espaços de escritório, salas de reunião, sala de conferências, instalações sanitárias, lounge, cantina, sala de arrumos, balneários, laboratório e área de fábrica.

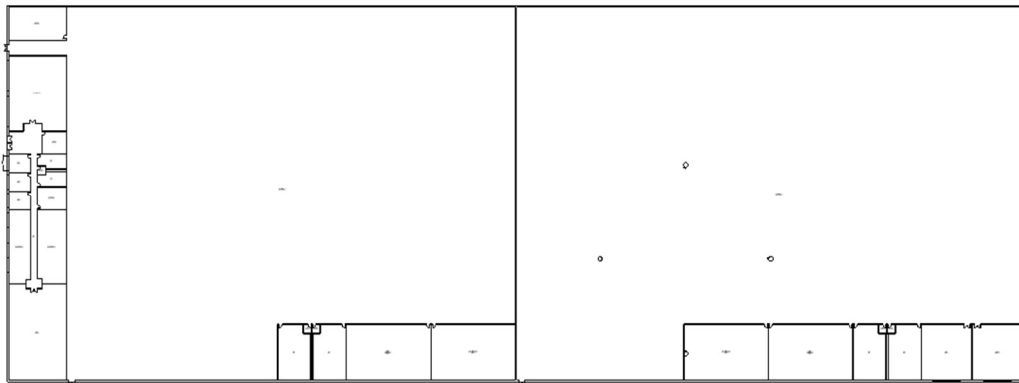


Figura 33 - Planta do Piso 1

Zonamento Climático:

O concelho de Sines situa-se na zona climática do Alentejo Litoral segundo o NUTS III sendo os seus parâmetros climáticos os seguintes:

- $z_{ref} = 100$ m
- Grau-Dia (GD)

$$-REF = 1071 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$-a = 1700 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$$

- Temperatura exterior de verão ($\theta_{ext,v}$)

$$-REF = 21,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$-a = -4 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$$

De onde resulta, para a estação de aquecimento e arrefecimento, respetivamente, tem-se:

$$-GD = 1055,70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$-\theta_{ext,v} = 21,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

O que equivale a uma localização com zona climática I1 para a estação de aquecimento e zona climática V3 para a estação de arrefecimento

Caracterização dos espaços do edifício:

A tabela seguinte apresenta os espaços que perfazem este edifício, bem como o seu nome e respetiva área. A numeração dos espaços faz-se também em sentido horário.

Tabela 26 - Divisões da Fração-Tipo

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área |
|---------------|-----------------------------|----------------------|
| 1 | Lobby | 146 m ² |
| 2 | Conference Room | 327 m ² |
| 3 | Reception | 42 m ² |
| 4 | Office 1 | 31 m ² |
| 5 | I.S. F 1 | 32 m ² |
| 6 | I.S. ACCESS 1 | 5 m ² |
| 7 | I.S. M 1 | 32 m ² |
| 8 | Office 2 | 31 m ² |
| 9 | Office 3 | 31 m ² |
| 10 | Meeting Room 1 | 52 m ² |
| 11 | Open Space Office 1 | 125 m ² |
| 12 | Open Space Office 2 | 168 m ² |
| 13 | Canteen | 426m ² |
| 14 | Warehouse | 147 m ² |
| 15 | Process Area | 12208 m ² |
| 16 | I.S. F 2 | 138 m ² |
| 17 | I.S. ACCESS 2 | 5 m ² |
| 18 | I.S. ACCESS 3 | 5 m ² |
| 19 | I.S. M 2 | 138 m ² |
| 20 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 370 m ² |
| 21 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 367 m ² |
| 22 | PROCESS AREA 2 | 13388 m ² |
| 23 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² |

Métodos e Aplicação

| | | |
|-----------|-----------------------------|--------------------|
| 24 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² |
| 25 | IS. F 3 | 138 m ² |
| 26 | IS. ACCESS 4 | 5 m ² |
| 27 | IS. ACCESS 5 | 5 m ² |
| 28 | IS.M 3 | 138 m ² |
| 29 | OFFICE 4 | 220 m ² |
| 30 | LABORATORY | 221 m ² |

Solução de Climatização dos espaços:

O tratamento ambiente de cada espaço é baseado num sistema *Variable Refrigerant Flow* (VRF) centralizado apoiado por uma unidade de Tratamento de ar Novo (UTAN), conta ainda com unidades terminais em cada espaço climatizado, que no edifício em questão são todos exceto o corredor, a instalação sanitária e a sala de arrumos, que apenas tem estão ligados à rede de ar novo. A instalação sanitária é a única que recorre a um sistema de extração de ar mecânico individual tudo o resto está ligado à rede de retorno da UTAN, incluindo a sala de arrumos que por não ter emissão de poluentes específicos pode constar nesta. As taxas de caudal de ar novo dos espaços seguem a norma ASHRAE 62.1, e para a determinação do conforto térmico seguem a ASHRAE 55. São utilizadas apenas os critérios das normas ASHRAE pois ainda que o edifício seja implantado em solo português, com vista a simplificar o *setup* dos perfis de utilização dos espaços e uma vez que os softwares usados já dispõem de perfis segundo estas normas.

Soluções construtivas:

O edifício em estudo apresenta soluções construtivas semelhantes para os vários espaços. O piso 0 apresenta pavimento típico, semelhante aquele normalmente encontrado em pisos em contacto com o solo. A parte superior do edifício apresenta uma cobertura em contacto com o exterior, também semelhante a soluções construtivas do mesmo género.

Envolvente opaca:

Paralelamente ao caso de estudo 1, a envolvente opaca definida neste caso de estudo, foi baseada no trabalho de Almeida, 2016 [24], no qual recorre ao ITE50 e á ISO 13790, para criar uma envolvente com uma performance energética melhorada. A partir do seu trabalho, que define as camadas de cada tipo de elemento construtivo, foi utilizado o ficheiro Excel "PTnZEB_SCE2.5"[57], (Apêndice A), para obter os valores dos coeficientes e transmissão térmica, apresentados na Tabela 13.[58]

Tabela 27 - Elementos Construtivos da envolvente opaca do caso de estudo 3

| Superfície | Espessura Total (m) | U (W/(m²·C)) |
|---|----------------------------|--------------------------------|
| Pavimento em contacto com o Solo | 0.42 | 0.25 |
| Pavimentos Intermédios | 0.455 | 0.24 |
| Cobertura | 0.405 | 0.36 |
| Paredes Exteriores | 0.3 | 0.45 |
| Paredes Interiores | 0.23 | 0.60 |
| Portas | 0.05 | 2.5 |

No Apêndice A, é possível consultar a forma como estes valores foram calculados.

A envolvente envidraçada foi também definida através do ficheiro Excel “PTnZEB_SCE2.5”[57]. Segundo Despacho n.º 6476-H/2021, o fator solar ponderado é calculado considerando 60% da área do envidraçado com proteção ativada. [59]

Segue na Tabela 14, o resumo das características térmicas dos envidraçados, consideradas para os casos de estudo.

Tabela 28 - Elementos Construtivos da envolvente envidraçada do caso de estudo 3

| Superfície | Envidraçados |
|--|---------------------|
| Espessura total (m) | 0.028 |
| U (W/(m²·C)) | 2.7 |
| Fração Envidraçada (F_g) | 0.65 |
| Fator Solar área transparente (g_{L,vi}) | 0.78 |
| Fator solar com proteção totalmente ativada (g_{tot}) | 0.07 |
| Fator solar ponderado | 0.35 |

No Apêndice A, é possível consultar a forma como estes valores foram calculados.

Perfis de Utilização:

Os perfis de Utilização dos espaços deste edifício em estudo foram selecionados a partir das bases de dados tanto do Revit como do IES.VE que por sua vez têm a sua origem em ASHRAE

Standards. Neste edifício optou-se por definir dois tipos de perfis de utilização, o primeiro diz respeito ao funcionamento da área de escritórios, da divisão nº1 á 13, onde se segue um horário de funcionamento característico de escritórios, o segundo é relação às divisões de fabrico, do nº14 ao 30, que funcionam em regime de 24h/dia.(Figura 34 e Figura 35)



Figura 34 - Exemplo de horário para área de escritórios. [60]

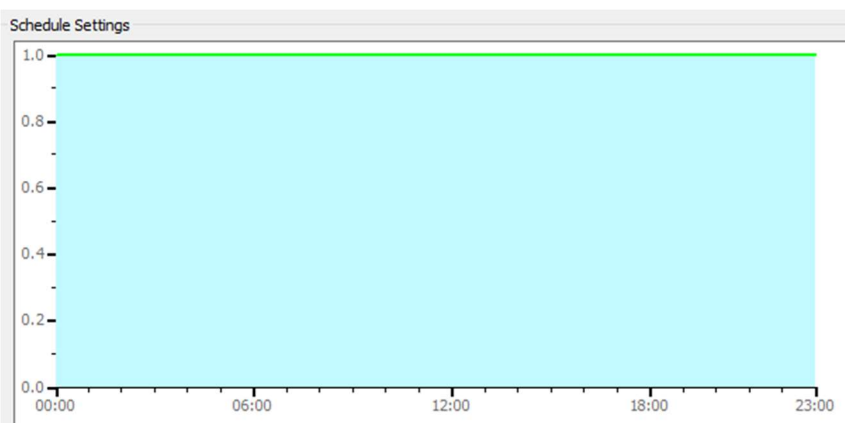


Figura 35 - Exemplo de horário para área de fabrico

Caudais Mínimos de Ar Novo:

Seguindo aquele que foi o procedimento do caso de estudo 2, os valores de ocupação dos espaços, foram definidos, a partir do requisito definido pela ASHRAE 62.1, que estabelecem uma taxa de ocupação por metro quadrado por cada tipo de espaço. Tais valores foram posteriormente introduzidos em cada espaço, nos dois softwares em estudo. (ver Apêndice B)

Temperaturas Operativas dos Espaços:

Tal como no caso de estudo 1, as temperaturas dos espaços são definidas a partir da norma EN 16798-1, para a categoria IEQ_i e apresentam-se na Tabela 29.

Tabela 29 - Temperaturas Operativas dos espaços do caso de estudo 3 (EN 16798-1)[61]

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Categoria | Temperatura de Inverno | Temperatura de Verão |
|---------------|-----------------------------|----------------------|-----------|------------------------|----------------------|
| 1 | Lobby | 146 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 2 | Conference Room | 327 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 3 | Reception | 42 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 4 | Office 1 | 31 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 5 | I.S. F 1 | 32 m ² | I | - | - |
| 6 | I.S. ACCESS 1 | 5 m ² | I | - | - |
| 7 | I.S. M 1 | 32 m ² | I | - | - |
| 8 | Office 2 | 31 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 9 | Office 3 | 31 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 10 | Meeting Room 1 | 52 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 11 | Open Space Office 1 | 125 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 12 | Open Space Office 2 | 168 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 13 | Canteen | 426m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 14 | Warehouse | 147 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 15 | Process Area 1 | 12208 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 16 | I.S. F 2 | 138 m ² | I | - | - |
| 17 | I.S. ACCESS 2 | 5 m ² | I | - | - |
| 18 | I.S. ACCESS 3 | 5 m ² | I | - | - |
| 19 | I.S. M 2 | 138 m ² | I | - | - |
| 20 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 370 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 21 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 367 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 22 | PROCESS AREA 2 | 13388 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 23 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 24 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 25 | IS.F 3 | 138 m ² | I | - | - |
| 26 | IS. ACCESS 4 | 5 m ² | I | - | - |
| 27 | IS. ACCESS 5 | 5 m ² | I | - | - |
| 28 | IS.M 3 | 138 m ² | I | - | - |
| 29 | OFFICE 4 | 220 m ² | I | 21°C | 25.5°C |
| 30 | LABORATORY | 221 m ² | I | 21°C | 25.5°C |

Espaços/Perfis de Ocupação:

Perfis de Ocupação:

Para este caso de estudo, á semelhança do caso de estudo 1, foram atribuídos a partir de perfis existentes nas bases de dados das ferramentas de software, e onde os valores dos parâmetros de calculo foram alterados no Revit para igualarem os valores dos parâmetros correspondentes do IES.VE.

Na Tabela 30, são apresentados os perfis de espaço associados a cada divisão do edifício. Os valores de ganhos internos associados a cada espaço podem ser consultados no Apêndice B.

Tabela 30 - Perfis de Espaço para o edifício do caso de estudo 3

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Space Type |
|----------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | Lobby | 146 m ² | Lobby |
| 2 | Conference Room | 327 m ² | Conference/Meeting |
| 3 | Reception | 42 m ² | Reception |
| 4 | Office 1 | 31 m ² | Office-Enclosed |
| 5 | I.S. F 1 | 32 m ² | Restroom |
| 6 | I.S. ACESS 1 | 5 m ² | Restroom |
| 7 | I.S. M 1 | 32 m ² | Restroom |
| 8 | Office 2 | 31 m ² | Office-Enclosed |
| 9 | Office 3 | 31 m ² | Office-Enclosed |
| 10 | Meeting Room 1 | 52 m ² | Office-Enclosed |
| 11 | Open Space Office 1 | 125 m ² | Office-Open Plan |
| 12 | Open Space Office 2 | 168 m ² | Office-Open Plan |
| 13 | Canteen | 426m ² | Food Preparation |
| 14 | Warehouse | 147 m ² | Active Storage |
| 15 | Process Area 1 | 12208 m ² | Detailed - Manufacturing |
| 16 | I.S. F 2 | 138 m ² | Restroom |
| 17 | I.S. ACESS 2 | 5 m ² | Restroom |
| 18 | I.S. ACESS 3 | 5 m ² | Restroom |
| 19 | I.S. M 2 | 138 m ² | Restroom |
| 20 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 370 m ² | Locker |
| 21 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 367 m ² | Locker |
| 22 | PROCESS AREA 2 | 13388 m ² | Detailed - Manufacturing |
| 23 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² | Locker |
| 24 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² | Locker |
| 25 | IS. F 3 | 138 m ² | Restroom |
| 26 | IS. ACCESS 4 | 5 m ² | Restroom |
| 27 | IS. ACCESS 5 | 5 m ² | Restroom |
| 28 | IS.M 3 | 138 m ² | Restroom |
| 29 | OFFICE 4 | 220 m ² | Office-Enclosed |
| 30 | LABORATORY | 221 m ² | Laboratory |

3.2. Definição dos Parâmetros de Cálculo

Para garantir uma comparação viável entre resultados obtidos para o mesmo edifício em ambos os *softwares*, é necessário garantir que os dados introduzidos em cada um deles é igual

Neste capítulo é demonstrada a forma como são definidos os parâmetros de relevo para a realização das simulações. Os parâmetros abordados dizem respeito ao meio onde os edifícios serão implantados, Localização, á definição da sua envolvente, quer opaca quer de envidraçados, e finalmente, ao tipo de utilização que cada edifício terá. Prestam-se também esclarecimentos á forma de como, em situações de incompatibilidade, se contornaram desigualdades na forma de dar inputs aos softwares.

3.2.1. Localização, Ficheiros Climáticos e Orientação dos Edifícios

A localização dos edifícios é um pormenor essencial para as análises energéticas dos edifícios, uma vez que, como localizações diferentes tem climas também diferentes, o comportamento térmico dos edifícios varia com a geografia do edifício, afetando as potencias necessárias para os climatizar, bem como, os consumos energéticos anuais dos mesmos. A definição da localização do edifício no Revit é feita através dos passos infra expostos, efetuados para o caso de estudo 1, edifício de habitação multifamiliar, localizado em Bragança. Para os restantes edifícios, é possível consultar a definição das suas localizações no Apêndice D.

Revit

No que diz respeito aos ficheiros climáticos, uma vez que a ferramenta de simulação do Revit recorre a uma base de dados do IES.VE, e não permite associar ou editar ficheiros climáticos, assumiu-se como referência os dados climáticos que derivam dos ficheiros EPW a que o Revit recorre.

No Revit a definição da localização dos edifícios é feita de forma bastante intuitiva através de uma interface gráfica, nesta é possível utilizar uma localização exata, com coordenadas GPS, ou através da pesquisa da localidade onde se pretende implantar o edifício. Neste, como nos casos de estudo seguintes, optou-se por não definir os edifícios através das coordenadas GPS, mas sim á localização do edifício “por zona”, isto deve-se a uma limitação que o Revit tem na permissão de ficheiros climáticos serem introduzidos e manipulados, cingindo-se apenas á localização geográfica e escolha da estação climatológica de preferência, por parte do utilizador.

Métodos e Aplicação

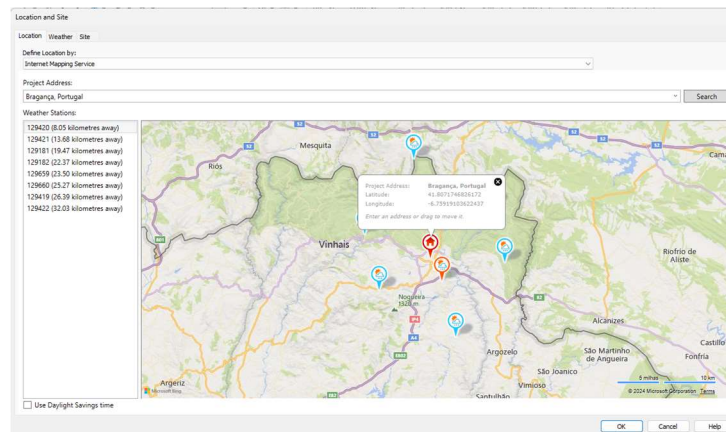


Figura 36 - Definição da Localização do Edifício do caso de estudo 1 no Revit

A orientação do edifício pode ser dada através de dois processos, o primeiro consiste na georreferenciação do edifício, método mais seguro de criar os vários modelos das disciplinas de especialidade, que evita desvios dos modelos destas mesmas especialidades em relação ao modelo de Arquitetura e ainda das outras especialidades, evitando conflitos e permitindo criar modelos centrais onde se compatibilizam redes, equipamentos e estruturas, cumprido o verdadeiro propósito da metodologia BIM. Desta forma é possível estabelecer a orientação do edifício, em relação a um *Survey Point*, esta rotação é caracterizada como *True North*.

IES.VE

Esta ferramenta dá uso aos *EnergyPlus Weather Files (EPW Files)*, fornecidos no site da EnergyPlus [62]. Ainda que seja necessária a introdução da localização, os valores dos dados climáticos são obtidos segundo o ficheiro climático carregado para o projeto. Para localizar corretamente os edifícios nesta plataforma seguem-se os seguintes passos:

Em primeiro lugar, define-se a localidade onde se vai implantar edifício.

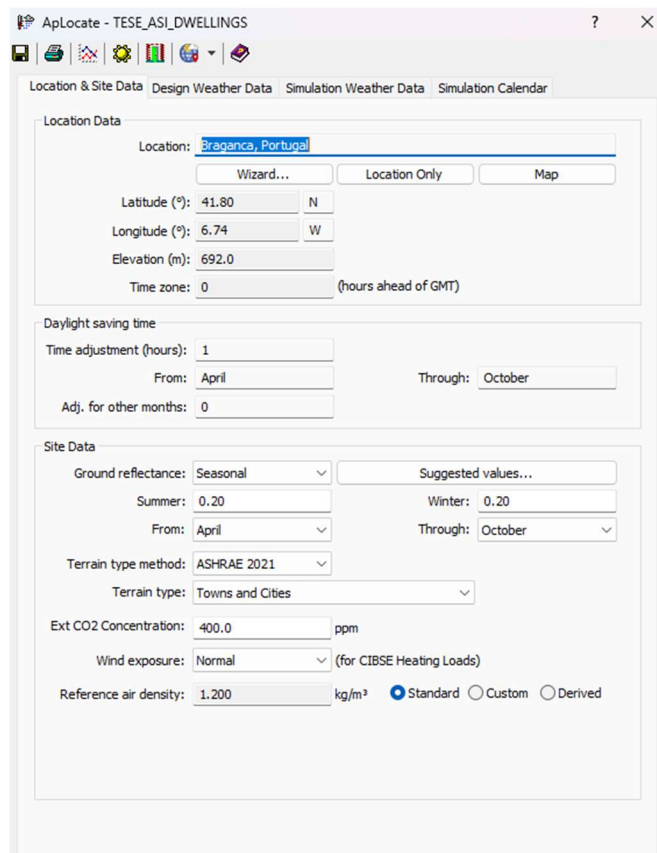


Figura 37 - Localização do ed. do caso de estudo 1 no IES.VE

O segundo passo passa por associar o ficheiro climático correto, uma vez que o IES.VE permite a introdução de ficheiros climáticos no formato EPW, atribuiu-se a este caso de estudo o ficheiro climático disponível no site da *EnergyPlus*, que faz corresponder os seus dados climáticos àqueles definidos pelo Revit, com vista a garantir a viabilidade da comparação de resultados.

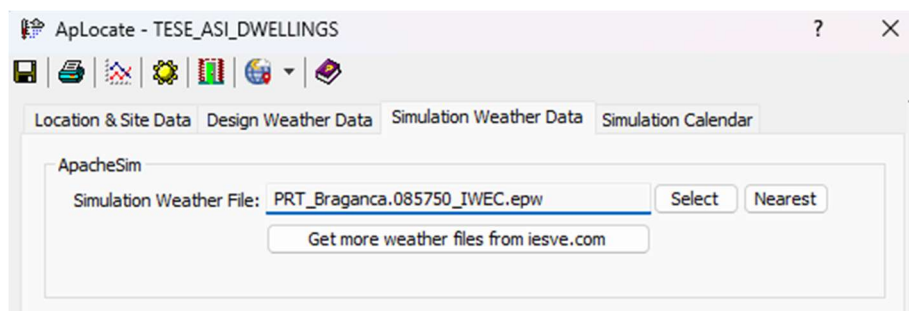


Figura 38 - Ficheiro Climático associado ao caso de estudo 1

Métodos e Aplicação

Finalmente, é possível a forma como as temperaturas de bolbo seco, máximas e mínimas, e temperaturas de bolbo húmido variam ao longo do ano.

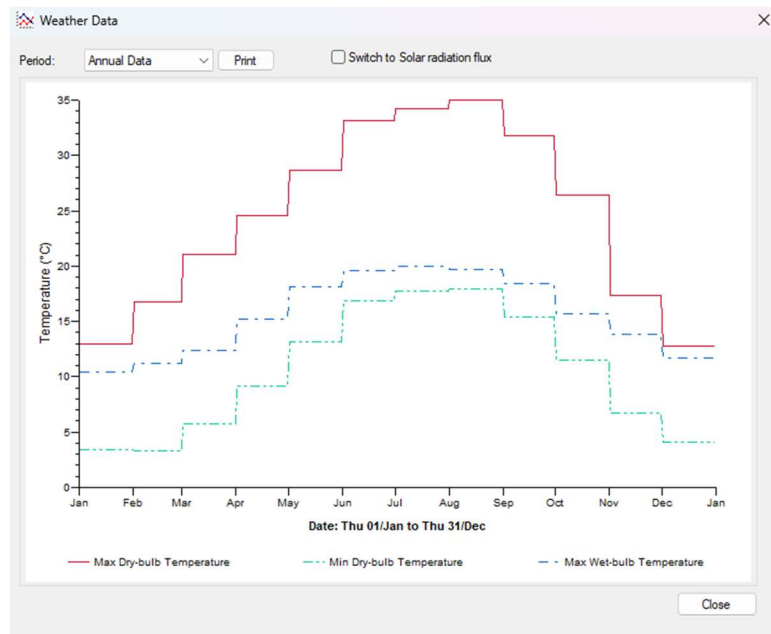


Figura 39 - Gráfico da variação das temperaturas de projeto para o caso de estudo 1

A orientação do edifício é dada segundo o ângulo do Norte do edifício em relação ao Norte do modelo analítico do edifício. Em todos os casos de estudo, e como forma de simplificação, optou-se por considerar a orientação apresentada na Figura 23 correspondente à orientação do Norte Geográfico. A mesma consideração foi tomada para ambos os casos de estudo posteriores.

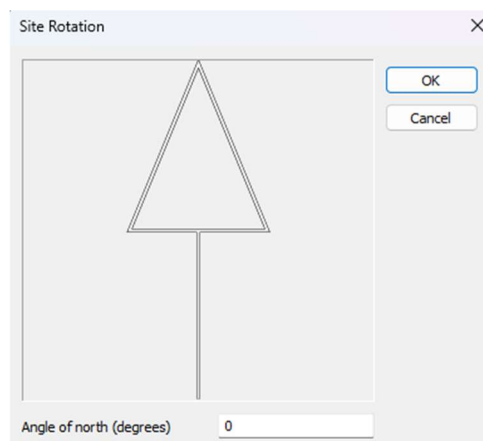


Figura 40 - Orientação do edifício em relação ao Norte Geográfico

3.2.2. Elementos Construtivos

Revit

Nesta ferramenta os elementos construtivos são modelados através de famílias, das paredes, janelas e pavimentos. Cada uma dessas famílias é criada com base em parâmetros que definem, para além da sua geometria, os parâmetros referentes às características físicas de cada elemento construtivo. No caso das paredes e pavimentos existe a necessidade de criar cada família através de camadas de material que as constitui, cada delas relativa a uma camada física de material constituinte da parede/pavimento. Assim sendo foi necessário no decorrer da experiência, criar as famílias dos elementos opacos e caracterizar cada um deles através da definição das suas camadas, tentando aproximar as suas características físicas/térmicas àquelas definidas no ponto 3.1.1.

Ao contrário dos elementos da envolvente opaca, os elementos envidraçados são caracterizados de forma diferente, uma vez que não exigem necessariamente a sua criação camada a camada, para estes existe a possibilidade de se indicar para cada família os valores de condutibilidade térmica e de fator solar. Por outro lado, e ao contrário do IES.VE, não permitem a discriminação de proteções solares. Para colmatar esta limitação intrínseca do Revit optou-se por utilizar um fator solar ponderado entre o valor do fator solar do vidro e o fator solar da proteção

Como assumimos uma construção igual para os três edifícios em estudo, foi posteriormente, necessário importar essas famílias para os modelos de cada um desses edifícios e atribuir a cada elemento do modelo a respetiva família.

IES.VE

No IES.VE a definição dos elementos construtivos consiste num processo mais simples do que aquele empregue no Revit, uma vez que ao invés de utilizar famílias para os elementos construtivos serve-se de uma geometria analítica representada por linhas. É através da função "*Project Constructions*" que podemos definir as camadas e parâmetros como espessura, Condutibilidade térmica e resistência térmica dos elementos da envolvente do edifício sendo que, existe, posteriormente, uma opção que permite definir quais os elementos construtivos que servem de, por exemplo, de paredes exteriores.

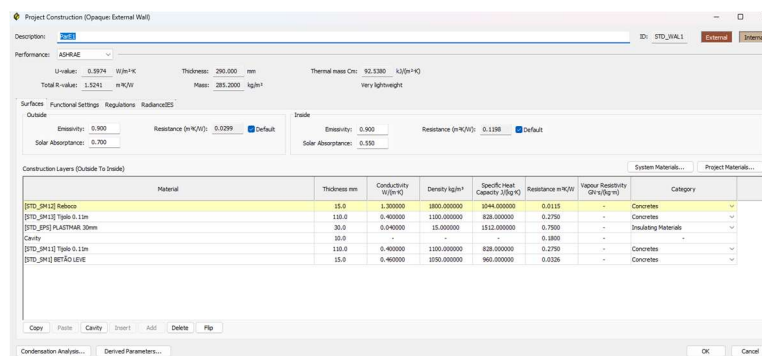


Figura 41 - Exemplo de definição de um elemento construtivo (IES.VE)

Para os vãos envidraçados, o IES.VE mantém o mesmo *modus operandi* utilizado para elementos opacos, isto é, o elemento é definido a partir de camadas de material. Ao contrário do Revit é possível definir neste elemento a existência e tipo de proteção solar, isentando a necessidade cálculo de um fator solar ponderado entre as duas estruturas, no entanto, devido á necessidade de aproximar o mais possível os inputs dados a amos os softwares, foi necessário descartar a opção de incluir uma proteção solar diretamente no elemento e criar o elemento com um valor de fator solar ponderado igual aquele que foi empregue no Revit.

No Apêndice A, mostra-se a definição de cada um dos elementos construtivos tanto para o Revit como para o IES.VE.

3.2.3. Ganhos Internos (Iluminação, Ocupação e Equipamentos)

Contrariamente aos parâmetros acima referidos (localização e elementos construtivos), os ganhos internos são definidos de forma similar, isto é, dependem do perfil de ocupação atribuído a cada espaço, onde os tipos e valores de ganhos internos de cada um, são estipulados. Existem porem diferenças nos restantes parâmetros dos espaços que são possíveis definir em cada software. Como forma a possibilitar a comparação de resultados das simulações tanto de cargas térmicas como de consumos anuais, forma criados em cada modelo, perfis com ganhos internos iguais e com nomes também iguais. Os valores para os ganhos internos dos espaços encontram-se resumidos para cada *Space Type* e para cada divisão dos três edifícios em estudo, no Apêndice C.

Revit

Nesta ferramenta existe a necessidade de definir um *Space Type* para cada divisão, aqui são discriminados valores como área por ocupante, ganhos de iluminação por metro quadrado, carga térmica sensível e latente por ocupante etc. O Revit já conta com uma base de dados de perfis de espaços de origem e os valores que os compõem derivam de vários *ASHRAE Standards*. Todos estes parâmetros são editáveis, existe também a possibilidade de *criar Space Types*. Segue, na Figura 42, um exemplo de perfil de espaço relativo á divisão nº5 do caso de estudo 2.

| Parameter | Value |
|-------------------------------|--|
| Energy Analysis | |
| Area per Person | 11.610 m ² |
| Sensible Heat Gain per person | 73.27 W |
| Latent Heat Gain per person | 58.61 W |
| Lighting Load Density | 11.84 W/m ² |
| Power Load Density | 10.76 W/m ² |
| Infiltration Airflow per area | 0.17 L/(s·m ²) |
| Plenum Lighting Contribution | 20.0000% |
| Occupancy Schedule | Common Office Occupancy - 8 AM to 5 PM |
| Lighting Schedule | Office Lighting - 6 AM to 11 PM |
| Power Schedule | Office Lighting - 6 AM to 11 PM |
| Outdoor Air per Person | 2.36 L/s |
| Outdoor Air per Area | 0.30 L/(s·m ²) |
| Air Changes per Hour | 0.000000 |
| Outdoor Air Method | by People and by Area |
| Heating Set Point | 20.00 °C |
| Cooling Set Point | 25.00 °C |
| Humidification Set Point | 30.0000% |
| Dehumidification Set Point | 70.0000% |

Figura 42 - Definição de ganhos internos no Revit para a divisão nº 5 do caso de estudo 2

IES.VE

Tal como no Revit, o IES.VE conta com uma base de dados para perfis de espaços (*Thermal Templates*), onde são definidos todos os parâmetros de ganhos internos por ocupação, iluminação, etc. Ao contrário do Revit, existe, para cada *Thermal Template*, a possibilidade de definir o tipo de atividade dos ocupantes, a sua posição no espaço (a pé, sentados, etc.), bem como o tipo de vestuário que usam (clo). Mais importante é ainda, a possibilidade de definir os “contadores” para cada tipo de ganho interno, isto é, definir as parcelas onde são contabilizados os consumos de cada tipo de equipamento/ponto de consumo, os “meters”, que são pré-definidos no Revit e no qual não é possível alterar parcela onde será contabilizado. Esta opção não existe no Revit, que já tem *meters* pré-definidos.

Paralelamente á forma como definimos os elementos construtivos, e de forma a garantir uma possível comparação entre os resultados obtidos por ambas as ferramentas de software em estudo, foi dado aos *Space Types/Thermal Templates*, que já estão pré-definidos em ambos os softwares e por isso já tem o mesmo nome, valores de ganhos internos e horários de funcionamento dos espaços iguais, para isto tomou-se como referencia os valores dos perfis de espaço pré-definidos no IES.VE, ajustando os valores do Revit de acordo com estes. Outro aspeto relevante no que diz respeito a inputs de ganhos internos são os valores de fração convectiva e radiativa dos ganhos internos por iluminação e equipamentos. Por um lado, cada perfil de espaço no IES.VE permite o input deste valor, mas, por outro, no Revit não existe nenhum campo onde esse valor possa ser introduzido. Para eliminar esta discrepância foi necessário atribuir aos perfis de espaço valores de fração radiativa e convectiva iguais àqueles que são dados por *default* no EnergyPlus, uma vez que o Revit recorre a uma ferramenta com base neste software. Os valores *default* que o EnergyPlus atribui á fração convectiva são de 60%, para ganhos internos por iluminação [63]. Para ganhos internos por equipamentos, o valor da fração convectiva é 50% por *default*. [64]

3.2.4. Temperaturas Operativas

Neste trabalho, as temperaturas operativas dos espaços são definidas igualando-as às temperaturas dos espaços, que, por sua vez, seguem a norma EN ISO 16798-1. Nesta norma são postuladas as temperaturas dos espaços segundo o nível de qualidade do ambiente interior, ou, *Indoor Environmental Quality* (IEQ). [10]

As temperaturas operativas dos espaços uteis dos 3 casos em estudo resumem-se conforme a tabela seguinte:

Tabela 31 - Temperaturas Operativas para cada tipo de espaço

| Tipo de Espaço | Categoria IEQ | Temperatura de Inverno | Temperatura de Verão |
|-------------------|---------------|------------------------|----------------------|
| Espaços Úteis | I | 21.5°C | 25.5°C |
| Espaços Não Úteis | I | - | - |

3.2.5. Caracterização dos Sistemas AVAC

Os consumos energéticos dos edifícios são fortemente afetados pelo tipo e quantidade de equipamentos que estão presentes no seu interior. Neste estudo são considerados aqueles que são influenciados pela tipologia dos espaços, pela sua ocupação, taxas de renovação de ar novo e pelas necessidades energéticas dos espaços ocupados (cargas térmicas).

Devido mais uma vez a limitações apresentadas pelo Revit, optou-se por espelhar no IES.VE os valores de *default* do Revit para cada tipo de sistema/equipamento AVAC, uma vez que no Revit estes valores são derivados de tipos de sistemas centrais de produção e distribuição na raiz do software (*Analytical Systems*), que apresenta algumas opções mais tradicionais de sistemas deste tipo aplicados á generalidade dos edifícios, de notar que carece de opções para edifícios de carácter mais exigente e apresenta ainda a impossibilidade de atribuição/edição dos valores de eficiência energética dos equipamentos, sem recorrer a plug-ins externos. Esta preocupação em garantir que o valor de eficiência energética dos equipamentos é igual nos dois softwares advém da necessidade de criar gémeos digitais e diminuir discrepâncias nos inputs de cada simulação, na tentativa de isolar as diferenças nos resultados das simulações apenas a aspetos intrínsecos das ferramentas de software.

Para cada tipo de edifício foi escolhido o tipo de *Analytical System* do Revit mais apropriado e que vai mais ao encontro daquele definido no ponto 3.1. Posteriormente atribuíram-se os mesmos valores de SEER e SCOP para os *Apache Systems* do IES.VE.

Edifício de Habitação Multifamiliar

Neste edifício consideraram-se sistemas do tipo VRF individuais para cada fração, desta feita foram criados *Water Loops* para cada fração e dentro dos quais se atribuíram *Zone Equipments* para cada espaço de permanência, cujos valores de SEER e SCOP se encontram na Tabela 32.

Os valores de eficiência energética para os sistemas VRF são utilizados no Revit são referentes ao conjunto de Unidade Exterior e Unidade Interior.

Tabela 32 - Valores de SCOP e SEER dos sistemas VRF para o caso de estudo 1[65]

| Loop | SCOP | SEER |
|--------------------|------|------|
| VRV 101-108 | 3.5 | 3.3 |
| VRV 201-208 | 3.5 | 3.3 |
| VRV 301-308 | 3.5 | 3.3 |
| VRV 401-408 | 3.5 | 3.3 |

Tal como explicito na Figura 43, a cada fração foi atribuído um sistema VRF, constituído por uma unidade exterior para a fração e uma unidade interior para cada espaço climatizado.

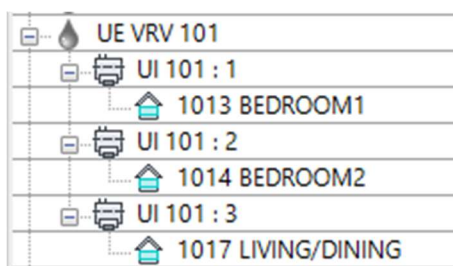


Figura 43 - *Analytical Systems* da fração 1 do caso de estudo 1, no Revit

Edifício de Escritórios

Paralelamente ao descrito no ponto 3.1.2, este edifício recorre a um sistema VRF + UTAN, para os espaços de ocupação contínua, e com um Ventilador de Extração (VE) para os restantes espaços, tais como Arrumos e Instalações Sanitárias. Uma vez que o Revit apenas apresenta tipos de *Analytical Systems* que não contemplam sistemas VRF + UTAN, foram considerados apenas os equipamentos referentes aos sistemas de expansão direta, excluindo UTAN's, devido, novamente, a limitações do Revit. Embora não seja uma solução aplicável na realidade, espelhou-se esta solução no IES.VE, desconsiderando, também, a existência de equipamentos de ventilação como é o caso dos VE's e ventiladores das UTAN's, nas quais apenas se considerou a unidade produtora que alimenta a bateria de aquecimento/arrefecimento.

Os valores de SEER e SCOP do sistema VRF são apresentados na Tabela 33

Tabela 33 - Valores de SCOP e SEER dos sistemas VRF para o caso de estudo 2 [65]

| Loop | SCOP | SEER |
|--------------|------|------|
| VRV 1 | 3.5 | 3.3 |

Para este caso de estudo, foi atribuído um sistema VRF, com apenas uma unidade exterior para a totalidade dos espaços climatizados, contendo cada um dos espaços climatizados uma unidade interior própria (Figura 44).

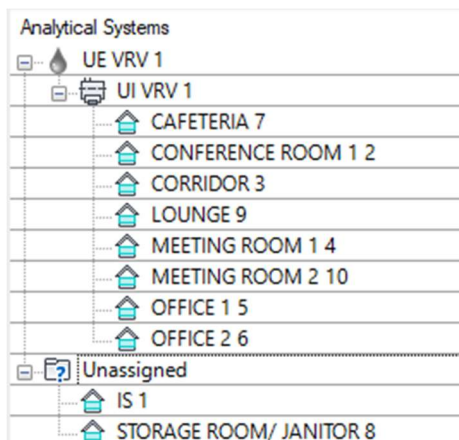


Figura 44 - Analytical Systems do caso de estudo 2, no Revit

Edifício Giga-Factory

Este edifício composto por dois grupos de espaços distintos, espaços de escritório e espaços de produção industrial, faz uso de sistemas AVAC distintos entre cada um destes grupos, o primeiro segue em linha do caso de estudo anterior e utiliza uma produção centralizada de VRF exterior com unidades interiores presentes nos espaços de permanência, e onde a renovação do ar é garantida por uma UTAN. Os espaços de produção industrial recorrem a UTA's, tanto para vencer a carga térmica como para garantir a renovação do ar interior, cujas baterias são alimentadas através de unidades de produção do tipo VRF. Devido á limitada oferta de tipos de sistemas AVAC disponíveis para atribuição pelo Revit foram criados *Analytical Systems* para cada grupo de espaços de acordo com a Figura 45, onde se considerou apenas os sistemas VRF, tanto para unidades exteriores e interiores para os espaços climatizados como para as unidades produtoras das UTAN, nestas não é possível ter em consideração as baterias de aquecimento/arrefecimento e módulos de ventilação, simultaneamente, anulando gastos energéticos da vertente de ventilação. Tais considerações foram espelhadas na definição dos equipamentos do IES.VE, que contrariamente a Revit permite considerar para o mesmo espaço os consumos energéticos de sistemas produtores, unidades terminais e equipamentos de ventilação.

Os valores de SEER e SCOP do sistema AVAC considerado são apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 - Valores de SCOP e SEER dos sistemas VRF para o caso de estudo 3 [65]

| Loop | SCOP | SEER |
|-----------|------|------|
| VRV 1 | 3.5 | 3.3 |
| VRV 2 | 3.5 | 3.3 |
| VRV UTA 1 | 3.5 | 3.3 |
| VRV UTA 2 | 3.5 | 3.3 |

Cada Loop é referente aos espaços que a rede do sistema VRF abrange, segundo a Figura 45.

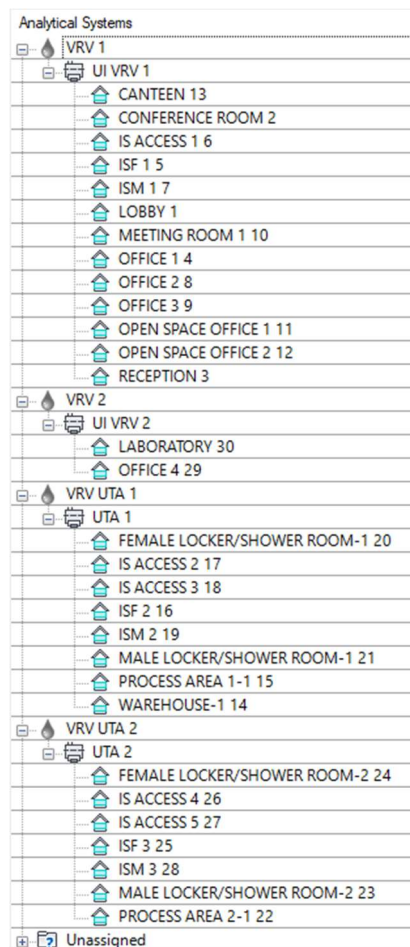


Figura 45 - Analytical Systems do caso de estudo 3, no Revit

A definição dos valores de eficiência energética dos equipamentos dos três casos de estudos na ferramenta IE.VE estão presentes no Apêndice E.

3.3. Simulação de Cargas térmicas

Neste capítulo pretende-se descrever os métodos segundo os quais se realizam tanto as simulações de cargas térmicas dos edifícios. Para realizar as simulações é necessário fazer um levantamento prévio de informação de diversos elementos tais como a arquitetura, envolvente, ocupação, sistemas de climatização, iluminação e perfis de utilização. Toda esta informação foi apresentada e descrita em detalhe no subcapítulo 3.1. Neste subcapítulo será apresentada a forma como são feitas as simulações de cargas térmicas, em primeiro lugar, no Revit e posteriormente no IES.VE. O *modus operandi* descrito para cada software é transversal a todos os edifícios, na generalidade dos aspetos.

3.3.1. Revit

A simulação de cargas térmicas no Revit, partindo de um modelo de arquitetura já definido é bastante simples.

O primeiro passo será criar os espaços sobre os quais serão feitas as simulações, aos quais devem ser atribuídos números e nomes para melhor identificar o seu propósito. Neste passo recorre-se, normalmente, á numeração e nomenclatura dos *Rooms* definidos pela Arquitetura.

De seguida é necessário definir a localização do Edifício.

O próximo passo é atribuir a cada espaço um perfil ou *Space Type*, tal como foi referido no subcapítulo 3.1.

Posteriormente devem ser revistas as *Energy Settings*, que definem a forma como o modelo analítico é criado.

O quinto passo é criar o *Energy Analytical Model*,

Finalmente, apos serem definidos todos os parâmetros dos espaços, definida a forma como o modelo energético é criado e criado o próprio modelo energético, resta apenas calcular as cargas térmicas a partir da ferramenta *Heating and Cooling Loads*.

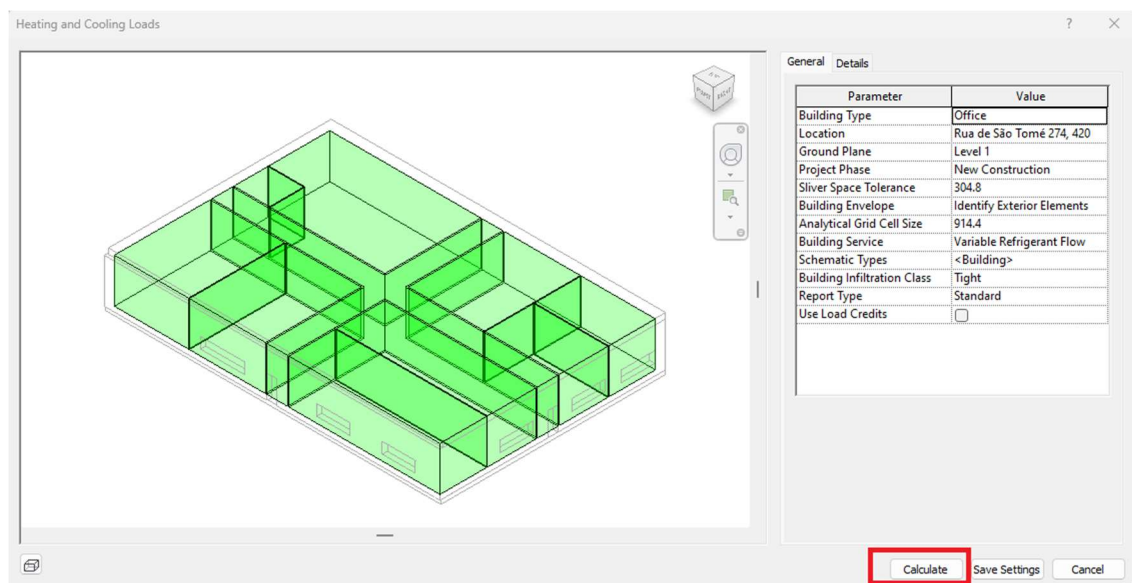


Figura 46 – Cálculo de Cargas Térmicas (Revit)

Após o decorrer da simulação é criado um *Loads Report* dentro do projeto onde podem ser consultados os valores de carga térmica para o edifício no geral ou para cada espaço definido em particular.

3.3.2. IES.VE

O IES.VE difere do Revit em alguns aspetos chave, por exemplo, ao contrário do Revit o edifício tem de ser modelado de raiz para o efeito, existe porém a opção de importar o modelo Revit diretamente para o IES.VE através de um ficheiro *gbXML*, com o objetivo de anular a

necessidade de modelar o edifício e de ter de atribuir numeração/nomenclatura aos espaços criados, uma vez que o formato *gbXML* permite esse tipo de transferência de informação, não sendo apenas transferida a geometria do edifício, mas a geometria criada a partir do ficheiro *gbXML* revelou-se muito “ruidosa”, isto é, com uma geometria pouco ortogonal e com uma divisão de espaços diferente do modelo que lhe deu origem, o que impossibilitou o recurso a este método.

Apos a modelação do edifício segue-se a atribuição dos *Thermal Templates* a cada espaço,

De seguida é definida a envolvente do edifício, e a sua localização, que ao contrário do Revit para além das coordenadas de GPS necessita que seja definido um ficheiro climático, bem como pode ser definido um calendário no qual será feita a simulação.

O próximo passo é realizar a simulação de sombreamento e ganho solar, *SunCast* do IES.VE, cujos resultados serão utilizados tanto na simulação de cargas térmicas como na simulação dinâmica.

Finalmente, através da ferramenta *Apache* do IES.VE é feita a simulação na opção *ASHRAE Loads*.

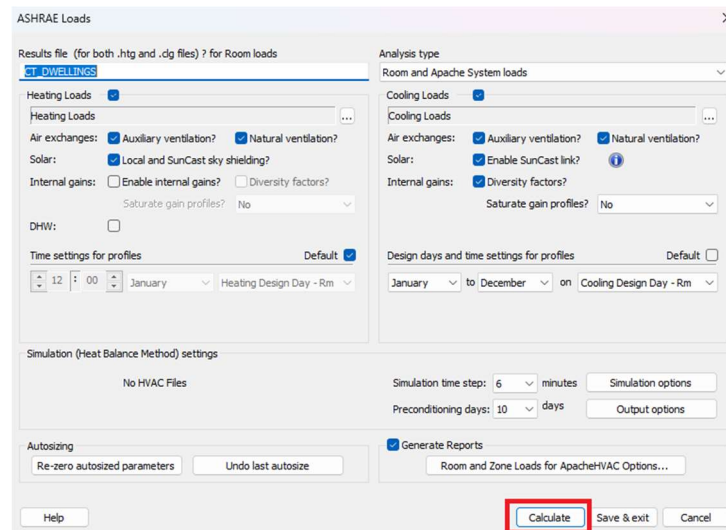


Figura 47 – Cálculo de Cargas Térmicas (IES.VE)

Após a simulação, é exportado um *report* com os valores das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento dos espaços do edifício.

3.4. Simulação Dinâmica

Tal como no subcapítulo 3.3, este serve para elaborar acerca dos passos necessários para a realização das simulações dinâmicas nos dois softwares em estudo, o Revit e o IES.VE.

3.4.1. Revit

Partindo do princípio que foi realizada a simulação de cargas térmicas antes da simulação dinâmica e, portanto, que todos os passos referidos para a simulação de cargas térmicas foram efetuados, o processo para a simulação dinâmica de edifícios contem os seguintes passos:

Primeiro, são criadas *System-Zones*, que servem essencialmente para agrupar espaços por sistema de tratamento ambiente ou rede de frigorífero, por exemplo, quer isto dizer que, *Spaces* na mesma *System-Zone*, são tratados por sistemas idênticos (*Analytical Systems*), que por sua vez são alimentados pela mesma rede de água/ar.

De seguida, criam-se *Analytical Systems*, estes sistemas podem conter redes de água ou ar (*Water Loops* ou *Air Loops*), que por sua vez podem conter *Zone Equipments*, que representam os equipamentos terminais nos espaços (ver Figura 48).

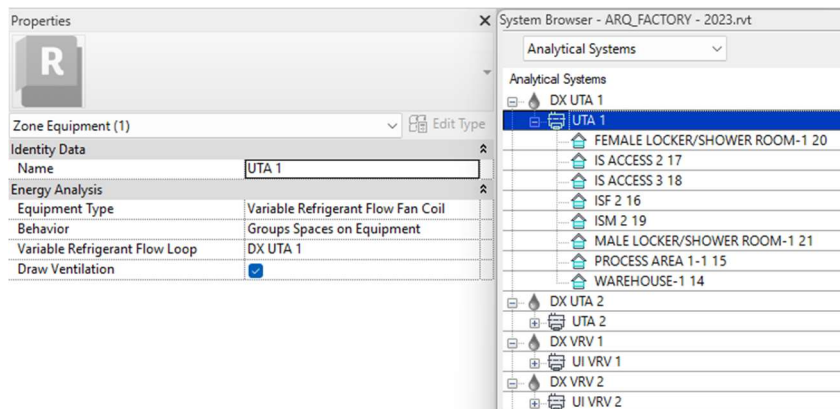


Figura 48 - Definição de Sistemas Analíticos no Revit

No Apêndice D, é possível consultar a forma como estes valores foram calculados

O passo seguinte consiste em regenerar o *Energy Analytical Model*, para que sejam refletidas as alterações e atribuições de sistemas analíticos aos espaços com ambiente controlado.

Por fim, basta criar a simulação através da ferramenta *Systems Analysis* onde deve ser escolhida a opção *Annual Building Energy Simulation*. Decorrida a simulação é criado no modelo um *Analysis Report*. Onde podem ser consultados os resultados dos consumos dos sistemas analíticos definidos.

Para obter, ainda mais detalhe acerca da simulação dinâmica no Revit, basta clicar em *Optimize*, para ser redirecionado para uma página Web de uma ferramenta da Autodesk (proprietária do Revit), o *Insight*, onde são dados resultados de consumos anuais por metro quadrado ou custos energéticos anuais por metro quadrado também. No *Insight* é também possível ver o impacto que os vários aspetos do edifício, tais como, os envidraçados ou até a orientação do edifício implicam nos consumos anuais do edifício.

3.4.2. IES.VE

Para o caso da simulação dinâmica no IES.VE, partimos também do pressuposto que foram executados os passos indicados no subcapítulo anterior.

De forma semelhante ao Revit é necessário criar sistemas analíticos e atribuir a cada sistema os espaços que cabem controlar o ambiente. Mas antes, e ao contrário do Revit é necessário criarem-se os *meters*, que são contadores onde são alocados os consumos de cada tipo de sistema, pois o Revit discrimina automaticamente cada tipo de consumo energético, neste caso foram criados *meters* no IES.VE de acordo com aqueles que o Revit usa por *default*: “Aquecimento” e “Arrefecimento”, para consumos energéticos ligados às necessidades de aquecimento e arrefecimento, respetivamente, “Iluminação”, “Equipamentos” e ainda Outros, para tudo aquilo que não se insere nos *meters* anteriores.

Posteriormente, é necessário associar cada tipo de ganho interno dos *Thermal Templates*, a um *meter*, por exemplo, os ganhos internos por iluminação associam-se ao *meter* “Iluminação”.

De seguida agrupam-se os espaços por “HVAC Zones”, de forma semelhante á do Revit.

O quarto passo, consiste na criação de *Apache Systems*, muito idênticos aos *Analytical Systems* do Revit, mas com muito mais detalhe, onde para além dos *meters* para cada tipo de necessidade (*cooling, heating, Aux Energy, etc.*), podemos por exemplo definir o SEER do sistema de climatização, o que não é possível no Revit. Atribui-se um *Apache System* para cada *HVAC Zone*.

Apos uma verificação dos passos discriminados, procede-se á realização da simulação dinâmica através da ferramenta *ApacheSim*, ver Figura 49. Figura 49 - Ferramenta “*ApacheSim*” (IES.VE)

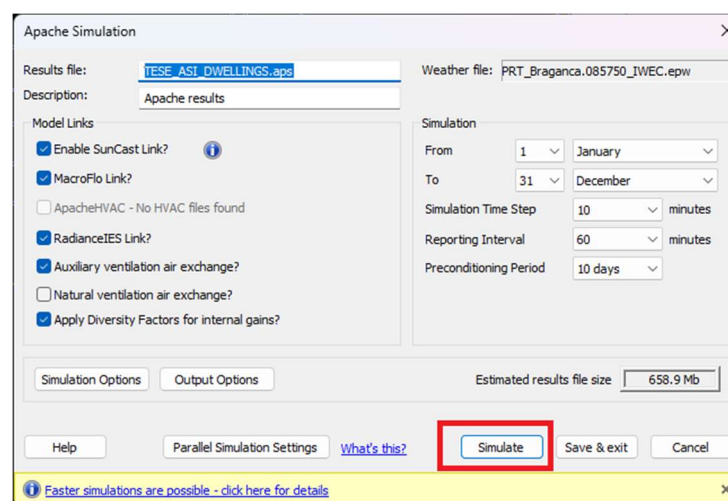


Figura 49 - Ferramenta “*ApacheSim*” (IES.VE)

Os resultados desta simulação não são exportados para um ficheiro de formato comum, mas podem ser consultados (tabelas) e visualizados (gráficos) através na aplicação *VistaPro*, do IES.VE.

4. Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações realizadas nos dois softwares em estudo, tanto para a obtenção das necessidades de aquecimento e arrefecimento como nos consumos energéticos anuais por metro quadrado para os três casos de estudo introduzidos no capítulo 3.

4.1. Apresentação de resultados de Cargas Térmicas obtidos através do Revit e IES.VE

São agora, apresentados os resultados obtidos das simulações de cargas térmica, para os três casos de estudo, em ambas ferramentas de software utilizadas. Nas tabelas seguintes apenas são apresentados os valores para os espaços climatizados, uma vez que numa das ferramentas, IES.VE, existe a opção de escolher simular apenas para espaços onde se pretende que o ambiente seja controlado, tal não acontece no Revit, onde a simulação abrange todos os espaços definidos no modelo energético que, por sua vez, deriva do modelo de Arquitetura. Decidiu-se então apresentar apenas aqueles que, ambos os softwares consideraram para simulação.

4.1.1. Caso de estudo 1

Os resultados das simulações de cargas térmicas par o edifício do caso de estudo 1 são apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 - Resultados da Simulação de cargas térmicas em Revit e IES.VE, para o caso de estudo 1

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Arref. Revit (W) | Arref. IES.VE (W) | Aquec. Revit (W) | Aquec. IES.VE (W) |
|----------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 101.3 | BEDROOM1 | 531 | 909 | 860 | 1641 |
| 101.4 | BEDROOM2 | 527 | 813 | 435 | 1269 |
| 101.7 | LIVING/DINING | 2926 | 2506 | 574 | 1916 |

Nesta tabela estão evidenciadas algumas discrepâncias nos valores obtidos, onde, em alguns casos, os valores obtidos no Revit, mais do que dobram aqueles obtidos no IES.VE, sobretudo para nos valores de cargas de aquecimento.

4.1.2. Caso de estudo 2

Os resultados das simulações de cargas térmicas par o edifício do caso de estudo 2 são apresentados na Tabela 36.

Tabela 36 - Resultados da Simulação de cargas térmicas em Revit e IES.VE, para o caso de estudo 2

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Arref. Revit (W) | Arref. IES.VE (W) | Aquec. Revit (W) | Aquec. IES.VE (W) |
|----------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 2 | CONFERENCE ROOM | 10123 | 8502 | 1767 | 4195 |
| 4 | MEETING ROOM 1 | 2467 | 2617 | 791 | 2128 |
| 5 | OFFICE 1 | 1452 | 1615 | 801 | 1229 |
| 6 | OFFICE 2 | 1410 | 1663 | 499 | 1127 |
| 7 | CAFETERIA | 3440 | 4898 | 683 | 2716 |
| 9 | LOUNGE | 3682 | 4678 | 831 | 2165 |
| 10 | MEETING ROOM 2 | 3911 | 3061 | 1220 | 2320 |

Novamente, os valores para as necessidades de aquecimento são aqueles onde a diferença se acentua. Neste caso de estudo existe uma menor discrepância nos valores das necessidades de arrefecimento.

4.1.3. Caso de estudo 3

Os resultados das simulações de cargas térmicas par o edifício do caso de estudo 1 são apresentados na Tabela 37.

Tabela 37 - Resultados da Simulação de cargas térmicas em Revit e IES.VE, para o caso de estudo 3

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Arref. Revit (W) | Arref. IES.VE (W) | Aquec. Revit (W) | Aquec. IES.VE (W) |
|----------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | LOBBY | 29397 | 11092 | 28840 | 2790 |
| 2 | CONFERENCE ROOM | 34855 | 20900 | 25774 | 6044 |
| 3 | RECEPTION | 2158 | 1528 | 2158 | 767 |
| 4 | OFFICE 1 | 3835 | 1916 | 564 | 847 |
| 8 | OFFICE 2 | 3835 | 1911 | 564 | 846 |
| 9 | OFFICE 3 | 3835 | 1916 | 564 | 850 |
| 10 | MEETING ROOM 1 | 1583 | 1853 | 1583 | 928 |
| 11 | OPEN SPACE OFFICE 2 | 11604 | 6441 | 2528 | 3083 |
| 12 | OPEN SPACE OFFICE 2 | 5113 | 5863 | 5113 | 2528 |

| | | | | | |
|-----------|------------------------------------|--------|---------|--------|--------|
| 13 | CANTEEN | 14306 | 26811 | 12040 | 7763 |
| 14 | WAREHOUSE 1 | 1985 | 1997 | 604 | 3070 |
| 15 | PROCESS AREA 1 | 635672 | 1168198 | 470484 | 370047 |
| 20 | FEMALE LOCKER/SHOW ER ROOM-1 | 9897 | 3869 | 8720 | 7012 |
| 21 | MALE LOCKER/SHOW ER ROOM-1 | 9834 | 3773 | 8658 | 6558 |
| 22 | PROCESS AREA 2 | 697448 | 1282152 | 515061 | 404435 |
| 23 | MALE LOCKER/SHOW ER ROOM-2 | 9888 | 3755 | 8570 | 6570 |
| 24 | FEMALE LOCKER/SHOW ER ROOM-2 | 9888 | 3859 | 8570 | 7041 |
| 29 | OFFICE 1 | 7101 | 7835 | 5928 | 4286 |
| 30 | LABORATORY | 9891 | 8784 | 7259 | 4332 |

Este último caso de estudo revela-se de maior dificuldade para retirar conclusões, uma vez que, por um lado apresenta, tanto para as necessidades de aquecimento como de arrefecimento, espaços onde os valores obtidos em ambas as simulações, é bastante próximos, contudo existem, por outro lado, neste caso de estudo as maiores discrepâncias entre valores obtidos para o mesmo espaço.

4.2. Apresentação de resultados obtidos nas simulações energéticas dinâmicas do REVIT e IES.VE

Os resultados retirados das simulações dinâmicas realizadas para os três casos de estudo, tanto no Revit como no IES.VE, são apresentados nesta secção, e dividem-se, sobretudo em quatro categorias: Iluminação, Equipamentos, Arrefecimento e Aquecimento. Em primeiro lugar são apresentados resultados totais dos consumos dos edifícios segundo as categorias referidas, posteriormente são apresentados os valores de consumos anuais por metro quadrado para cada edifício,

4.2.1. Caso de estudo 1

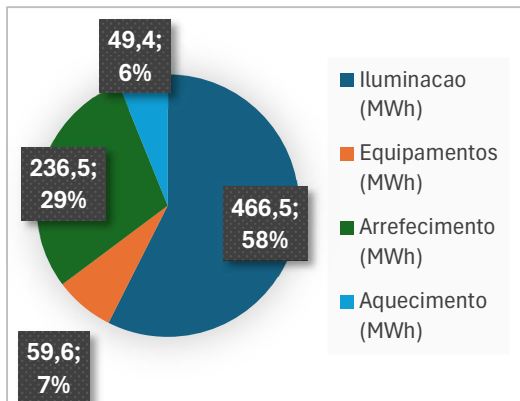


Figura 50 – Consumos Parciais IES.VE, Ed.1

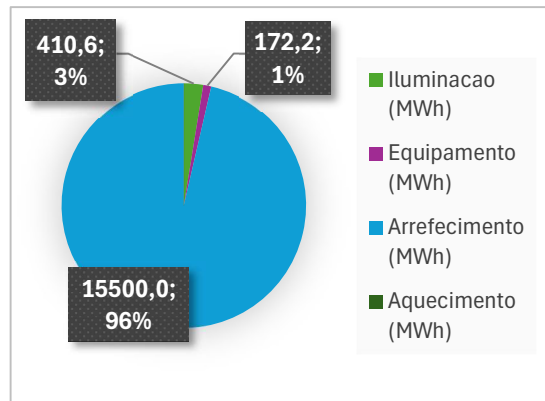


Figura 51 – Consumos Parciais Revit, Ed.1

Tabela 38 - Consumos Anuais IES.VE e Revit, caso de estudo 1

| Software | Consumo Anual Total (kWh/ano) | Área do edificio (m²) | Consumo Anual/metro quadrado (kWh/m²/ano) |
|----------|-------------------------------|-----------------------|---|
| IES.VE | 812070.5 | 6421 | 126.5 |
| Revit | 1608385 | 6421 | 250.5 |

4.2.2. Caso de estudo 2

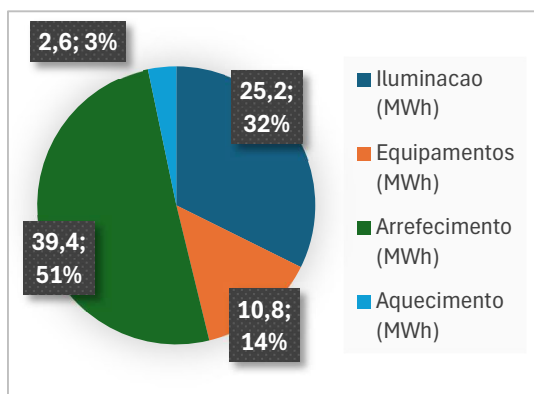


Figura 52 - Consumos Parciais IES.VE, Ed.2

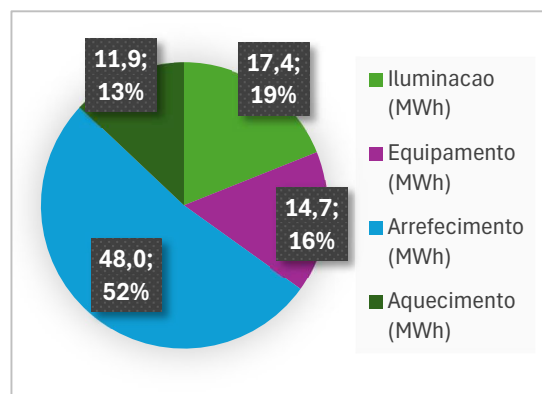


Figura 53 - Consumos Parciais Revit, Ed.2

Tabela 39 - Consumos Anuais IES.VE e Revit, caso de estudo 2

| Software | Consumo Anual Total kWh/ano | Área do edifício (m ²) | Consumo Anual/metro quadrado (kWh/m ² /ano) |
|----------|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| IES.VE | 77961.8 | 620 | 125.7 |
| Revit | 92000 | 620 | 148.4 |

4.2.3. Caso de estudo 3



Figura 54 - Consumos Parciais IES.VE, Ed.3

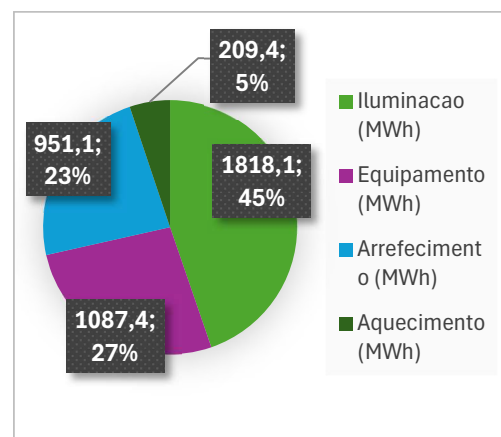


Figura 55 - Consumos Parciais IES.VE, Ed.3

Tabela 40 - Consumos Anuais IES.VE e Revit, caso de estudo 3

| Software | Consumo Anual Total (kWh/ano) | Área do edifício (m ²) | Consumo Anual/metro quadrado (kWh/m ² /ano) |
|----------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| IES.VE | 7201704 | 30184 | 238.6 |
| Revit | 4606000 | 30184 | 134.7 |

4.3. Discussão de resultados

Neste subcapítulo é feita a comparação desses valores com os valores de referência máximos segundo a ASHRAE 90.1, e finalmente são comparados os valores obtidos no Revit em relação ao IES.VE, como verificação da ASHRAE *Guideline* 14 e ASHRAE 140.

4.3.1. Resultados Simulação de Cargas Térmicas

Segundo a ASHRAE *Guideline* 14[25], são aceitáveis desvios em simulações de cargas térmicas de até 35%. Este valor é aplicado a simulações de edifício completo, por isso, faz sentido verificar o desvio em relação às cargas térmicas do edifício e não de cada espaço.

Tabela 41 - Desvios percentuais das Simulações de Cargas Térmicas

| Caso de Estudo | Desvio Percentual situação de Arrefecimento | Desvio Percentual situação de Aquecimento |
|----------------|---|---|
| 1 | 5.7% | 61.2% |
| 2 | 2.0% | 58.4% |
| 3 | 41.4% | 32.6% |

A partir dos valores da Tabela 41, é possível verificar que o critério estabelecido pela *Guideline* 14 não foi cumprido, invalidando, para os edifícios estudados, **exceto para o caso de estudo 3**, o recurso à ferramenta de Cálculo de Cargas Térmicas do Revit.

4.3.2. Resultados Simulação Dinâmica de Edifícios

A ASHRAE *Guideline* 14, postula ainda, que são permitidos desvios, em simulações para edifícios completos entre 12 e 60 meses, de, no máximo 25%. Novamente o cálculo do desvio percentual debruça-se sobre os valores de consumo energético globais do edifício.

Tabela 42 - Desvio Percentual de valores da Simulação Dinâmica

| Caso de Estudo | Desvio Percentual |
|----------------|-------------------|
| 1 | 98.1% |
| 2 | 18.0% |
| 3 | 36.1% |

Os valores de desvio percentual entre os resultados das simulações realizadas nos softwares em questão, mostram bem as discrepâncias entre as mesmas, e tal como acontece na simulação de cargas térmicas, o Revit não cumpre com o requisito e não deve ser considerado, pelo menos para os casos de estudo em questão, uma ferramenta fidedigna.

4.3.3. Análise Comparativa das diferenças entre o Revit e o IES.VE

No que diz respeito às simulações de cargas térmicas, os resultados obtidos através da simulação realizada no Revit, no item anterior, mostram valores muito dispares daqueles obtidos através do IES.VE. Em algumas situações como é o caso da situação de arrefecimento nos casos de estudo 1 e 2, os desvios entre os resultados dos dois *softwares*, é bastante reduzido, 5.7% e 2%, respetivamente, cumprindo com o requisito estabelecido na ASHRAE *Guideline 14* (item 2.5.3). Para as restantes situações, que de aquecimento quer de arrefecimento, os resultados apresentam desvios muito superiores, ultrapassando assim, os limites máximos estabelecidos na mesma diretriz (Tabela 43).

Tabela 43 - Desvios dos resultados das simulações de cargas térmicas em comparação com o máximo desvio permitido pela ASHRAE *Guideline 14*

| Caso de Estudo | Desvio Percentual situação de Arrefecimento | Desvio Percentual situação de Aquecimento | Tolerância ASHRAE <i>Guideline 14</i> |
|----------------|---|---|---------------------------------------|
| 1 | 5.7% | 61.2% | 25% |
| 2 | 2.0% | 58.4% | 25% |
| 3 | 41.4% | 32.6% | 25% |

Os resultados obtidos, através de ambas as ferramentas, para as simulações energéticas dos edifícios dos três casos de estudo apresentados, apresentam também desvios muito superiores aos estabelecidos pela ASHRAE *Guideline 14*. Contudo, no caso de estudo 2, o desvio é de 18.0%, valor aceitável para discrepâncias entre resultados obtidos (Tabela 44).

Tabela 44 - Desvios dos resultados das simulações energéticas dinâmicas, em comparação com o máximo desvio permitido pela ASHRAE *Guideline 14*

| Caso de Estudo | Desvio Percentual | Tolerância ASHRAE <i>Guideline 14</i> |
|----------------|-------------------|---------------------------------------|
| 1 | 98.1% | 35% |
| 2 | 18.0% | 35% |
| 3 | 36.1% | 35% |

No decurso das simulações foram notadas várias diferenças entre as duas ferramentas estudadas que, podem explicar este fenómeno.

Em primeiro lugar, a forma como os modelos são criados difere de forma drástica. No Revit o modelo energético analítico é criado a partir do modelo de arquitetura, onde existe a opção de criar o modelo energético a partir dos “*Buildng Elements*”, que são todos os elementos de Arquitetura/Estrutura do edifício, como paredes, pavimentos, tetos, etc., ou através dos

espaços definidos pelo modelo de arquitetura, referentes às divisões do edifício. Nesta janela, “*Energy Settings*”, são também definidos parâmetros como, o tipo de sistema AVAC do edifício, o tipo de edifício, o perfil de utilização, e tal como referido no item 3.3.1, é possível escolher o *template* de propriedades térmicas da envolvente. Já no IES.VE o modelo energético é criado de raiz e é definido apenas por volumes analíticos de cada espaço, eliminando possíveis discontinuidades dos modelos de Arquitetura, contrariamente ao Revit. Estas discontinuidades podem explicar grande parte das discrepâncias nos resultados obtidos, uma vez que as transferências de calor são calculadas para um volume aberto.

Posteriormente, a forma como são definidos os perfis de ganhos internos de cada espaço é bastante mais limitada do que no IES.VE, pois no Revit, todos os possíveis tipos de parâmetros inerentes aos espaços estão previamente definidos, apenas existe a liberdade de alterar os seus valores. No IES.VE, é possível definir qualquer tipo de ganho interno, o seu valor, e em que meter deve ser contabilizado. Nesta ferramenta existe também, a possibilidade de definir parâmetros de conforto, como met, clo ou até a posição dos ocupantes (a pé, sentados, etc.), impossíveis de definir no Revit.

No que diz respeito às parcelas de consumos de energia, os *meters*, no IES.VE, para além dos pré-definidos, existe a possibilidade de criar *meters* específicos bem como alterar a sua natureza, no Revit, estes *meters* estão pré-definidos, não sendo possível a sua criação ou alteração.

Outro aspeto determinante para as simulações energéticas dos casos de estudo, são os dados climáticos utilizados nas simulações. A diferença entre a forma de input entre as duas ferramentas reside no facto de, por um lado o IES.VE faz uso de uma biblioteca de ficheiros climáticos EPW (*EnergyPlus Weather files*), á qual podem ser adicionados novos ficheiro, quer sejam disponibilizados pela *EnergyPlus*, DOE ou IES. Para cidades portuguesas é usual recorrer á ferramenta “CLIMAS_SCE” do LNEC, onde é possível extrair dados climáticos no formato EPW. Por outro lado, no Revit, apenas se define a localização do edifício, não havendo necessidade de selecionar um ficheiro com dados climáticos específicos de cada região. Esta limitação do Revit levou á opção de recorrer apenas a ficheiros climáticos disponibilizados online, de forma a tentar mitigar o impacto deste parâmetro nos resultados das simulações.

Por fim, e talvez o mais importante, os métodos de calculo de cargas térmicas utilizados pelas duas ferramentas de software. O facto de o IES.VE utilizar o HBM, que é o método tipo ASHRAE, para esta finalidade, tendo um grau de precisão bastante superior ao método RTSM utilizado pelo Revit, enaltece ainda mais a discrepância entre os resultados que as simulações apresentam. Tal como referido no ponto 2.3.5, o HBM apresenta uma incerteza associada que varia entre os 1.83% e os 5.15%, já no caso do Revit essa incerteza varia entre os 32.6% e os 35.9%.

A soma do impacto e todas estas diferenças acima referidas explica, ainda que de uma forma onde não é possível inferir o seu impacto absoluto, a discrepância entre os resultados obtidos nas simulações dos casos de estudo realizados.

5. Conclusão

5.1. Conclusões finais

Nos dias de hoje, com conflitos armados em curso, que envolvem países com economias ligadas á produção energética e, numa altura que estes mesmos conflitos fizeram disparar as tarifas energéticas, aliada a uma constante subida das taxas de inflação, e ainda, no caso de Portugal, se junta a tudo isto uma crise de habitação, faz mais do que nunca sentido repensar os consumos energéticos nos edifícios.

A redução dos custos ligados aos consumos energéticos, deverá então passar por uma melhor adequação das soluções dos edifícios, para mitigar, por exemplo, os efeitos negativos da localização dos edifícios.

A metodologia BIM, estudada neste trabalho através do Revit, permite exatamente isso, melhorar as soluções, permitir gerir especialidades, com vista a aumentar a rentabilidade do processo de construção/instalação, e ainda seria capaz de, para além de munir os utilizadores com uma perceção geométrica/arquitetónica dos edifícios, dar também uma perceção Energética.

Os resultados mostraram que, quando comparado com um software certificado, as ferramentas, tanto de simulação de cargas térmicas como de simulação dinâmica do Revit não entregam resultados fidedignos. Os desvios entre as duas simulações variam entre os 2.0% e os 41.4%, para a estação de arrefecimento. Para a estação de aquecimento, os resultados mostram discrepâncias em que variam entre 32.6% e 61.2%. Já para a simulação energética dinâmica, as discrepâncias variam entre os 18% e os 98.1%.

Em comparação com o IES.VE, o *modus operandi* destas ferramentas do Revit é até, mais simples, mas oferece pouca margem para detalhe e tem alguma latência com edifícios maiores, ou com um maior número de sistema associados. Para além disso, o IES.VE permite um nível muito superior de detalhe, que para situações, onde existe necessidade de um maior detalhe e rigor das simulações, dá uma enorme vantagem ao IES.VE.

A interface do Revit, faz com que as simulações sejam simples de executar, mas, existem vários aspetos desse processo que poderiam ainda ser aprofundados para, por exemplo, estudar o impacto que algumas opções que existem na criação dos modelos energéticos têm nos resultados das simulações.

5.2. Trabalhos Futuros

A partir deste trabalho, naturalmente, o passo seguinte deve ser, desenvolver o Revit no sentido de ter uma ferramenta de simulação de cargas térmicas e simulação energética dinâmica de edifícios que apresentem resultados credíveis. Para isto, existe a necessidade de, em primeiro lugar programar dentro do software a ferramenta de simulação para recorrer ao método de cálculo HBM, eliminando assim uma porção importante do grau de incerteza das simulações, que atualmente recorrem ao RTSM. Em segundo lugar, alterar a interface para permitir uma maior liberdade de definição de perfis dos espaços, bem como uma maior variedade de sistemas de equipamentos de produção no que toca aos *Analytical Systems*. De seguida, acrescentar uma forma de melhor verificar a integridade dos modelos analíticos gerados a partir dos modelos de arquitetura, diminuindo a probabilidade de ocorrência de modelos “abertos”. Posteriormente, deve ser liberalizado a forma de localizar os edifícios e idealmente, permitir o uso de ficheiros climáticos “*tailormade*”, do tipo EPW. Finalmente deve ser desenvolvida uma forma de criação e manipulação dos *meters*, para além dos pré-definidos no software.

Feitas estas alterações, o software deve ser posto á prova através dos testes BESTEST e segundo as orientações de criação e parametrização da ASHRAE 140, onde os resultados obtidos para os vario tipos de teste devem acompanhar os resultados postulados nesta norma, visto tratarem-se de testes tipo, onde os resultados estão publicados, e, finalmente averiguar os resultados comparativamente a valores medidos em edifícios reais, garantindo que os resultados simulados estão dentro dos intervalos permitidos pela ASHRAE *Guideline 14*.

Referências

- [1] G. F. Costa, «Análise de sensibilidade ao balanço energético de edifícios de habitação».
- [2] UNFCCC, «“Paris Agreement”, Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session,» 2015.
- [3] E. Maldonado, «The European Directive on the The European Directive on the Energy Performance of Buildings».
- [4] T. Zgajewski, «THE ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS: PROMISES STILL UNFULFILLED», Mai. 2015.
- [5] «Energy Technology Perspectives 2017 Catalysing Energy Technology Transformations INTERNATIONAL ENERGY AGENCY». [Em linha]. Disponível em: www.iea.org/t&c/
- [6] I. International Energy Agency, «World Energy Outlook 2023», 2023. [Em linha]. Disponível em: www.iea.org/terms
- [7] ASHRAE, «ASHRAE, Handbook Fundamentals. 2005-Ch.8-Thermal Comfort», 2005.
- [8] ASHRAE, «ANSI/ASHRAE Standard 55-"Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", 2013», ASHRAE, 2013, [Em linha]. Disponível em: www.ashrae.org/technology.
- [9] ASHRAE, ASHRAE, *Handbook Fundamentals. 2009*, SI. ASHRAE, 2009.
- [10] I. Sarmiento, «CLIMATIZAÇÃO - Tema 1 e 2 - Climatização e Conforto térmico em ambientes climatizados».
- [11] «ASHRAE Addendum d to ANSI/ASHRAE Standard 55-2017», 2020. [Em linha]. Disponível em: www.ashrae.org
- [12] P. O. Fanger, «Upper limits of air humidity for preventing warm respiratory discomfort», 1998.
- [13] P. O. Fanger, «The variability of man’s preferred ambient temperature from day to day. », *Arch Sci Physiol (Paris)*, 1973.
- [14] P. O. Fanger, «Thermal comfort.», 1982.
- [15] P. O. Fanger, *Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw-Hill, 1970.
- [16] «ISO Standard, "ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria», 2005.
- [17] T. M. F. Gonçalves, «CONFORTO TÉRMICO NO INTERIOR DE EDIFÍCIOS».
- [18] A. BOERSTRA, «New health & comfort promoting CEN standard». [Em linha]. Disponível em: www.cen.eu
- [19] United States Environmental Protection Agency, «Indoor Air Quality». Acedido: 20 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>
- [20] I. Sarmiento, «CLIMATIZAÇÃO - Tema 8 - Ventilação natural e forçada e a qualidade do ar interior», 2023.
- [21] ASHRAE, «ANSI/ASHRAE Standard 62.1- “Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality”, 2022», 2022. [Em linha]. Disponível em: www.ashrae.org/technology.
- [22] W. N. Schirmer, L. B. Pian, M. Sílvia, E. Szymanski, e M. A. Gauer, «A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes».
- [23] ADENE, «ADENE Agência para a Energia, “Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios (SCE)».

Referências

- [24] H. R. Nogueira De Almeida, «Análise comparativa dos métodos da ISO 13790 e sua adequabilidade na estimativa das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento e da temperatura do ar interior».
- [25] ASHRAE, «ASHRAE Guideline 14 - "Measurement of Energy, Demand, and Water Savings, 2014" ». [Em linha]. Disponível em: www.ashrae.org
- [26] Integrated Environmental Solutions, «IES.VE WEATHER FILES». Acedido: 2 de Maio de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.iesve.com/support/weatherfiles>
- [27] I. Sarmento, «CLIMATIZAÇÃO - Tema 11 - Carga térmica de aquecimento ambiente», 2023.
- [28] I. Sarmento, «CLIMATIZAÇÃO - Tema 9 - Radiação Solar», 2023.
- [29] I. Sarmento, «CLIMATIZAÇÃO - Tema 11 - Carga Térmica de arrefecimento ambiente», 2023.
- [30] ASHRAE, «ASHRAE Handbook Fundamentals, 2021- Ch18-"NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS"», 2021.
- [31] C. A. Tatlonghari e J. A. Principe, «Gis-based thermal load estimation of buildings in the national science complex, up diliman», em *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Nov. 2021, pp. 289–294. doi: 10.5194/isprs-Archives-XLVI-4-W6-2021-289-2021.
- [32] M. Çolak, Y. Kaya, e S. Ünalán, «Comparison of Cooling Loads of a Building in the Site with Heat Balance and Radiation Time Series Methods and Computer Aided Analysis», *Energy, Environment and Storage*, vol. 4, n. 1, pp. 25–31, Jan. 2024, doi: 10.52924/podw1839.
- [33] C. Mao, J. C. Baltazar, e J. S. Haberl, «Comparison of ASHRAE peak cooling load calculation methods», *Sci Technol Built Environ*, vol. 25, n. 2, pp. 189–208, Fev. 2019, doi: 10.1080/23744731.2018.1510240.
- [34] S. J. Rees, J. D. Spitler, M. G. Davies, e P. Haves, «Qualitative comparison of North American and U.K. Cooling load calculation methods», *HVAC and R Research*, vol. 6, n. 1, pp. 75–99, 2000, doi: 10.1080/10789669.2000.10391251.
- [35] S. J. Rees, J. D. Spitler, e P. Haves, «Quantitative Comparison of North American and U.K. Cooling Load Calculation Procedures—Results», *ASHRAE Transactions*, vol. 104, pp. 47–61, 1998.
- [36] D. van Dijk, «EN ISO 52016-1: The new international standard to calculate building energy needs for heating and cooling, internal temperatures and heating and cooling load», em *Building Simulation Conference Proceedings*, International Building Performance Simulation Association, 2019, pp. 4061–4068. doi: 10.26868/25222708.2019.211405.
- [37] C. Ghiaus e I. Hazyuk, «Calculation of optimal thermal load of intermittently heated buildings», *Energy Build*, vol. 42, n. 8, pp. 1248–1258, 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.02.017.
- [38] P. Andrii, K. Z. Mykhailo, M. Inna, B. Viktoriya, Z. Yurii, e N. Andrii, «Comparative Analysis of Methods for Calculating Building Energy Performance», em *Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. doi: 10.1109/MEES52427.2021.9598640.
- [39] D. Zhu, T. Hong, D. Yan, e C. Wang, «A detailed loads comparison of three building energy modeling programs: EnergyPlus, DeST and DOE-2.1E», *Build Simul*, vol. 6, n. 3, pp. 323–335, Set. 2013, doi: 10.1007/s12273-013-0126-7.
- [40] ADENE, «Edifícios». Acedido: 23 de abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.adene.pt/edificios/>

- [41] USGBC, «LEED Certification». Acedido: 11 de maio de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.usgbc.org/leed>
- [42] Y. He, Y. Chen, Z. Chen, Z. Deng, e Y. Yuan, «Impacts of Occupant Behavior on Building Energy Consumption and Energy Savings Analysis of Upgrading ASHRAE 90.1 Energy Efficiency Standards», *Buildings*, vol. 12, n. 8, Ago. 2022, doi: 10.3390/buildings12081108.
- [43] R. Hart e B. Liu, «Methodology for Evaluating Cost-effectiveness of Commercial Energy Code Changes», 2015.
- [44] A. P. Melo, M. J. Sorgato, e R. Lamberts, «Building energy performance assessment: Comparison between ASHRAE standard 90.1 and Brazilian regulation», *Energy Build*, vol. 70, pp. 372–383, Fev. 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.11.080.
- [45] D. van Dijk e J. Hogeling, «Report on Case Study to EN ISO 52016-1 – Heating and cooling needs and internal temperatures», Rotterdam, out. 2021.
- [46] J. P. Carvalho, M. Almeida, L. Bragança, e R. Mateus, «Bim-based energy analysis and sustainability assessment—application to portuguese buildings», *Buildings*, vol. 11, n. 6, 2021, doi: 10.3390/buildings11060246.
- [47] DOE, «About Building Energy Modeling». Acedido: 31 de maio de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/about-building-energy-modeling>
- [48] Amir Roth, «DOE ASHRAE 140». Acedido: 13 de maio de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/ashrae-standard-140-maintenance-and-development>
- [49] ASHRAE, «ANSI/ASHRAE Addendum a to ANSI/ASHRAE Standard 140-2017-"Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs"», 2020. [Em linha]. Disponível em: www.ashrae.org
- [50] ASHRAE, «ASHRAE 140-"Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs"». Acedido: 14 de maio de 2024. [Em linha]. Disponível em: https://ashrae.iwrapper.com/ASHRAE_PREVIEW_ONLY_STANDARDS/STD_140_2023
- [51] ASHRAE, «ASHRAE Guideline 14 - "Measurement of Energy and Demand Savings", 2002», 2002.
- [52] Integrated Environmental Solutions, «IES.VE HOMEPAGE». Acedido: 31 de maio de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.iesve.com/software/virtual-environment>
- [53] L. Buckley, «Tax Deduction Qualified Software for buildings placed in service on or after January 1, 2016 - IES Virtual Environment 2023», 2023. [Em linha]. Disponível em: www.iesve.com
- [54] Integrated Environmental Solutions, «IES Software Validation». Acedido: 31 de Maio de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.iesve.com/software/software-validation>
- [55] Autodesk, «How did Revit get its name?» Acedido: 31 de maio de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/How-did-Revit-get-its-name.html>
- [56] Diário da República, *Portaria n.º 138-1/2021*. Diário da República, 2021.
- [57] «Peritos Qualificados». Acedido: 16 de maio de 2024. [Em linha]. Disponível em: PTNZEB 2.5
- [58] Peritos Qualificados, «Peritos Qualificados». Acedido: 14 de maio de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://profissionais.peritosqualificados.pt/Home/Dashboard>
- [59] Diário da República, *Despacho n.º 6476-H/2021*. Diário da República, pp. 330–66.
- [60] Diário da República, *Decreto-Lei n.º 79/2006 - RSECE*. DIÁRIO DA REPÚBLICA, 2006.

Referências

- [61] L. Socal e J. Hogeling, «Report on Case Study to EN 16798-1 Conditions of use».
- [62] «EnergyPlus Weather Data». Acedido: 14 de junho de 2024. [Em linha]. Disponível em: https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/PRT
- [63] «EnergyPlus™ Version 24.1.0 Documentation Engineering Reference», 2024.
- [64] «EnergyPlus™ Input Output Reference», 2021.
- [65] AUTODESK, «Variable Refrigerant Flow Loop». Acedido: 8 de setembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/ENU/?guid=GUID-B5B57BE7-4FF3-46F1-BD01-A7BD3FC9121A>

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: André Filipe Miranda da Silva

ISEP, Porto, 14 de setembro de 2024

Apêndice A

Elementos Construtivos PTnZEB_SCE2.5

Parede exterior

| COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL DE PAREDES | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------------|
| Biblioteca | A descrição excide a máximo permitido de 1024 caracteres? | Esp. [m] | R _{tot} [(m ² ·°C)/W] | Descrição | m [kg/m ³] |
| | Resistência térmica superficial exterior - R_{se} | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,015 | 0,012 | | 27 |
| Reboco tradicional de cimento ou cal, com massa volúmica aparente seca compreendida entre 1800 kg/m ³ e 2000 kg/m ³ | | | | | |
| Materiais heterogêneos (genéricos) | | 0,110 | 0,270 | | 140 |
| Pano simples de alvenaria "tijolo cerâmico furado (normal)" com espessura de 0,11 m | | | | | |
| PLASTMAR (EPS) | | 0,040 | 1,111 | | 1 |
| PLASTMAR (EPS 100) 40 mm, 20 kg/m ³ , lambda=0,036 W/(m·°C), 2000x1000x40 mm | | | | | |
| Espaços de ar não ventilados | | 0,010 | 0,170 | | 0 |
| Espaço de ar não ventilado com espessura de 1,5 cm (fluxo horizontal) | | | | | |
| Materiais heterogêneos (genéricos) | | 0,110 | 0,270 | | 140 |
| Pano simples de alvenaria "tijolo cerâmico furado (normal)" com espessura de 0,11 m | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,015 | 0,012 | | 27 |
| Reboco tradicional de cimento ou cal, com massa volúmica aparente seca compreendida entre 1800 kg/m ³ e 2000 kg/m ³ | | | | | |

Paredes Interiores

| Definição do elemento por camadas | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------------|
| Biblioteca | Camadas | Esp. [m] | R _{tot} [(m ² ·°C)/W] | Descrição | m [kg/m ³] |
| | Resistência térmica superficial exterior - R_{se} | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,045 | 0,180 | | 34 |
| Placas de gesso cartonado, com massa volúmica aparente seca compreendida entre 750 kg/m ³ e 1000 kg/m ³ | | | | | |
| Espaços de ar não ventilados | | 0,015 | 0,170 | | 0 |
| Espaço de ar não ventilado com espessura de 1,5 cm (fluxo horizontal) | | | | | |
| Materiais heterogêneos (genéricos) | | 0,110 | 0,130 | | 240 |
| Pano simples de alvenaria "tijolo cerâmico maciço" com espessura de 0,11 m | | | | | |
| Espaços de ar não ventilados | | 0,015 | 0,170 | | 0 |
| Espaço de ar não ventilado com espessura de 1,5 cm (fluxo horizontal) | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,045 | 0,180 | | 34 |
| Placas de gesso cartonado, com massa volúmica aparente seca compreendida entre 750 kg/m ³ e 1000 kg/m ³ | | | | | |

Apêndice A

Pavimentos Base

| Soluções construtivas por defeito | | | | | |
|--|---|----------|--------------------------------|-----------|------------------------|
| Pavimento em contacto com o solo com R_f inferior a 0,75 [(m ² ·°C)/W] | | | | | |
| Definição do elemento por camadas | | | | | |
| Biblioteca | A descrição excede o máximo permitido de 1024 caracteres! | Esp. (m) | R_f [(m ² ·°C)/W] | Descrição | m (kg/m ³) |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,020 | 0,007 | | 50 |
| Pedra natural "granito", incluindo juntas de assentamento, com massa volúmica aparente seca compreendida entre 2500 kg/m ³ e 2700 kg/m ³ | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,050 | 0,025 | | 115 |
| Betão de inertes correntes (calcários, siliciosos e sílico-calcários) "betão normal", com massa volúmica aparente seca compreendida entre 2300 kg/m ³ e 2600 kg/m ³ | | | | | |
| Isolamentos térmicos (genéricos) | | 0,050 | 1,351 | | 1 |
| (XPS) Isolamento térmico em "poliestireno extrudido", com massa volúmica aparente seca compreendida entre 25 kg/m ³ e 40 kg/m ³ | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,150 | 0,075 | | 345 |
| Betão armado de inertes correntes (calcários, siliciosos e sílico-calcários) "betão estrutural", com massa volúmica aparente seca compreendida entre 2300 kg/m ³ e 2400 kg/m ³ | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,150 | 0,075 | | 255 |
| Inertes "areia, gravilha, seixo, brita", com massa volúmica aparente seca compreendida entre 1700 kg/m ³ e 2200 kg/m ³ | | | | | |

Pavimentos Intermédios

| Biblioteca | A descrição excede o máximo permitido de 1024 caracteres! | Esp. (m) | R_{tot} [(m ² ·°C)/W] | Descrição | m (kg/m ³) |
|--|---|----------|------------------------------------|-----------|------------------------|
| Resistência térmica superficial interior - R_{si} | | | | | |
| | | | 0,170 | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,020 | 0,007 | | 50 |
| Pedra natural "granito", incluindo juntas de assentamento, com massa volúmica aparente seca compreendida entre 2500 kg/m ³ e 2700 kg/m ³ | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,040 | 0,031 | | 72 |
| Reboco tradicional de cimento ou cal, com massa volúmica aparente seca compreendida entre 1800 kg/m ³ e 2000 kg/m ³ | | | | | |
| Isolamentos térmicos (genéricos) | | 0,030 | 0,750 | | 1 |
| (MW) Isolamento térmico em "lã de rocha", com massa volúmica aparente seca compreendida entre 35 kg/m ³ e 100 kg/m ³ | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,050 | 0,179 | | 40 |
| Betão de inertes de poliestireno expandido, com massa volúmica aparente seca de 800 kg/m ³ | | | | | |
| Isolamentos térmicos (genéricos) | | 0,100 | 2,703 | | 3 |
| (XPS) Isolamento térmico em "poliestireno extrudido", com massa volúmica aparente seca compreendida entre 25 kg/m ³ e 40 kg/m ³ | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,200 | 0,100 | | 460 |
| Betão armado de inertes correntes (calcários, siliciosos e sílico-calcários) "betão estrutural", com massa volúmica aparente seca compreendida entre 2300 kg/m ³ e 2400 kg/m ³ | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,015 | 0,027 | | 18 |
| Gesso estuque projetado, estuque fino sem inertes, com massa volúmica aparente seca compreendida entre 1200 kg/m ³ e 1500 kg/m ³ | | | | | |

Coberturas

| Biblioteca | A descrição excede o máximo permitido de 1024 caracteres! | Esp. (m) | R_{tot} [(m ² ·°C)/W] | Descrição | m (kg/m ³) |
|--|---|----------|------------------------------------|-----------|------------------------|
| Resistência térmica superficial exterior - R_{se} | | | | | |
| | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,010 | 0,008 | | 23 |
| Cerâmica vidrada/grês cerâmico, com massa volúmica aparente seca de 2300 kg/m ³ | | | | | |
| DANOSA (XPS) | | 0,080 | 2,150 | | 32 |
| DANOPREN TR-P 80 mm (XPS) com juntas perimetrais em "meia-madeira", $\lambda_{0,037}$ W/(m·°C) | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,100 | 0,118 | | 140 |
| Betão armado de inertes de argila expandida "betão estrutural", com massa volúmica aparente seca compreendida entre 1400 kg/m ³ e 1600 kg/m ³ | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,200 | 0,100 | | 460 |
| Betão armado de inertes correntes (calcários, siliciosos e sílico-calcários) "betão estrutural", com massa volúmica aparente seca compreendida entre 2300 kg/m ³ e 2400 kg/m ³ | | | | | |
| Materiais homogêneos (genéricos) | | 0,015 | 0,012 | | 27 |
| Reboco tradicional de cimento ou cal, com massa volúmica aparente seca compreendida entre 1800 kg/m ³ e 2000 kg/m ³ | | | | | |

Apêndice A

Portas

COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL DE PORTAS

Portas.

São consideradas portas opacas aquelas que apresentem uma área envidraçada inferior a 25% da sua área total.

| Designação do elemento | Tipo de envolvente | Descrição | U [W/(m ² ·C)] |
|------------------------|--------------------|--|------------------------------|
| PrtE1 | exterior | Porta de metal, com painéis metálicos com núcleo isolante(solução construtiva expectável). | 4,50 |
| PrtI1 | interior | Porta de metal, com painéis metálicos com núcleo isolante(solução construtiva expectável). | 3,20 |

Envidraçados Exteriores

| | | | |
|--|--|---|-----------------------------------|
| Posição | vertical | Fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado ($g_{t,vi}$) | 0,78 |
| Composição | simples | Fator solar do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar permanentes totalmente ativados ($g_{tot,p}$) | 0,77 |
| Ocupação noturna | importante | Fator solar do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar totalmente ativados (g_{tot}) | 0,07 |
| Vidro plano? | sim | Fração envidraçada (F_g) | 0,65 |
| | | Coefficiente de transmissão térmica do vão envidraçado não considerando dispositivos de proteção solar (U_w) [W/(m ² ·°C)] | 2,7 |
| | | Coefficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite (U_{wDN}) [W/(m ² ·°C)] | 2,7 |
| face em contacto com o exterior | | | |
| Proteção permanente | existe | F. red (%) | 1 |
| Proteção móvel exterior | genérica | Portada de lâminas reguláveis | Cor média |
| Descrição personalizada | | | ΔR [m ² ·°C/W] |
| Descrição | O sistema de proteção solar é constituído por 'Portada de lâminas reguláveis', de cor 'média' (proteção móvel exterior). | | |
| Caixilharia 1 (solução) | genérica | PVC, sistema de abertura fixa, giratória ou de correr | Quadrícula não |
| Descrição personalizada | | | U_w [W/(m ² ·°C)] |
| Descrição | PVC, sistema de abertura fixa, giratória ou de correr, sem quadrícula. | | |
| Vidro 1 (solução) | genérica | Vidro duplo (incolores 4 a 8 mm, câmara de 16 mm (ar), incolores 4 mm) | $g_{L,vi}$ 0,78 |
| Descrição personalizada | | | $g_{L,vi}$ |
| Descrição | Vidro duplo (incolores 4 a 8 mm, câmara de 16 mm (ar), incolores 4 mm). | | |

Elementos Construtivos Revit

Parede Exterior

Edit Assembly ✕

Family: Basic Wall
 Type: ParE1
 Total thickness: 300.0 (Default) Sample Height:
 Resistance (R): 1.8509 (m²·K)/W
 Thermal Mass: 269.25 kJ/(m²·K)

Layers

| EXTERIOR SIDE | | | | | | |
|---------------|-----------------------|--------------------------|------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | Function | Material | Thickness | Wraps | Structural Material | Variable |
| 1 | Finish 1 [4] | Reboco | 15.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 | Core Boundary | Layers Above Wrap | 0.0 | | | |
| 3 | Substrate [2] | Tijolo 0.11m | 110.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 | Thermal/Air Layer [3] | PLASTMAR | 40.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5 | Thermal/Air Layer [3] | Air Infiltration Barrier | 10.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6 | Structure [1] | Tijolo 0.11m | 110.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7 | Core Boundary | Layers Below Wrap | 0.0 | | | |
| 8 | Finish 2 [5] | Reboco | 15.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Apêndice A

Parede Interior

Family: Basic Wall
 Type: Par11
 Total thickness: 160.0 (Default)
 Resistance (R): 0.8310 (m²·K)/W
 Thermal Mass: 146.89 kJ/(m²·K)

Sample Height: 6000.0

Layers

| EXTERIOR SIDE | | | | | | |
|---------------|----------------------|--------------------------|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | Function | Material | Thickness | Wraps | Structural Material | Variable |
| 1 | Finish 2 [5] | Gesso Cartonado | 10.0 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 | Finish 2 [5] | Air Infiltration Barrier | 15.0 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3 | Core Boundary | Layers Above Wrap | 0.0 | | | |
| 4 | Structure [1] | Tijolo 0.11m | 110.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5 | Core Boundary | Layers Below Wrap | 0.0 | | | |
| 6 | Finish 2 [5] | Air Infiltration Barrier | 15.0 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7 | Finish 2 [5] | Gesso Cartonado | 10.0 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Pavimento Base

Family: Floor
 Type: PavS1
 Total thickness: 420.0 (Default)
 Resistance (R): 1.5710 (m²·K)/W
 Thermal Mass: 732.87 kJ/(m²·K)

Layers

| | Function | Material | Thickness | Wraps | Structural Material | Variable |
|---|-----------------------|--------------------------|------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 1 | Core Boundary | Layers Above Wrap | 0.0 | | | |
| 2 | Substrate [2] | Inertes | 150.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3 | Structure [1] | BETAO | 150.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 | Thermal/Air Layer [3] | PLASTMAR | 50.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5 | Core Boundary | Layers Below Wrap | 0.0 | | | |
| 6 | Substrate [2] | BETAO inertes | 50.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7 | Finish 1 [4] | Pedra Natural | 20.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Cobertura

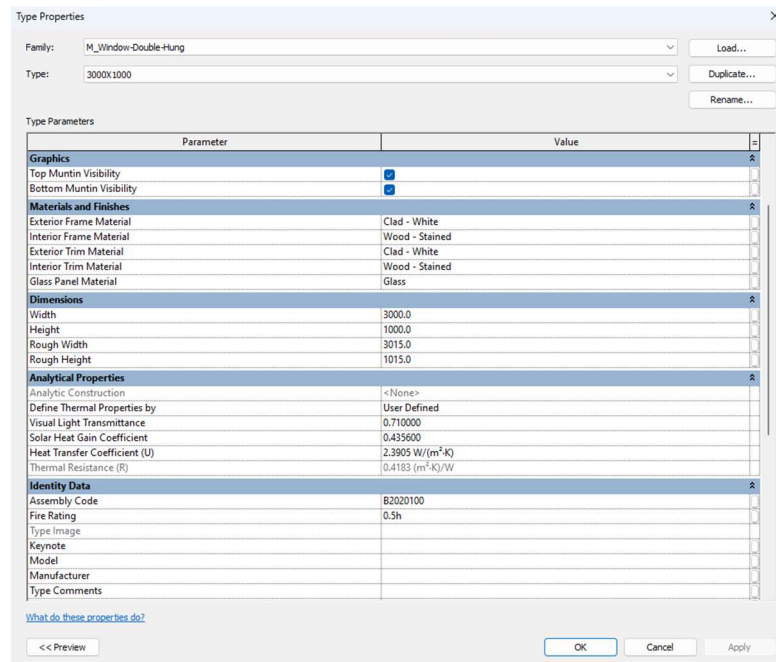
Family: Basic Roof
 Type: CobE1
 Total thickness: 405.0 (Default)
 Resistance (R): 2.3990 (m²·K)/W
 Thermal Mass: 777.99 kJ/(m²·K)

Layers

| | Function | Material | Thickness | Wraps | Structural Material | Variable |
|---|-----------------------|--------------------------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Finish 1 [4] | Ceramica/gres | 10.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 | Thermal/Air Layer [3] | DANOSA | 80.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3 | Core Boundary | Layers Above Wrap | 0.0 | | | |
| 4 | Substrate [2] | BETAO LEVE | 100.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5 | Substrate [2] | BETAO | 200.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6 | Core Boundary | Layers Below Wrap | 0.0 | | | |
| 7 | Substrate [2] | Reboco | 15.0 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

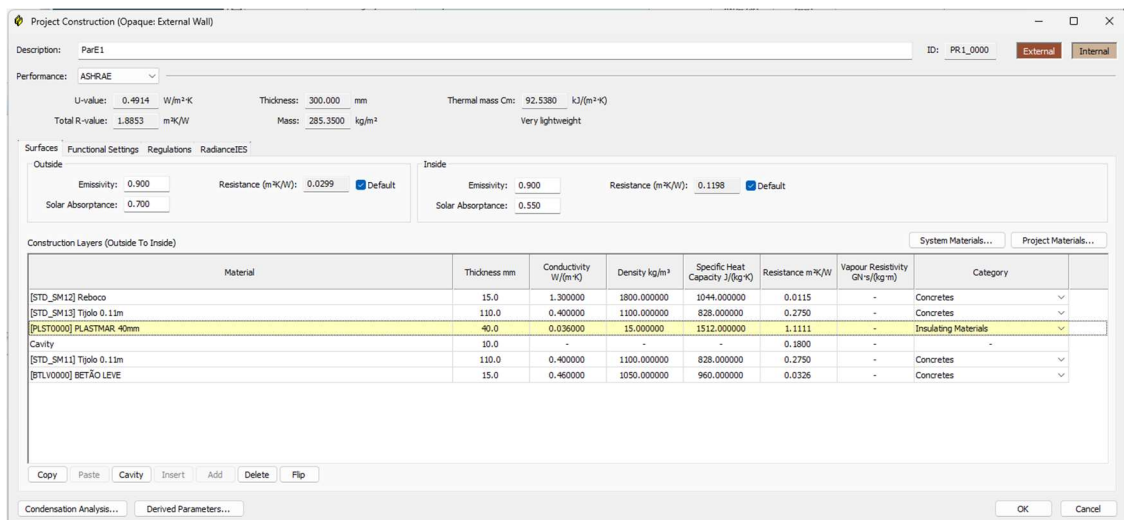
Apêndice A

Envidraçados



Elementos Construtivos IES.VE

Parede Exterior



Apêndice A

Parede Interior

Project Construction (Opaque: Internal Partition)

Description: Par11 ID: STD_PART External Internal

Performance: ASHRAE

U-value: 0.9166 W/m²·K Thickness: 149.000 mm Thermal mass Cm: 0.0000 kJ/(m²·K)
 Total R-value: 0.8310 m²·K/W Mass: 226.7500 kg/m² Very lightweight

Surfaces Regulations RadianceIES

Outside: Emissivity: 0.900 Resistance (m²·K/W): 0.1300 Default
 Solar Absorptance: 0.550

Inside: Emissivity: 0.900 Resistance (m²·K/W): 0.1300 Default
 Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

| Material | Thickness mm | Conductivity W/(m·K) | Density kg/m ³ | Specific Heat Capacity J/(kg·K) | Resistance m ² ·K/W | Vapour Resistivity GN·s/(kg·m) | Category |
|----------------------------|--------------|----------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| [STD_US21] Gesso Cartonado | 4.5 | 0.025000 | 750.000000 | 1000.000000 | 0.1800 | 0.000 | Plaster |
| Cavity | 15.0 | - | - | - | 0.1700 | - | - |
| [STD_US3] Tijolo | 110.0 | 0.840000 | 2000.000000 | 828.000000 | 0.1310 | 0.000 | Brick & Blockwork |
| Cavity | 15.0 | - | - | - | 0.1700 | - | - |
| [STD_US22] Gesso Cartonado | 4.5 | 0.025000 | 750.000000 | 1000.000000 | 0.1800 | 0.000 | Plaster |

Condensation Analysis... Derived Parameters... OK Cancel

Pavimento Base

Project Construction (Opaque: Ground/Exposed Floor)

Description: Pav1 ID: STD_FLO2 External Internal

Performance: ASHRAE

U-value: 0.5796 W/m²·K Thickness: 420.000 mm Thermal mass Cm: 161.0000 kJ/(m²·K)
 Total R-value: 1.5335 m²·K/W Mass: 646.0000 kg/m² Mediumweight

Surfaces Functional Settings Regulations RadianceIES

Outside: Emissivity: 0.900 Resistance (m²·K/W): 0.0299 Default
 Solar Absorptance: 0.550

Inside: Emissivity: 0.900 Resistance (m²·K/W): 0.1620 Default
 Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

| Material | Thickness mm | Conductivity W/(m·K) | Density kg/m ³ | Specific Heat Capacity J/(kg·K) | Resistance m ² ·K/W | Vapour Resistivity GN·s/(kg·m) | Category |
|-----------------------------|--------------|----------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| [STD_PH12] Inertes | 150.0 | 2.000000 | 700.000000 | 1000.000000 | 0.0750 | - | Insulating Materials |
| [STD_CC2] Betão Armado | 150.0 | 2.000000 | 2300.000000 | 1000.000000 | 0.0750 | - | Concretes |
| [STD_PH1] XPS | 50.0 | 0.037000 | 700.000000 | 1000.000000 | 1.3514 | - | Insulating Materials |
| [STD_CC23] Betão de Inertes | 50.0 | 2.000000 | 2300.000000 | 1000.000000 | 0.0250 | - | Concretes |
| [STD_CC24] Pedra Natural | 20.0 | 2.800000 | 2300.000000 | 1000.000000 | 0.0071 | - | Concretes |

Condensation Analysis... Derived Parameters... OK Cancel

Cobertura

Project Construction (Opaque: Roof)

Description: Cob1 ID: STD_ROOF External Internal

Performance: ASHRAE

U-value: 0.3942 W/m²·K Thickness: 405.000 mm Thermal mass Cm: 28.2984 kJ/(m²·K)
 Total R-value: 2.3995 m²·K/W Mass: 338.8150 kg/m² Very lightweight

Surfaces Regulations RadianceIES

Outside: Emissivity: 0.900 Resistance (m²·K/W): 0.0299 Default
 Solar Absorptance: 0.700

Inside: Emissivity: 0.900 Resistance (m²·K/W): 0.1074 Default
 Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

| Material | Thickness mm | Conductivity W/(m·K) | Density kg/m ³ | Specific Heat Capacity J/(kg·K) | Resistance m ² ·K/W | Vapour Resistivity GN·s/(kg·m) | Category |
|-----------------------|--------------|----------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| [STD_PHF] ceramica | 10.0 | 1.300000 | 1800.000000 | 1044.000000 | 0.0077 | - | Insulating Materials |
| [STD_MEM] DANOSA XPS | 80.0 | 0.037000 | 2400.000000 | 972.000000 | 2.1622 | - | Asphalts & Other Roofing |
| [STD_SM14] BETÃO LEVE | 100.0 | 0.850000 | 1050.000000 | 960.000000 | 0.1176 | - | Concretes |
| [STD_CC1] BETÃO | 200.0 | 2.000000 | 35.000000 | 1260.000000 | 0.1000 | - | Concretes |
| [STD_US51] REBOCO | 15.0 | 1.250000 | 1121.000000 | 1460.000000 | 0.0120 | 0.000 | Plaster |

Condensation Analysis... Derived Parameters... OK Cancel

Apêndice A

Envidraçados

Project Construction (Glazed: External Window)

Description: ID:

Performance:

Net U-value (including frame): W/m²·K U-value (glass only): W/m²·K Total shading coefficient: SHGC (center-pane):

Net R-value: m²·K/W g-value (EN 410): Visible light normal transmittance:

Surfaces:

Outside: Emissivity: Resistance (m²·K/W): Default

Inside: Emissivity: Resistance (m²·K/W): Default

Construction Layers (Outside to Inside):

| Material | Thickness mm | Conductivity W/(m·K) | Angular Dependence | Gas | Convection Coefficient W/m ² ·K | Resistance m ² ·K/W | Transmittance | Outside Reflectance | Inside Reflectance | Refractive Index | Outside Emissivity | Inside Emissivity | Visible Light Specified |
|----------------------|--------------|----------------------|--------------------|-----|--|--------------------------------|---------------|---------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|
| [STD_EXW] Outer Pane | 8.0 | 3.0000 | Fresnel | - | - | 0.0027 | 0.400 | 0.400 | 0.450 | 1.526 | 1.000 | 0.100 | No |
| Cavity | 10.0 | - | - | - | 3.0000 | 0.2846 | - | - | - | - | - | - | - |
| [STD_INW] Inner Pane | 4.0 | 3.0000 | Fresnel | - | - | 0.0013 | 0.780 | 0.010 | 0.100 | 1.526 | 1.000 | 1.000 | No |

Apêndice B

Requisitos de ar novo para o caso de estudo 3, segundo a ASHRAE 62.1.

Tabela 45 - Taxa de Ocupação dos espaços do edifício do caso de estudo 3

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Requisito ASHRAE 62.1 (pessoa/m ²) |
|---------------|-----------------------------|----------------------|--|
| 1 | Lobby | 146 m ² | 0.3 |
| 2 | Conference Room | 327 m ² | 0.5 |
| 3 | Reception | 42 m ² | 0.3 |
| 4 | Office 1 | 31 m ² | 0.05 |
| 5 | I.S. F 1 | 32 m ² | - |
| 6 | I.S. ACCESS 1 | 5 m ² | - |
| 7 | I.S. M 1 | 32 m ² | - |
| 8 | Office 2 | 31 m ² | 0.05 |
| 9 | Office 3 | 31 m ² | 0.05 |
| 10 | Meeting Room 1 | 52 m ² | 0.05 |
| 11 | Open Space Office 1 | 125 m ² | 0.05 |
| 12 | Open Space Office 2 | 168 m ² | 0.05 |
| 13 | Canteen | 426m ² | 1 |
| 14 | Warehouse | 147 m ² | - |
| 15 | Process Area | 12208 m ² | 0.07 |
| 16 | I.S. F 2 | 138 m ² | - |
| 17 | I.S. ACCESS 2 | 5 m ² | - |
| 18 | I.S. ACCESS 3 | 5 m ² | - |
| 19 | I.S. M 2 | 138 m ² | - |
| 20 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 370 m ² | - |
| 21 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 367 m ² | - |
| 22 | PROCESS AREA 2 | 13388 m ² | 0.07 |
| 23 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² | - |
| 24 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² | - |

Apêndice B

| | | | |
|-----------|--------------|--------------------|------|
| 25 | IS. F 3 | 138 m ² | - |
| 26 | IS. ACCESS 4 | 5 m ² | - |
| 27 | IS. ACCESS 5 | 5 m ² | - |
| 28 | IS.M 3 | 138 m ² | - |
| 29 | OFFICE 4 | 220 m ² | 0.05 |
| 30 | LABORATORY | 221 m ² | 0.25 |

Tabela 46 - Caudal de ara novo pelo critério da ocupação do espaço

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Pé-Direito | Requisito ASHRAE 62.1 (l/s·pessoa) |
|----------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|---|
| 1 | Lobby | 146 m ² | 4 m | 2.5 |
| 2 | Conference Room | 327 m ² | 4 m | 2.5 |
| 3 | Reception | 42 m ² | 4 m | 2.5 |
| 4 | Office 1 | 31 m ² | 4 m | 2.5 |
| 5 | I.S. F 1 | 32 m ² | 4 m | - |
| 6 | I.S. ACCESS 1 | 5 m ² | 4 m | - |
| 7 | I.S. M 1 | 32 m ² | 4 m | 2.5 |
| 8 | Office 2 | 31 m ² | 4 m | 2.5 |
| 9 | Office 3 | 31 m ² | 4 m | 2.5 |
| 10 | Meeting Room 1 | 52 m ² | 4 m | 2.5 |
| 11 | Open Space Office 1 | 125 m ² | 4 m | 2.5 |
| 12 | Open Space Office 2 | 168 m ² | 4 m | 2.5 |
| 13 | Canteen | 426m ² | 4 m | 3.8 |
| 14 | Warehouse | 147 m ² | 4 m | - |
| 15 | Process Area | 12208 m ² | 4 m | 5 |
| 16 | I.S. F 2 | 138 m ² | 4 m | - |
| 17 | I.S. ACCESS 2 | 5 m ² | 4 m | - |
| 18 | I.S. ACCESS 3 | 5 m ² | 4 m | - |
| 19 | I.S. M 2 | 138 m ² | 4 m | - |
| 20 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 370 m ² | 4 m | - |
| 21 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 367 m ² | 4 m | - |
| 22 | PROCESS AREA 2 | 13388 m ² | 4 m | 5 |
| 23 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² | 4 m | - |

| | | | | |
|-----------|-----------------------------|--------------------|-----|-----|
| 24 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² | 4 m | - |
| 25 | IS. F 3 | 138 m ² | 4 m | - |
| 26 | IS. ACCESS 4 | 5 m ² | 4 m | - |
| 27 | IS. ACCESS 5 | 5 m ² | 4 m | - |
| 28 | IS.M 3 | 138 m ² | 4 m | - |
| 29 | OFFICE 4 | 220 m ² | 4 m | 2.5 |
| 30 | LABORATORY | 221 m ² | 4 m | 5 |

Tabela 47 - Caudal de ar novo pelo critério da área do espaço

| Nº da Divisão | Nome da Divisão | Área | Pé-Direito | Requisito ASHRAE 62.1 (l/s·m²) |
|----------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|--|
| 1 | Lobby | 146 m ² | 4 m | 0.3 |
| 2 | Conference Room | 327 m ² | 4 m | 0.3 |
| 3 | Reception | 42 m ² | 4 m | 0.3 |
| 4 | Office 1 | 31 m ² | 4 m | 0.3 |
| 5 | I.S. F 1 | 32 m ² | 4 m | - |
| 6 | I.S. ACESS 1 | 5 m ² | 4 m | - |
| 7 | I.S. M 1 | 32 m ² | 4 m | - |
| 8 | Office 2 | 31 m ² | 4 m | 0.3 |
| 9 | Office 3 | 31 m ² | 4 m | 0.3 |
| 10 | Meeting Room 1 | 52 m ² | 4 m | 0.3 |
| 11 | Open Space Office 1 | 125 m ² | 4 m | 0.3 |
| 12 | Open Space Office 2 | 168 m ² | 4 m | 0.3 |
| 13 | Canteen | 426m ² | 4 m | 0.9 |
| 14 | Warehouse | 147 m ² | 4 m | 0.3 |
| 15 | Process Area | 12208 m ² | 4 m | 0.9 |
| 16 | I.S. F 2 | 138 m ² | 4 m | - |
| 17 | I.S. ACESS 2 | 5 m ² | 4 m | - |
| 18 | I.S. ACESS 3 | 5 m ² | 4 m | - |
| 19 | I.S. M 2 | 138 m ² | 4 m | - |
| 20 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 370 m ² | 4 m | 2.5 |
| 21 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-1 | 367 m ² | 4 m | 2.5 |
| 22 | PROCESS AREA 2 | 13388 m ² | 4 m | 0.9 |

Apêndice B

| | | | | |
|-----------|-----------------------------------|--------------------|-----|-----|
| 23 | MALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² | 4 m | 2.5 |
| 24 | FEMALE LOCKER/SHOWER ROOM-2 | 368 m ² | 4 m | 2.5 |
| 25 | IS. F 3 | 138 m ² | 4 m | - |
| 26 | IS. ACCESS 4 | 5 m ² | 4 m | - |
| 27 | IS. ACCESS 5 | 5 m ² | 4 m | - |
| 28 | IS.M 3 | 138 m ² | 4 m | - |
| 29 | OFFICE 4 | 220 m ² | 4 m | 0.3 |
| 30 | LABORATORY | 221 m ² | 4 m | 0.9 |
| | | | | |

Apêndice C

Ganhos Internos.

Ganhos Internos por tipo de espaço:

| Space Type | Area per Person (m ²) | Latent Heat Gain per person | Sensible Heat Gain per person | Specified Lighting Load per area | Specified Power Load per area |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Active Storage | 46,45 | 70,34 | 74,73 | 8,61 | 3,23 |
| Conference Meeting/Multipurpose | 2,32 | 45,43 | 70,34 | 13,99 | 5,38 |
| Detailed - Manufacturing Facility | 4,65 | 184,63 | 80,59 | 22,60 | 21,53 |
| Food Preparation | 4,65 | 80,59 | 80,59 | 12,92 | 16,15 |
| Laboratory - Office | 11,61 | 70,34 | 74,73 | 15,07 | 10,76 |
| Lobby | 2,32 | 45,43 | 70,34 | 13,99 | 2,69 |
| Office - Enclosed | 11,61 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 10,76 |
| Office - Open Plan | 20,00 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 16,15 |
| Restrooms | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| Locker | 92,90 | 58,61 | 73,27 | 9,69 | 3,23 |
| Dining Area - Family Dining | 2,32 | 29,31 | 64,48 | 22,60 | 5,81 |
| Dormitory Bedroom | 6,97 | 29,31 | 64,47 | 10,76 | 2,69 |
| Laundry - Ironing and Sorting | 11,61 | 80,60 | 80,60 | 6,46 | 16,15 |
| Corridor/Transition | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,38 | 3,23 |
| Lounge/Recreation | 2,32 | 29,31 | 64,48 | 12,95 | 2,69 |

Apêndice C

Ganhos Internos Caso de estudo 1

| Division | Area per Person | Latent Heat Gain per person | Sensible Heat Gain per person | Specified Lighting Load per area | Specified Power Load per area |
|-----------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1 | 2,32 | 64,48 | 29,31 | 22,60 | 5,81 |
| 2 | 11,61 | 80,60 | 80,60 | 6,46 | 16,15 |
| 3 | 6,97 | 64,47 | 29,31 | 10,76 | 2,69 |
| 4 | 6,97 | 64,47 | 29,31 | 10,76 | 2,69 |
| 5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 7 | 2,32 | 70,33 | 45,43 | 13,99 | 2,69 |

Ganhos Internos Caso de estudo 2

| Division | Area per Person | Latent Heat Gain per person | Sensible Heat Gain per person | Specified Lighting Load per area | Specified Power Load per area |
|-----------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 2 | 11,61 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 10,76 |
| 3 | 2,32 | 45,43 | 70,34 | 13,99 | 5,38 |
| 4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,38 | 3,23 |
| 5 | 11,61 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 10,76 |
| 6 | 11,61 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 10,76 |
| 7 | 11,61 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 10,76 |
| 8 | 2,32 | 29,31 | 64,48 | 12,95 | 2,69 |
| 9 | 46,45 | 70,74 | 74,73 | 8,61 | 3,23 |
| 10 | 2,32 | 29,31 | 64,48 | 12,95 | 2,69 |

Ganhos Internos Caso de estudo 3

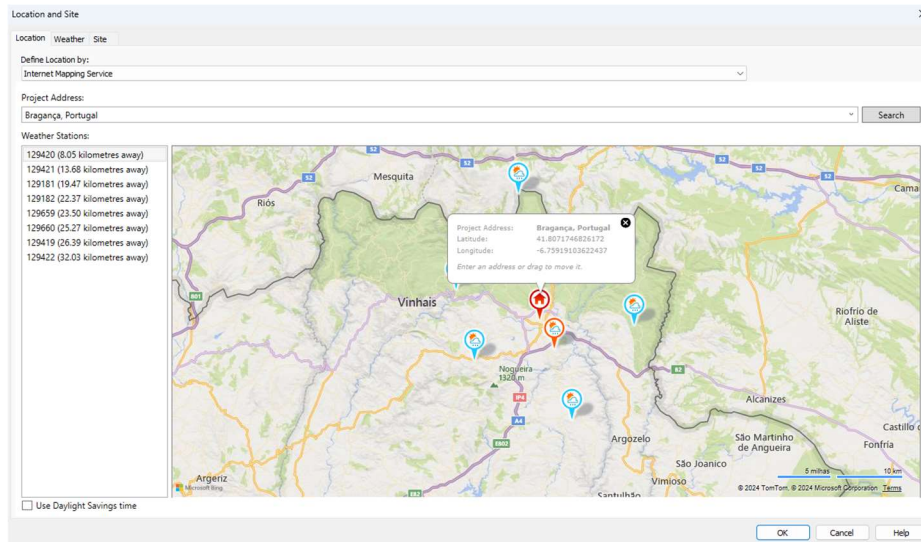
| Division | Area per Person | Latent Heat Gain per person | Sensible Heat Gain per person | Specified Lighting Load per area | Specified Power Load per area |
|-----------------|------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1 | 2,32 | 45,43 | 70,34 | 13,99 | 2,69 |
| 2 | 2,32 | 45,43 | 70,34 | 13,99 | 5,38 |
| 3 | 11,61 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 10,76 |
| 4 | 11,61 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 10,76 |
| 5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 8 | 11,61 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 10,76 |
| 9 | 11,61 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 10,76 |
| 10 | 11,61 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 10,76 |
| 11 | 20,00 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 16,15 |
| 12 | 20,00 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 16,15 |
| 13 | 4,65 | 80,59 | 80,59 | 12,92 | 16,15 |
| 14 | 46,45 | 70,34 | 74,73 | 8,61 | 3,23 |
| 15 | 4,65 | 184,63 | 80,59 | 22,60 | 21,53 |
| 16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 20 | 92,90 | 58,61 | 73,27 | 9,69 | 3,23 |
| 21 | 92,90 | 58,61 | 73,27 | 9,69 | 3,23 |
| 22 | 4,65 | 184,63 | 80,59 | 22,60 | 21,53 |
| 23 | 92,90 | 58,61 | 73,27 | 9,69 | 3,23 |
| 24 | 92,90 | 58,61 | 73,27 | 9,69 | 3,23 |
| 25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 28 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,69 | 3,23 |
| 29 | 11,61 | 58,61 | 73,27 | 11,84 | 10,76 |
| 30 | 11,61 | 70,34 | 74,73 | 15,07 | 10,76 |

Apêndice D

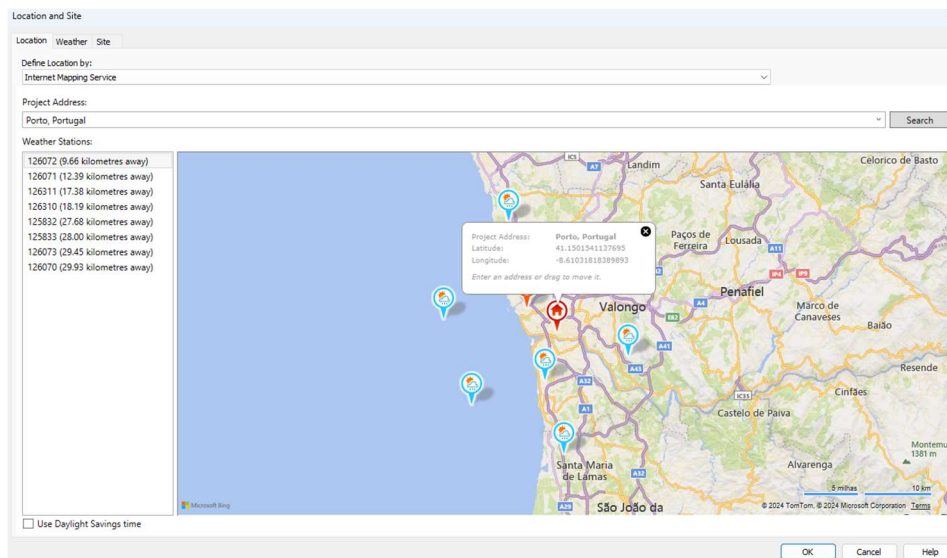
Localização

Revit

Caso de estudo 1

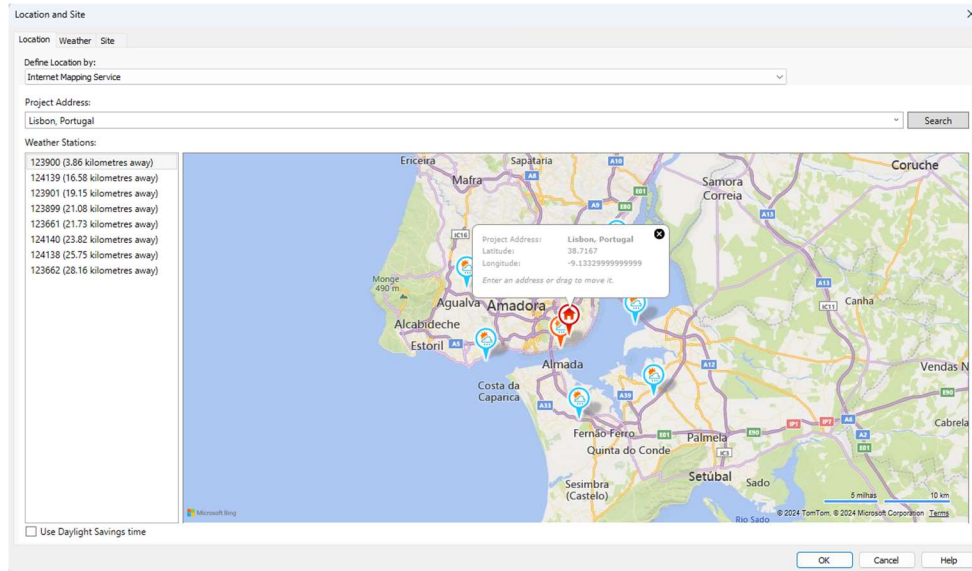


Caso de estudo 2



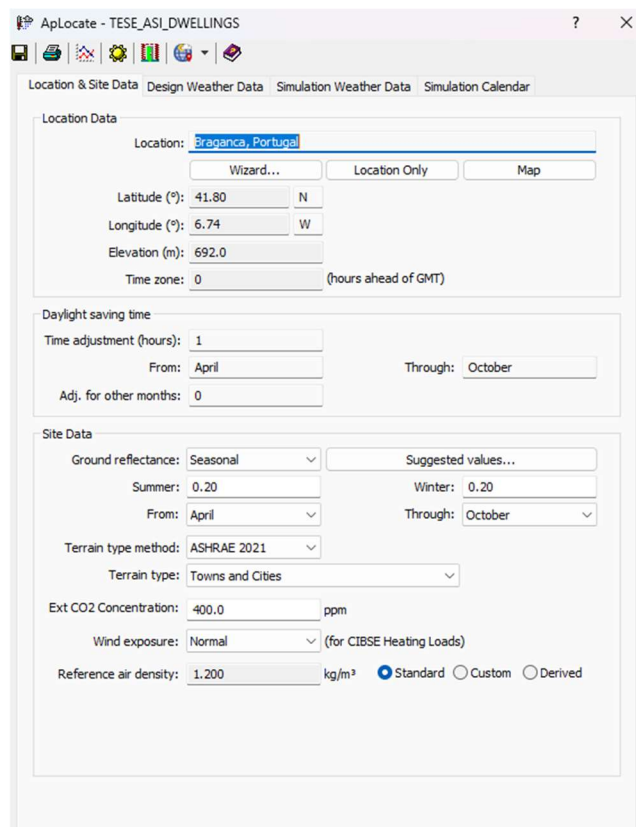
Apêndice D

Caso de estudo 3



IES.VE

Caso de estudo 1



Apêndice D

Caso de estudo 2

ApLocate - TESE_AS1_OFFICE

Location & Site Data | Design Weather Data | Simulation Weather Data | Simulation Calendar

Location Data

Location: Porto Ap, Portugal

Wizard... | Location Only | Map

Latitude (°): 41.23 N

Longitude (°): 8.68 W

Elevation (m): 70.0

Time zone: 0 (hours ahead of GMT)

Daylight saving time

Time adjustment (hours): 1

From: April Through: October

Adj. for other months: 0

Site Data

Ground reflectance: Seasonal Suggested values...

Summer: 0.20 Winter: 0.20

From: April Through: October

Terrain type method: ASHRAE 2001

Terrain type: Suburbs

Ext CO2 Concentration: 400.0 ppm

Wind exposure: Normal (for CIBSE Heating Loads)

Reference air density: 1.200 kg/m³ Standard Custom Derived

Caso de estudo 3

ApLocate - TESE_AS1_FACTORY

Location & Site Data | Design Weather Data | Simulation Weather Data | Simulation Calendar

Location Data

Location: Lisboa Gago Coutinho, Portugal

Wizard... | Location Only | Map

Latitude (°): 38.77 N

Longitude (°): 9.13 W

Elevation (m): 105.0

Time zone: 0 (hours ahead of GMT)

Daylight saving time

Time adjustment (hours): 1

From: April Through: October

Adj. for other months: 0

Site Data

Ground reflectance: Seasonal Suggested values...

Summer: 0.20 Winter: 0.20

From: April Through: October

Terrain type method: ASHRAE 2001

Terrain type: Suburbs

Ext CO2 Concentration: 400.0 ppm

Wind exposure: Normal (for CIBSE Heating Loads)

Reference air density: 1.200 kg/m³ Standard Custom Derived

Apêndice E

Definição dos valores de SCOP e SEER no IES.VE.

Caso de estudo 1

SCOP

The screenshot shows the 'Apache Systems' software interface. On the left, there is a list of system names under the heading 'Default? System Name'. The list includes 'Main system', 'Mini-VRV 1' (which has a green checkmark), and 'Mini-VRV 10' through 'Mini-VRV 32'. Below the list are buttons for 'Add', 'Remove', and 'Duplicate'. At the bottom of the list area, there is a note: '* - Applies to UK NCM only'. The main configuration area on the right is titled 'Name: Mini-VRV 1' and 'UK NCM type: Variable refrigerant flow'. It features a 'UK NCM wizard' button. The configuration is organized into tabs: 'Heating', 'Cooling', 'Hot water', 'Solar heating', 'Aux energy', 'Air supply', 'Cost', and 'Control'. The 'Heating' tab is active. Under 'Generator:', the 'Meter' is set to 'Electricity: Meter 1/AC'. The 'Is it a heat pump*?' checkbox is checked. The 'Seasonal efficiency' is set to 3.5000, 'Delivery efficiency' to 0.5627, 'SCoP kW/kW' to 3.4, and 'Generator size kW' to 5.95. Under 'Heat recovery:', 'Vent. heat recovery effectiveness' is 0.0000 and 'Vent. heat recovery return air temp °C' is 21.00. Under 'CH(C)P:', 'Is this heat source used in conjunction with CHP?' is unchecked, and 'What ranking does this heat source have after the CH(C)P plant?' is set to 1. At the bottom right, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Apêndice E

SEER

The screenshot shows the 'Apache Systems' window with the 'Mini-VRV 1' system selected. The 'UK NCM type' is set to 'Variable refrigerant flow'. The 'Generator' section is active, showing the following parameters:

| Parameter | Value |
|---|--------------------------|
| Cooling/ventilation mechanism | Air conditioning |
| Meter | Electricity: Meter 1/AC |
| Nominal EER* kW/kW | 3.5000 |
| Seasonal EER kW/kW | 3.3000 |
| Delivery efficiency | 0.5217 |
| SSEER kW/kW | 1.2039 |
| Generator size kW | 5.14 |
| Absorption chiller | <input type="checkbox"/> |
| Operation: Changeover mixed mode free cooling* | Not a CMM system |
| Heat rejection: Pump & fan power (% of rejected heat) | 10.0 |

Buttons at the bottom include 'Add', 'Remove', 'Duplicate', 'OK', and 'Cancel'. A note states '* - Applies to UK NCM only'.

Caso de estudio 2

SCoP

The screenshot shows the 'Apache Systems' window with the 'UTAN+VRV 1' system selected. The 'UK NCM type' is set to 'Variable refrigerant flow'. The 'Generator' section is active, showing the following parameters:

| Parameter | Value |
|---|-------------------------------------|
| Meter | Electricity: Meter 1/AC |
| Is it a heat pump?? | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Seasonal efficiency | 3.5000 |
| Delivery efficiency | 1.0000 |
| SCoP kW/kW | 3.5000 |
| Generator size kW | 20.20 |
| Heat recovery: Vent. heat recovery effectiveness | 0.0000 |
| Vent. heat recovery return air temp °C | 21.00 |
| CH(C)P: Is this heat source used in conjunction with CHP? | <input type="checkbox"/> |
| What ranking does this heat source have after the CH(C)P plant? | 1 |

Buttons at the bottom include 'Add', 'Remove', 'Duplicate', 'OK', and 'Cancel'. A note states '* - Applies to UK NCM only'.

Apêndice E

SEER

The screenshot shows the Apache Systems software interface for configuring a SEER system. The window title is "Apache Systems". On the left, there is a list of systems with columns "Default?" and "System Name". The "Main system" is checked, and "UTAN+VRV 1" is selected. Below the list are buttons for "Add", "Remove", and "Duplicate".

The main configuration area is titled "Name: UTAN+VRV 1" and "UK NCM type: Variable refrigerant flow". There is a "UK NCM wizard" button. The configuration is divided into several tabs: "Heating", "Cooling", "Hot water", "Solar heating", "Aux energy", "Air supply", "Cost", and "Control". The "Cooling" tab is active.

Under the "Generator:" section, the following parameters are visible:

- Cooling/ventilation mechanism: Air conditioning
- Meter: Electricity: Meter 1/AC
- Nominal EER* kW/kW: 3.0000
- Seasonal EER kW/kW: 3.3000
- Delivery efficiency: 0.2608
- SSEER kW/kW: 0.6019
- Generator size kW: 37.48
- Absorption chiller:

Under the "Operation:" section, the "Changeover mixed mode free cooling*" is set to "Not a CMM system".

Under the "Heat rejection:" section, the "Pump & fan power (% of rejected heat)" is set to 10.0.

At the bottom, there is a note: "* - Applies to UK NCM only". Buttons for "OK" and "Cancel" are present.

Caso de estudo 3

SCoP

The screenshot shows the Apache Systems software interface for configuring a SCoP system. The window title is "Apache Systems". On the left, there is a list of systems with columns "Default?" and "System Name". The "Main system" is checked, and "AHU 1" is selected. Below the list are buttons for "Add", "Remove", and "Duplicate".

The main configuration area is titled "Name: AHU 1" and "UK NCM type: Variable refrigerant flow". There is a "UK NCM wizard" button. The configuration is divided into several tabs: "Heating", "Cooling", "Hot water", "Solar heating", "Aux energy", "Air supply", "Cost", and "Control". The "Cooling" tab is active.

Under the "Generator:" section, the following parameters are visible:

- Meter: Electricity: Meter 1/AC
- Is it a heat pump?:
- Seasonal efficiency: 3.5000
- Delivery efficiency: 1.0000
- SCoP kW/kW: 3.5000
- Generator size kW: 533.36

Under the "Heat recovery:" section, the following parameters are visible:

- Vent. heat recovery effectiveness: 0.6500
- Vent. heat recovery return air temp °C: 21.00

Under the "CH(C)P:" section, the following parameters are visible:

- Is this heat source used in conjunction with CHP?:
- What ranking does this heat source have after the CH(C)P plant?: 1

At the bottom, there is a note: "* - Applies to UK NCM only". Buttons for "OK" and "Cancel" are present.

Apêndice E

SEER

The screenshot shows the Apache Systems software interface for configuring an AHU 1 system. The window title is "Apache Systems". On the left, there is a tree view with a "Default?" column and a "System Name" column. The "Main system" is checked with a green checkmark. Under "Main system", "AHU 1" is selected and highlighted in blue. Other items listed are "AHU 2", "UTAN + VRV 1", and "UTAN + VRV 2".

The main configuration area is titled "Name: AHU 1" and "UK NCM type: Variable refrigerant flow". There is a "UK NCM wizard" button. Below this, there are tabs for "Heating", "Cooling", "Hot water", "Solar heating", "Aux energy", "Air supply", "Cost", and "Control". The "Cooling" tab is active.

The "Generator:" section includes:

- Cooling/ventilation mechanism: Air conditioning (dropdown)
- Meter: Electricity: Meter 1/AC (dropdown with a "..." button)
- Nominal EER* kW/kW: 3.5000
- Seasonal EER kW/kW: 3.3000
- Delivery efficiency: 0.5217
- SSEER kW/kW: 1.2039
- Generator size kW: 2606.03
- Absorption chiller:

The "Operation:" section includes:

- Changeover mixed mode free cooling*: Not a CMM system (dropdown)

The "Heat rejection:" section includes:

- Pump & fan power (% of rejected heat): 10.0

At the bottom left, there are buttons for "Add", "Remove", and "Duplicate". At the bottom right, there are "OK" and "Cancel" buttons. A note at the bottom center states "* - Applies to UK NCM only".

Anexo A

TABLE 6.2.2.1 Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone
(Table 6.2.2.1 shall be used in conjunction with the accompanying notes.)

| Occupancy Category | People Outdoor Air Rate R_p | | Area Outdoor Air Rate R_a | | Notes | Default Values | | | Air Class |
|----------------------------------|-------------------------------|------------|-----------------------------|--------------------|-------|--|--|------------|-----------|
| | cfm/person | L/s/person | cfm/ft ² | L/s/m ² | | Occupant Density (see Note 4) | Combined Outdoor Air Rate (see Note 5) | | |
| | | | | | | #/1000 ft ² or #/100 m ² | cfm/person | L/s/person | |
| Correctional Facilities | | | | | | | | | |
| Cell | 5 | 2.5 | 0.12 | 0.6 | | 25 | 10 | 4.9 | 2 |
| Dayroom | 5 | 2.5 | 0.06 | 0.3 | | 30 | 7 | 3.5 | 1 |
| Guard stations | 5 | 2.5 | 0.06 | 0.3 | | 15 | 9 | 4.5 | 1 |
| Booking/waiting | 7.5 | 3.8 | 0.06 | 0.3 | | 50 | 9 | 4.4 | 2 |
| Educational Facilities | | | | | | | | | |
| Daycare (through age 4) | 10 | 5 | 0.18 | 0.9 | | 25 | 17 | 8.6 | 2 |
| Daycare sickroom | 10 | 5 | 0.18 | 0.9 | | 25 | 17 | 8.6 | 3 |
| Classrooms (ages 5–8) | 10 | 5 | 0.12 | 0.6 | | 25 | 15 | 7.4 | 1 |
| Classrooms (age 9 plus) | 10 | 5 | 0.12 | 0.6 | | 35 | 13 | 6.7 | 1 |
| Lecture classroom | 7.5 | 3.8 | 0.06 | 0.3 | H | 65 | 8 | 4.3 | 1 |
| Lecture hall (fixed seats) | 7.5 | 3.8 | 0.06 | 0.3 | H | 150 | 8 | 4.0 | 1 |
| Art classroom | 10 | 5 | 0.18 | 0.9 | | 20 | 19 | 9.5 | 2 |
| Science laboratories | 10 | 5 | 0.18 | 0.9 | | 25 | 17 | 8.6 | 2 |
| University/college laboratories | 10 | 5 | 0.18 | 0.9 | | 25 | 17 | 8.6 | 2 |
| Wood/metal shop | 10 | 5 | 0.18 | 0.9 | | 20 | 19 | 9.5 | 2 |
| Computer lab | 10 | 5 | 0.12 | 0.6 | | 25 | 15 | 7.4 | 1 |
| Media center | 10 | 5 | 0.12 | 0.6 | A | 25 | 15 | 7.4 | 1 |
| Music/theater/dance | 10 | 5 | 0.06 | 0.3 | H | 35 | 12 | 5.9 | 1 |
| Multiuse assembly | 7.5 | 3.8 | 0.06 | 0.3 | H | 100 | 8 | 4.1 | 1 |
| Food and Beverage Service | | | | | | | | | |
| Restaurant dining rooms | 7.5 | 3.8 | 0.18 | 0.9 | | 70 | 10 | 5.1 | 2 |
| Cafeteria/fast-food dining | 7.5 | 3.8 | 0.18 | 0.9 | | 100 | 9 | 4.7 | 2 |
| Bars, cocktail lounges | 7.5 | 3.8 | 0.18 | 0.9 | | 100 | 9 | 4.7 | 2 |
| Kitchen (cooking) | 7.5 | 3.8 | 0.12 | 0.6 | | 20 | 14 | 7.0 | 2 |

GENERAL NOTES FOR TABLE 6.2.2.1

- 1 Related requirements:** The rates in this table are based on all other applicable requirements of this standard being met.
- 2 Environmental Tobacco Smoke:** This table applies to ETS-free areas. Refer to Section 5.17 for requirements for buildings containing ETS areas and ETS-free areas.
- 3 Air density:** Volumetric airflow rates are based on dry air density of 0.075 lb_m/ft³ (1.2 kg_m/m³) at a barometric pressure of 1 atm (101.3 kPa) and an air temperature of 70°F (21°C). Rates shall be permitted to be adjusted for actual density.
- 4 Default occupant density:** The default occupant density shall be used where the actual occupant density is not known.
- 5 Default combined outdoor air rate (per person):** Rate is based on the default occupant density.
- 6 Unlisted occupancies:** Where the occupancy category for a proposed space or zone is not listed, the requirements for the listed occupancy category that is most similar in terms of occupant density, activities, and building construction shall be used.

ITEM-SPECIFIC NOTES FOR TABLE 6.2.2.1

- For high-school and college libraries, the values shown for "Public Assembly Spaces—Libraries" shall be used.
- Rate may not be sufficient where stored materials include those having potentially harmful emissions.
- Rate does not allow for humidity control. "Deck area" refers to the area surrounding the pool that is capable of being wetted during pool use or when the pool is occupied. Deck area that is not expected to be wetted shall be designated as an occupancy category.
- Rate does not include special exhaust for stage effects such as dry ice vapors and smoke.
- Where combustion equipment is intended to be used on the playing surface or in the space, additional dilution ventilation, source control, or both shall be provided.
- Default occupancy for dwelling units shall be two persons for studio and one-bedroom units, with one additional person for each additional bedroom.
- Air from one residential dwelling shall not be recirculated or transferred to any other space outside of that dwelling.
- Ventilation air for this occupancy category shall be permitted to be reduced to zero when the space is in occupied-standby mode.