

**NUNO MARCELO CORREIA SILVA COELHO**

PROJETO DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIO  
ESCOLAR.  
BLOCO PRINCIPAL DO ISE DE FARO.



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

Instituto Superior de Engenharia

2020

**NUNO MARCELO CORREIA SILVA COELHO**

**PROJETO DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIO  
ESCOLAR.  
BLOCO PRINCIPAL DO ISE DE FARO.**

Mestrado em Engenharia Mecânica -  
energia, climatização e refrigeração

Trabalho efetuado sob a orientação de:  
Raul Lana Miguel, Professor Adjunto  
UAlg-ISE/DEM



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

Instituto Superior de Engenharia

2020



**PROJETO DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIO ESCOLAR.  
BLOCO PRINCIPAL DO ISE DE FARO.**

**DECLARAÇÃO DE AUTORIA DE TRABALHO**

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito.  
Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da  
listagem de referências incluída.

---

Nuno Marcelo Correia Silva Coelho

©**Copyright** Nuno Marcelo Correia Silva Coelho

Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

*“Nada é permanente, exceto a mudança”.* (Heráclito)

Aos meus professores e orientadores, professor Raul Lana Miguel e professor Nelson Sousa, pelo aconselhamento e críticas construtivas, pelo apoio e partilha do conhecimento.

À minha família pela compreensão ao longo de 2 anos, na partilha do tempo deste projeto, apoio incondicional e motivação sem o qual não teria sido possível concluí-lo.

## RESUMO

A velocidade de crescimento da consciencialização ambiental e necessidade de reduzir o consumo energético é superior à vida útil dos edifícios. Ou seja, nos anos de vida útil de um edifício, desde que é concluído o projeto, as exigências de preocupação ambiental e custo de operação evoluem e ultrapassam aquelas para as quais o edifício foi idealizado tornando-o obsoleto e quase insustentável.

Neste projeto pretende-se, por um lado, apresentar soluções de forma a melhorar o desempenho energético e o conforto térmico dos utilizadores e por outro, melhorar a gestão do edifício construindo um modelo virtual tão próximo do real quanto possível de forma que permita a sua visualização e edição centralizada.

O levantamento dimensional e a construção do modelo BIM permitirão a utilização do modelo do edifício com programas de cálculo e simulação de várias especialidades como por exemplo climatização, eletricidade, arquitetura, estabilidade, etc. Não se trata de um objetivo unidirecional, mas de utilização coletiva e polivalente.

Serão estudadas e propostas medidas de melhoria do desempenho energético e conforto térmico bem como, avaliação de rentabilidade de sistema de produção fotovoltaico para venda de eletricidade à rede elétrica de serviço público.

Neste trabalho pretende-se estudar medidas de forma a tornar o edifício energeticamente mais eficiente e confortável aos ocupantes, abrindo caminho para que outros estudos complementares a este, possam vir a ser desenvolvidos.

**Palavras chave:** BIM; Conforto térmico; Desempenho Energético; Ventilação; Climatização; Carga térmica.

## **ABSTRACT**

The speed of growth of environmental awareness and the need to reduce energy consumption is greater than the useful lifetime of buildings, i.e., in the years of a building's useful life, since the project is completed, the requirements of environmental concern and cost of operation evolve and surpass those for which the building was designed, making it obsolete and almost unsustainable.

In this project, it is intended, on one hand, to present solutions in order to improve the energy performance and thermal comfort of users and, on the other hand, to improve the management of the building by creating a virtual model that acts as a digital twin, as close to the real as possible, in a way that allows its centralized viewing and editing.

The dimensional survey and the construction of the BIM model will allow the use of the building model with calculation and simulation programs for several specialties, for example air conditioning, electricity, architecture, structural, etc. This is not an unidirectional objective, but one that provides a collective and multipurpose use.

Measures to improve energy performance and thermal comfort will be studied and proposed, as well as the evaluation of the profitability of a photovoltaic production system for the sale of electricity to the public utility grid.

In this work we try to improve the energy efficiency of the building and more comfortable for the occupants, making way for other studies, complementary to this one may be developed.

**Keywords:** BIM; Thermal comfort; Energy Performance; Ventilation; Air conditioning; Heat load.

## **ÍNDICE GERAL**

Lista de abreviaturas.....	x
ÍNDICE de tabelas.....	xi
ÍNDICE de figuras.....	xiii
1. Introdução.....	14
1.1. Objetivos.....	15
1.2. Descrição e enquadramento .....	15
1.3. Estrutura e conteúdo .....	16
2. Modelação do edifício e algoritmo de cálculo REVIT .....	17
2.1. Descrição do edifício .....	17
2.1.1. Piso 0.....	17
2.1.2. Piso 1.....	20
2.1.3. Piso 2.....	21
2.2. Levantamento geométrico e modelação.....	22
2.3. Cálculo de cargas térmicas com REVIT .....	25
3. Envolventes e Coeficientes Globais de Transmissão de Calor.....	27
3.1.1. Paredes exteriores .....	29
3.1.2. Paredes interiores .....	34
3.1.3. Coberturas e pavimentos .....	35
3.1.4. Janelas e portas.....	37
4. Ventilação e perfis de utilização dos espaços .....	42
4.1. Cálculo da ventilação .....	43
4.2. Caracterização dos espaços e perfis de ocupação .....	44
4.2.1. Zonas de climatização.....	50
5. Cargas térmicas e conforto térmico .....	51
5.1. Condições exteriores e caracterização geográfica .....	51
5.1.1. Condições exteriores na estação de aquecimento.....	52
5.1.2. Condições exteriores na estação de arrefecimento.....	53
5.1.3. Estimativa da temperatura de espaços não aquecidos.....	54
5.2. Conforto térmico.....	55

5.2.1. Índices PMV-PPD .....	57
6. Melhoria do desempenho energético.....	62
6.1. Medida nº 1 – paredes exteriores.....	62
6.2. Medida nº 2 – coberturas.....	63
6.3. Medida nº 3 - Produção de energia elétrica.....	64
6.4. Medida nº 4 - Controlo da iluminação artificial .....	68
6.5. Comparação de resultados das medidas de melhoria .....	71
6.5.1. Medidas 1 e 2 - isolamento da envolvente.....	71
6.5.2. Medidas 3 e 4 – Produção de eletricidade e controlo da iluminação.....	74
7. Conclusão.....	77
8. Bibliografia.....	80
ANEXOS .....	83
Anexo I - Gráfico psicrométrico.....	84
Anexo II - Perfis horários dos espaços.....	86
Anexo III - Cargas térmicas calculadas.....	93
Anexo IV - Peças desenhadas.....	105

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ADENE	- Agência para a energia
ASHRAE	- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BIM	- Building Information Model
ENA	- Espaço não aquecido
EPBD	- Energy Performance of Buildings Directive
EPS	- Expanded polystyrene
GES	- Grande edifício de comércio ou serviços
I.S.F	- Instalações sanitárias femininas
I.S.M.	- Instalações sanitárias masculinas
ISE	- Instituto Superior de Engenharia
LNEC	- Laboratório nacional de engenharia civil
PES	- Pequeno edifício de comércio ou serviços
PMV	- Predictive mean vote
PPD	- Predictive percentage of discomfort
RECS	- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
RESP	- Rede elétrica de serviço público
RPH	- Renovações por hora
RTS	- Radiant time series
SCOP	- Seasonal coefficient of performance
SEER	- Seasonal Energy Efficiency Ratio
UTAN	- Unidade de tratamento de ar novo
VRF	- Variable refrigerant flow
XPS	- Extruded polystyrene

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 - Designação e área dos espaços no piso 0 .....	19
Tabela 2 - Designação e área dos espaços no piso 1 .....	20
Tabela 3 - Designação e área dos espaços no piso 2 .....	21
Tabela 4: Coeficientes de transmissão de calor superficial por convecção, $h$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) e resistência térmica superficial por convecção, $R$ ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ) [6].....	28
Tabela 5 - Parede PE1, sem revestimento interior de cortiça. Coeficiente U.....	29
Tabela 6 - Parede PE2, sem revestimento interior de cortiça. Coeficiente U.....	30
Tabela 7 - Parede PE1a com revestimento interior de cortiça. Coeficiente U.....	31
Tabela 8 - Parede PE2a, com revestimento interior de cortiça. Coeficiente U.....	31
Tabela 9 - Parede PE4, com revestimento interior de cortiça. Coeficiente U.....	31
Tabela 10 - Parede composta PCE1. Coeficiente U.....	33
Tabela 11 - Parede composta PCE2. Coeficiente U.....	33
Tabela 12 - Parede interior Pi1. Coeficiente U.....	34
Tabela 13 - Parede interior Pi1a. Coeficiente U.....	34
Tabela 14 - Parede interior Pic1. Coeficiente U.....	35
Tabela 15 - Cobertura CB1. Coeficiente U.....	36
Tabela 16 - Cobertura CB2. Coeficiente U.....	37
Tabela 17 - Porta Po1. Coeficiente U.....	37
Tabela 18 - Porta Poi1. Coeficiente U.....	37
Tabela 19 - Porta Poi2. Coeficiente U.....	38
Tabela 20 - Coeficientes de transmissão de calor das janelas e portas.....	40
Tabela 21 - Densidade de ocupação por tipo de espaço.....	42
Tabela 22 - Lista de tipo de utilização e designação abreviada.....	43
Tabela 23 - Valores de eficácia ( $\epsilon_v$ ) para diferentes métodos de ventilação.....	44
Tabela 24 - Caracterização dos espaços por área, volume e tipo.....	45
Tabela 25 - Caracterização dos espaços quanto a ocupação, iluminação e equipamentos. .....	46
Tabela 26 - Atribuição dos locais aos perfis e caudais de ventilação.....	48
Tabela 27 - Zonas de climatização.....	50
Tabela 28 - Parâmetros de localização e atmosféricos.....	51

Tabela 29 - Temperaturas e conteúdo de humidade exteriores de projeto no aquecimento. .....	52
Tabela 30 - Temperatura e humidade interior de projeto no aquecimento. ....	53
Tabela 31 - Temperaturas e conteúdo de humidade exteriores de projeto no arrefecimento. ....	53
Tabela 32 - Temperatura e humidade interior de projeto no aquecimento. ....	54
Tabela 33 - Cálculo da temperatura dos espaços não aquecidos .....	55
Tabela 34 - Necessidades de climatização e temperaturas interiores dos espaços de referência .....	57
Tabela 35 - Correspondência entre PMV e a sensação térmica. ....	58
Tabela 36 - Isolamento típico de indumentária.....	59
Tabela 37 - Índices de conforto térmico dos espaços de referência.....	60
Tabela 38 - Coeficiente de transmissão térmica melhorado para a parede PCE1. ....	63
Tabela 39 - Coeficiente de transmissão térmica melhorado para a parede PCE2. ....	63
Tabela 40 - Coeficiente de transmissão térmica melhorado da cobertura exterior CB1..	64
Tabela 41 - Coeficiente de transmissão térmica melhorado da cobertura interior CB2. .	64
Tabela 42 - Características do campo de coletores solares.....	66
Tabela 43 - Características do inversor.....	66
Tabela 44 - Estudo de rentabilidade do sistema solar.....	67
Tabela 45 - Estimativa de consumo elétrico anual associado à iluminação e equipamentos .....	68
Tabela 46 - Funções mínimas a adotar em sistemas de iluminação a instalar em edifícios novos e em edifícios sujeitos a grande intervenção [21].....	69
Tabela 47 - Potência de iluminação instalada e consumo anual .....	71
Tabela 48 - Cargas térmicas sem melhorias.....	72
Tabela 49 - Cargas térmicas com as melhorias.....	72
Tabela 50 - Temperaturas de conforto, PPD e PMV para arrefecimento e aquecimento nas situações existente e com melhorias .....	74
Tabela 51 - Contribuição do fotovoltaico elétrico para o consumo energético e emissão de carbono.....	75
Tabela 52 - Estimativa de poupança com controlo de iluminação .....	76

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 - Perspetiva axonométrica do piso 0.....	17
Figura 2 - Perspetiva axonométrica do piso -1.....	17
Figura 3 - Perspetiva axonométrica do piso 1.....	20
Figura 4 - Perspetiva axonométrica do piso 2.....	21
Figura 5 - Exemplo da composição de materiais de parede.....	23
Figura 6 - Vista axonométrica noroeste, com paredes exteriores ocultas.....	23
Figura 7 - Diagrama de desenvolvimento do modelo e análise energética.....	24
Figura 8 - Composição da parede composta PCE1.....	32
Figura 9 - Composição da parede composta PCE2.....	33
Figura 10 - Parede interior composta Pic1.....	35
Figura 11 - Composição da cobertura com espaço não aquecido.....	36
Figura 12 - Fatores U para vários tipos de janela, segundo ASHRAE Fundamentals Handbook 2001 [4].....	39
Figura 13 - Implantação e orientação do edifício.....	52
Figura 14 - Relação do PPD com PMV.....	59
Figura 15 - Valores do coeficiente de transmissão térmica máximo admissível para a envolvente opaca exterior de edifícios de comércio e serviços [W/m <sup>2</sup> .°C].....	62
Figura 16 - Exposição solar na cobertura sueste.....	65
Figura 17 - Produção mensal de energia elétrica fotovoltaica.....	67
Figura 18 - Estimativa da iluminância devido à iluminação natural no piso 0.....	70
Figura 19 - Gráfico comparativo das cargas térmicas da construção existente, com as medidas de melhoria das fachadas.....	73

## **1. INTRODUÇÃO**

Tradicionalmente, do ponto de vista do projetista, os edifícios são considerados como estáticos ou imutáveis. A realidade não é exatamente assim. Os edifícios têm vidas úteis longas e degradam-se naturalmente. Por outro lado, muitas vezes os projetos originais não são atualizados de acordo com a construção, não fornecem informação fidedigna ou útil para a condução da vida útil do edifício, a tecnologia evolui e muitas vezes há necessidade de atualizar as infraestruturas. É aqui que surge o Building Information Model (BIM), um formato digital com informação detalhada do edifício, nomeadamente, sistemas técnicos, materiais, paredes, aberturas, coberturas e todo o tipo de informação necessário para a construção, manutenção ou remodelação. A informação é parametrizável, multiplataforma e em formato aberto para desenvolvimento. A possibilidade de um modelo fidedigno do edifício, não como um elemento arquitetónico, mas algo multidisciplinar, em atualização contínua, tanto desde a fase de conceção como para edifícios existentes, revela-se uma abordagem estratégica vantajosa para o tomador de decisões na medida em que permite a avaliação no momento em vez de efetuar levantamentos e medições *in situ*.

A utilização racional de energia é um assunto cada vez mais premente, à medida que o crescimento económico progride, as reservas de combustíveis fósseis diminuem e as evidências do seu contributo para o aquecimento global aumentam. Desde os anos 70 que o mundo, de uma forma generalizada, despertou para a necessidade de racionalizar a utilização de energia de origem fóssil. Em 2015 o sector de serviços em Portugal era responsável por 12% do consumo de energia final, segundo dados da Pordata [1], o 4º sector com maior consumo (logo a seguir ao sector doméstico com 15%) e em 2013 29,7% da energia primária destinava-se a edifícios, de acordo com a publicação “Estratégia para a eficiência energética nos edifícios públicos” [2].

Na década de 90, surgiu a preocupação com os gases de efeito de estufa e em especial o dióxido de carbono como produto da utilização dos combustíveis fósseis. O desenvolvimento e a utilização de fontes alternativas de energia e renováveis passaram a ser uma prioridade nas políticas energéticas.

Desde 1988 a União Europeia tem aprovado diretivas com vista à redução da utilização de energias fósseis e utilização racional de energia, seguindo atualmente um plano

estratégico com um horizonte temporal até 2020 em que alguns dos objetivos se prendem com a redução das emissões de carbono e utilização de fontes de energia renovável.

## **1.1. Objetivos**

Não obstante as motivações expostas no ponto anterior, a mudança não pode ser feita à custa do bem-estar e conforto humano, neste caso, dos ocupantes dos edifícios. Pretende-se demonstrar que o conforto e bem-estar podem ser melhorados com vantagens económicas e ambientais.

Este trabalho tem como caso de estudo o edifício principal do Instituto Superior de Engenharia (ISE) de Faro e pretende atingir dois objetivos. O primeiro, a construção de um modelo de informação do edifício (BIM). O segundo, a proposta de várias medidas, com vista a melhorar a eficiência energética, as condições de conforto térmico interior e evolução para edifício de necessidade energética zero.

## **1.2. Descrição e enquadramento**

Datando a construção do início dos anos 80, o ISE é composto por dois corpos.

O corpo principal é constituído por dois pisos, onde funcionam os órgãos administrativos, auditório, cafetaria, serviços de informática, gabinetes e várias salas de aula.

O corpo secundário é um edifício térreo de funcionamento das áreas departamentais dos cursos, laboratórios, gabinetes e algumas salas de aula.

Após quarenta anos, a construção encontra-se tecnicamente desatualizada, em particular relativamente ao EPBD (Energy Performance of Buildings Directive). Embora a dada altura as janelas originais tenham sido substituídas por modelos energeticamente mais eficientes com vidro duplo, no entanto, é uma medida insuficiente quando comparada com os requisitos atuais de desempenho dos edifícios e tecnologias disponíveis.

Como parte do plano estratégico europeu de crescimento, os novos edifícios públicos a partir de 2018 deverão ser construídos de acordo com o conceito de edifício de necessidades quase nulas de energia, padrão este, que se aplicará igualmente aos edifícios intervencionados.

### 1.3. Estrutura e conteúdo

O trabalho é realizado através da seguinte linha de orientação:

1. Descrição do processo de levantamento do edifício existente e criação do modelo BIM, com o programa *Autodesk Revit 2020*<sup>®</sup>, para realização dos estudos e análise. Sem o recurso a plantas de projetos ou cadastro, foi necessário efetuar o levantamento dos elementos à vista. Foram necessárias algumas estimativas e aproximações quando não foi possível aceder aos espaços, como sejam, ductos técnicos e desvãos fechados;
2. Definição e caracterização dos compartimentos. Para o cálculo das cargas térmicas é necessário definir e atribuir a cada tipo de espaço, os horários ou perfis de ocupação, iluminação, climatização e ventilação, bem como, os requisitos de ventilação em função do número de ocupantes e tipo de atividade;
3. Cálculo das cargas térmicas com o auxílio da ferramenta incluída no *Autodesk Revit 2020*<sup>®</sup> de acordo com a norma ASHRAE 140. Com o cálculo das cargas térmicas, pretende-se analisar o conforto térmico atual com os índices PMV e PPD;
4. Seleção de medidas com vista a melhorar os índices de conforto e redução das necessidades energéticas. Análise das soluções propostas;

## **2. MODELAÇÃO DO EDIFÍCIO E ALGORITMO DE CÁLCULO REVIT**

### **2.1. Descrição do edifício**

O edifício em estudo, trata-se de um corpo separado do complexo designado por ISE, no campus da Penha da Universidade do Algarve, em Faro. É composto por três pisos acima do solo e uma pequena cave na zona da escada principal. Segue-se a descrição e caracterização de cada piso.

O levantamento do edifício foi realizado intermitentemente em várias fases ao longo de cerca de 2 anos, em iterações de correção e atualização, tendo sido efetuado o último levantamento em 23 de janeiro de 2020. Desde a data do último levantamento, alguns dos espaços, entretanto foram reafectados.

#### **2.1.1. Piso 0**

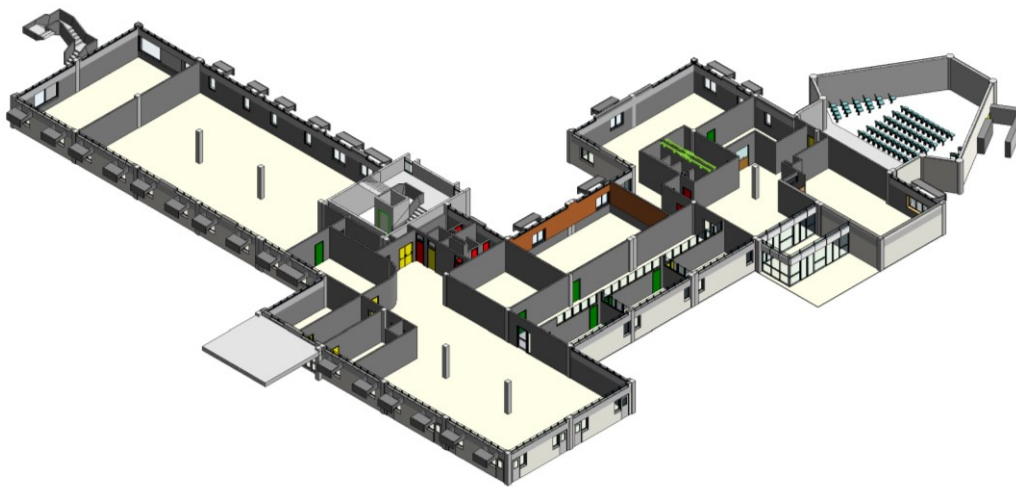


Figura 1 - Perspetiva axonométrica do piso 0.

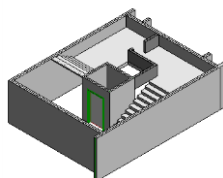


Figura 2 - Perspetiva axonométrica do piso -1.

Nas figuras 1 e 2 são representados os pisos 0 e -1 em perspetivas axonométricas e sem escala.

O piso térreo tem 1716 m<sup>2</sup> de implantação, com uma configuração em “L”. São por aqui os acessos e entradas principais para o ISE, os órgãos administrativos, cafeteria, serviços de informática, o auditório e algumas salas de aula. Para efeitos de contabilização de áreas, o núcleo da escada de acesso aos pisos, incluindo o que se designou por piso -1, está contabilizada nas áreas do piso 0.

É composto pelos espaços listados na tabela 1:

Tabela 1 - Designação e área dos espaços no piso 0

Designação	Área (m <sup>2</sup> )
Sala 6	85,16
Anfiteatro	166,61
Secretaria/Administração	149,91
I.S.F. 0/1	15,63
I.S.M. 0/1	13,42
Sala 183	23,45
Sala 179	23,72
Sala 181	23,75
Sala 19	47,53
Sala 18	82,56
Entrada	26,64
Átrio 0/1	96,89
Corredor 0/1	74,63
Cafetaria	320,37
I.S.F. 0/2	13,05
I.S.M. 0/2	11,71
Arrumo 0/1	2,07
Cozinha	22,4
Átrio 0/2	17,86
Sala técnica	27,81
Serviços de informática	42,12
Corredor 0/2	9,07
Serviços administrativos	320,61
Gabinete de apoio externo	99,58
TOTAL	1716

### 2.1.2. Piso 1

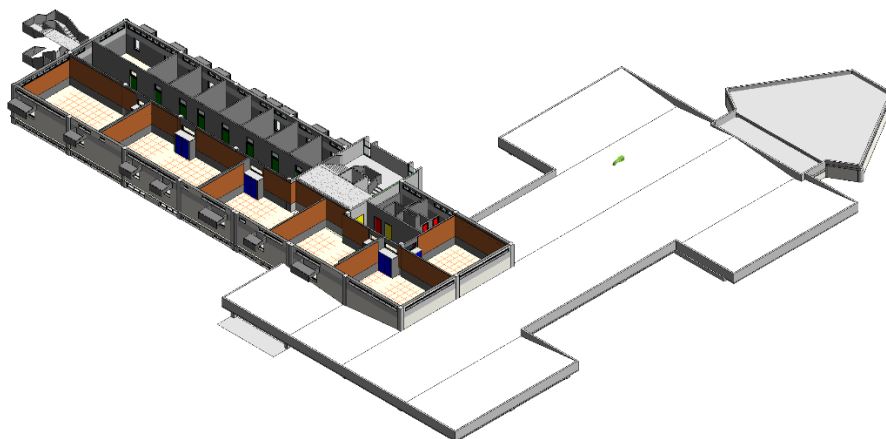


Figura 3 - Perspetiva axonométrica do piso 1.

O piso 1, representado em perspetiva axonométrica na figura 3, está situado sobre a zona dos serviços administrativos e da cafetaria, ocupa uma área de 629 m<sup>2</sup> e é composto por salas de aula e gabinetes. Além do acesso pela escada interior principal, tem também uma escada exterior na extremidade oeste.

A composição do piso 1 encontra-se listada na tabela 2.

Tabela 2 - Designação e área dos espaços no piso 1

Designação	Área (m <sup>2</sup> )
I.S.M. 1/1	11,54
I.S.F. 1/1	13,24
Sala 131	46,99
Sala 132	59,49
Sala 133	55,86
Sala 135	63,91
Sala 136	85,39
Sala 139	70,44
Gabinete 141	12,83
Gabinete 142	12,75
Gabinete 143	12,75
Gabinete 144	11,9
Gabinete 145	13,6
Gabinete 146	12,75
Gabinete 147	12,75
Gabinete 148	28,07
Corredor 1/1	23,6
Corredor 1/2	81,76
TOTAL	629

### 2.1.3. Piso 2

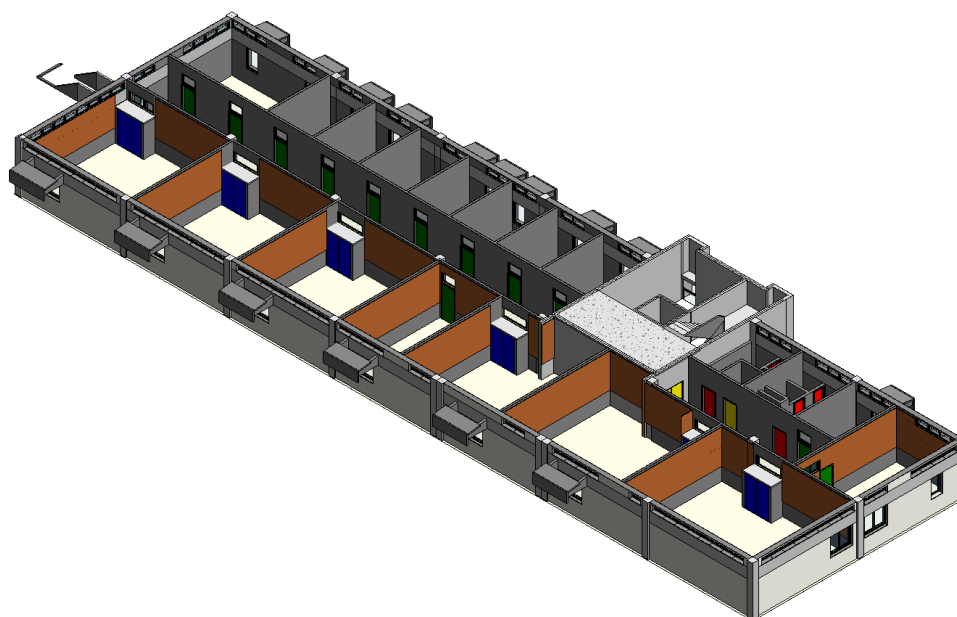


Figura 4 - Perspetiva axonométrica do piso 2.

O piso 2, apresentado na figura 4, está situado no alinhamento do piso 1 e à semelhança deste, ocupa uma área de 629 m<sup>2</sup>, é composto por salas de aula e gabinetes. Além do acesso pela escada interior principal, tem também uma escada exterior na extremidade oeste.

Os espaços e áreas são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Designação e área dos espaços no piso 2

Designação	Área (m <sup>2</sup> )
I.S.M. 2/1	11,54
I.S.F. 2/1	13,23
Sala 153	10,98
Sala 154	28,56
Sala 155	59,18
Sala 156	56,61
Sala 159	46,73
Sala 160	28,34
Sala 161	45,8
Sala 162	47,15
Sala 163	47,75
Gabinete 165	12,75
Gabinete 166	12,75
Gabinete 167	12,75
Gabinete 168	11,9

Gabinete 169	13,6
Gabinete 170	12,75
Gabinete 171	12,75
Gabinete 172	28,15
Corredor 2/1	30,28
Corredor 2/2	83,25
Arrumo 2/1	1,99
TOTAL	629

## 2.2. Levantamento geométrico e modelação

Para a criação de um modelo digital a partir do edifício existente, é necessário obter informação detalhada dos elementos. Para tal, embora existam outros processos mais automatizados como a fotogrametria, *laser scanner*, etc, foi efetuado o levantamento e medição *in situ* para posterior construção dos elementos no REVIT.

O REVIT permite definir os materiais e as suas propriedades físicas e visuais. Embora venha instalado com uma biblioteca extensa de materiais, com o propósito da coerência de valores e comparação de resultados, foi criada uma biblioteca com os materiais da ITE 50 [3]. Os elementos de paredes e lajes do modelo são constituídos por camadas de materiais a partir da base de dados interna. Desta forma, os materiais com propriedades físicas devidamente caracterizados, permitem o cálculo e simulação dos elementos compostos. Na figura 5 apresenta-se exemplo da criação de uma parede com várias camadas de materiais e o resultado calculado da espessura e resistência térmica. Objetos que se inserem em outros elementos, como por exemplo janelas e portas, são modelados individualmente, com as propriedades dos elementos que os compõem também a partir da base de dados de materiais.

Edit Assembly			
Family:	Basic Wall		
Type:	PE1 - Exterior Tijolo - 320mm		
Total thickness:	320.0		
Resistance (R):	0.8481 (m <sup>2</sup> ·K)/W		
Thermal Mass:	39.89 kJ/K		
Layers			
			EXTERIOR SIDE
	Function	Material	Thickness
1	Membrane Layer	Resene Alabaster N96-006-099	0.0
2	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0
3	Structure [1]	Reboco tradicional Rs exterior	5.0
4	Structure [1]	Reboco tradicional menos de 20	10.0
5	Structure [1]	Tijolo 290mm	290.0
6	Structure [1]	Reboco tradicional menos de 20	10.0
7	Structure [1]	Reboco tradicional RS interior	5.0
8	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0
9	Membrane Layer	Resene Alabaster N96-006-099	0.0

Figura 5 - Exemplo da composição de materiais de parede.

A partir do modelo criado é possível conduzir várias análises, não só de cargas térmicas como também de iluminância, exposição solar e análise estrutural.

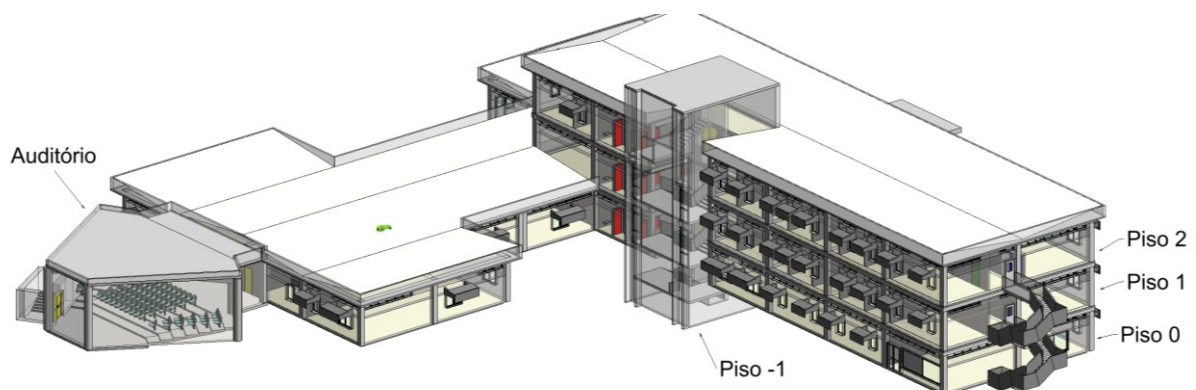


Figura 6 - Vista axonométrica noroeste, com paredes exteriores ocultas.

Como exemplo das possibilidades de análise e apresentação de resultados, na figura 6 apresenta-se a vista axonométrica do edifício, com as paredes exteriores ocultas, permitindo a vista para o interior. Esta vista está disponível em maior escala no desenho 2.

Com o modelo devidamente parametrizado a nível geométrico e físico, a compatibilidade do modelo BIM permite a utilização de outros softwares especializados para análises mais detalhadas, como por exemplo DESING BUILDER para simulação dinâmica multizona, ROBOT para análise estrutural ou Autodesk CFD para simulação computacional de fluidos.

A figura 7 apresenta o fluxo de trabalho para a criação do modelo e cálculo das cargas térmicas. O processo de levantamento e criação do modelo é iterativo, iniciando com recolha

dos elementos no local, entrada dos dados no modelo REVIT, terminando com a verificação da necessidade de recolher mais informação ou esclarecimento de dúvidas. Com o modelo geometricamente correto e parametrizados os elementos da construção, procede-se à definição do modelo energético. Nesta fase, são definidos os espaços quanto à atividade, ocupação, equipamentos, iluminação, necessidades de ventilação e perfis horários.

O processo de cálculo das cargas térmicas está descrito no capítulo 2.3.

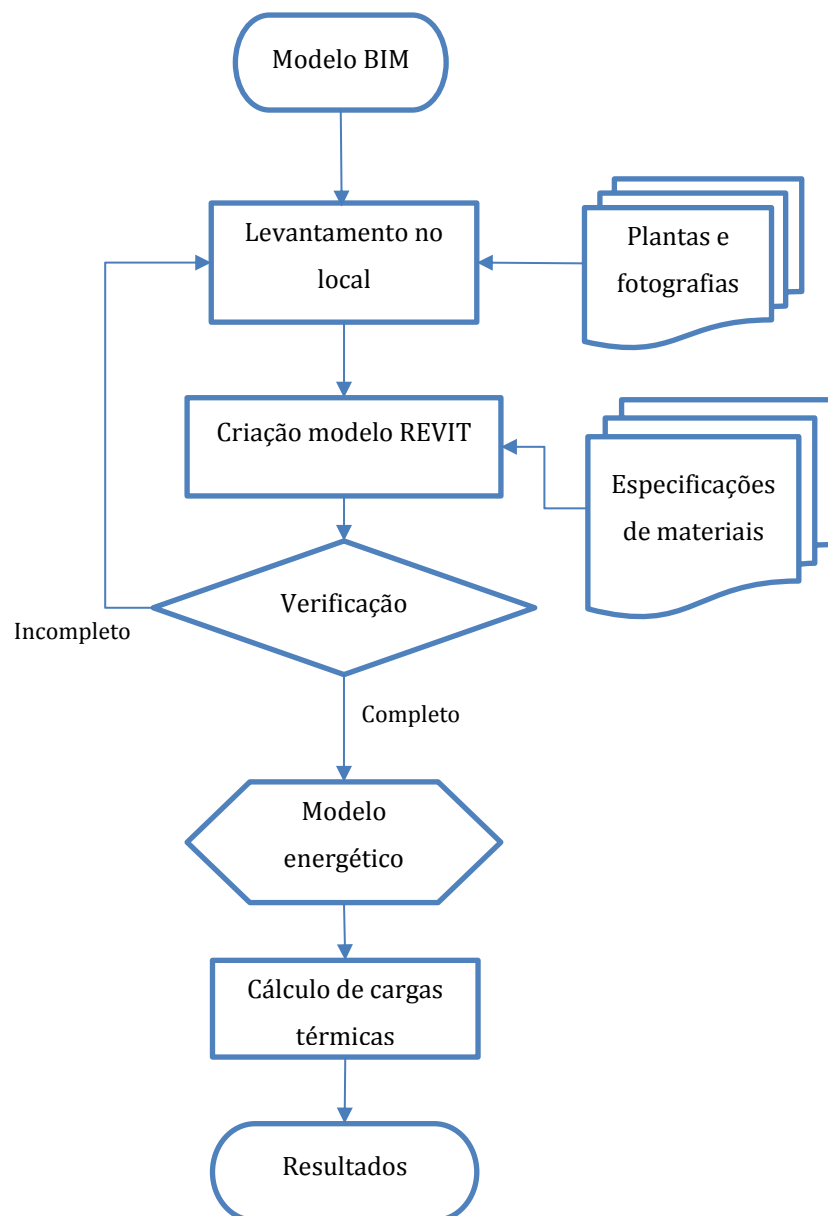


Figura 7 - Diagrama de desenvolvimento do modelo e análise energética

### 2.3. Cálculo de cargas térmicas com REVIT

O REVIT 2020 está integrado com uma ferramenta de cálculo de cargas térmicas. As condições de temperatura interior, ventilação e humidade são definidas pelo utilizador, com a opção de o fazer em cada espaço ou por zonas, agrupando vários espaços com as mesmas condições.

Para o caso em estudo, foram definidas as condições de temperatura por zona, agrupando os espaços de cada piso em zonas independentes e a ventilação por espaço, uma vez que esta depende da ocupação e atividade.

O cálculo de cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento no REVIT é efetuado de acordo com ASHRAE [4], utilizando o método RTS, o qual se baseia em dois desfasamentos temporais ou atrasos, o primeiro pela condução e o segundo por radiação.

O procedimento de cálculo das cargas térmicas de cada componente da carga térmica (iluminação, ocupantes, paredes, coberturas, janelas, equipamentos, ventilação), com o método RTS é o seguinte:

1. Calcular o perfil de 24 h da contribuição de cada componente de carga térmica para o dia de projeto;
2. Dividir os ganhos/perdas térmicos em parcelas convectivas e radiantes;
3. Aplicar as séries temporais de radiação à parcela radiante dos ganhos/perdas, de forma a contabilizar o desfasamento temporal da carga térmica;
4. Somar a parcela convectiva dos ganhos térmicos e parcela radiante desfasada para determinar a carga térmica horária para cada componente de carga térmica.

Após o cálculo das cargas térmica de cada componente para cada hora, o algoritmo soma os valores para obter o valor da carga térmica total a cada hora e seleciona a que tem maior valor para as condições de projeto da climatização. Este processo é repetido para vários meses de projeto para determinar o mês com o pico de carga térmica.

O ganho e perda de calor através das superfícies opacas é derivado dos mesmo elementos de radiação solar e gradiente térmico que para as superfícies transparentes. Difere principalmente função da massa e natureza da construção das paredes ou coberturas, pois esses elementos afetam a taxa de condução do calor.

São apresentados dois conjuntos de resultados, sendo o primeiro para o modelo existente, sem melhoria do isolamento e o segundo cálculo com a aplicação das medidas de melhoria

de isolamento térmico nas paredes e coberturas. Para cada conjunto de resultados, apresentados no Anexo III, o cálculo foi efetuado iterativamente alterando as temperaturas interiores de forma a otimizar os índices PMV-PPD, conforme descrito no capítulo 5.2.

Para o arrefecimento, o algoritmo de cálculo do REVIT examina cada espaço nos meses de abril a novembro, entre as 6 horas e as 18 horas. Após cálculo das cargas de todos os espaços, é usada a máxima da hora e mês para determinar a psicrometria, caudal de ar e carga na bateria de aquecimento/arrefecimento. Para o aquecimento o procedimento é idêntico para os restantes meses do ano.

### **3. ENVOLVENTES E COEFICIENTES GLOBAIS DE TRANSMISSÃO DE CALOR**

A envolvente do espaço a climatizar é a fronteira através da qual existe a perda ou ganho de calor. Espaços com o mesmo tipo de utilização e climatização, não são considerados para o cálculo, uma vez que não existirão fluxos de calor significativos. As envolventes relevantes para o cálculo, estão em contacto com o exterior e com espaços não aquecidos (ENA).

A construção atual data do final dos anos 70, com paredes em alvenaria simples de tijolo rebocado e estrutura de betão à vista. Nas salas foram aplicados painéis de cortiça a média altura para melhoria do condicionamento acústico. Na fase de levantamento foi possível constatar que existe apenas um pano de tijolo cerâmico furado.

As lajes de piso são em betão, de construção fungiforme aligeirada, com espessura total de 400 mm e revestimento cerâmico. Nas zonas de cobertura exterior existe um revestimento em chapa metálica perfilada criando uma zona de desvão acima da laje de betão. Não foi possível visitar este espaço, pelo que se presume que não possua isolamento térmico e seja de fraca ventilação.

Segundo o Despacho 15793-K/2013 [5], considera-se:

- a) Espaços de ar fortemente ventilados se o quociente entre a área total de orifícios de ventilação em milímetros quadrados e a área da envolvente correspondente em metros quadrados, seja superior a  $1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ ;
- b) Espaços de ar fracamente ventilados se o quociente definido no ponto anterior seja superior a  $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$  e igual ou inferior a  $1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ .
- c) Baixa emissividade qualquer superfície com emissividade ( $\epsilon$ ) inferior a 0,2.

Em algumas das salas e na cafetaria, existe teto falso em placas de gesso ou gesso cartonado, criando uma caixa de ar adicional entre o interior e a laje da cobertura.

Nas paredes em contacto com espaços não aquecidos, a construção é também em alvenaria simples de tijolo, com revestimento em cortiça pelo interior das salas.

À exceção dos sanitários junto ao átrio de entrada, não existe sistema de ventilação mecânica. No caso dos sanitários com ventilação, este é um sistema de exaustão mecânica comum às IS masculinas e femininas, com bocas de extração ligadas a condutas metálicas e ventilador mecânico na cobertura. A entrada de ar novo é feita a partir do corredor de

entrada do edifício através de grelhas de transferência nas portas. O sistema não se encontrava em funcionamento no momento da visita, pelo que não foi possível determinar os débitos de ar.

No auditório, devido às limitações na disponibilidade para acesso ao espaço, não foi possível um levantamento detalhado da construção e dos sistemas existentes ou a sua condição atual. No sistema construtivo foram consideradas paredes de betão com revestimento em cimento. É conhecido que no passado existiu um revestimento em telha de fibrocimento, tendo sido posteriormente revestida com cimento, desconhecendo-se o âmbito da intervenção e se terão sido aplicados alguns materiais de isolamento. Na cobertura foi considerada laje de betão armado sem revestimento exterior.

Para as propriedades térmicas e físicas dos materiais foi usada como referência a publicação do LNEC, ITE50 [3].

Os coeficientes globais de transmissão de calor dos elementos foram calculados com a resistência térmica superficial de convecção para as superfícies interior e exterior. Para simplificação do cálculo, considerou-se a resistência térmica na condição mais desfavorável, que corresponde ao inverno. Os coeficientes de transmissão térmica superficial por convecção e correspondente resistência térmica, são apresentados na tabela 4, para cada situação de posição da superfície condutora de calor. Para o interior dos espaços considera-se ar em repouso e no exterior, ar em movimento.

Tabela 4: Coeficientes de transmissão de calor superficial por convecção,  $h$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) e resistência térmica superficial por convecção,  $R$  ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ) [6]

Posição da superfície	Direção do fluxo de calor	Superfícies não refletoras $\epsilon=0,9$		Superfícies refletoras $\epsilon=0,2$		Superfícies refletoras $\epsilon=0,05$	
		h	R	h	R	h	R
<b>Ar em repouso</b>							
Horizontal	Ascendente	9,09	0,11	5,17	0,19	4,32	0,23
Inclinada a 45°	Ascendente	9,26	0,11	5,00	0,20	4,15	0,24
Vertical	Horizontal	8,29	0,12	4,20	0,24	3,35	0,30
Inclinada a 45°	Descendente	7,50	0,13	3,41	0,29	2,56	0,39
Horizontal	Descendente	6,13	0,16	2,10	0,48	1,25	0,80

Ar em movimento				
Vento 24 km/h (inverno)	Qualquer	34,0	0,030	
Vento 12 km/h (verão)	Qualquer	22,7	0,044	

O valor do coeficiente de transmissão térmica global (U) de elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante é calculado de acordo com as equações (1) e (2).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (1)$$

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2)$$

Em que:

$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interior, ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ );

$R_j$ : Resistência térmica da camada  $j$ , ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ );

$R_{se}$ : Resistência térmica superficial exterior, ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ );

$R$ : Resistência térmica de um material, ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ );

$e$ : Espessura do material, (m);

$\lambda$ : Coeficiente de transmissão térmica do material ( $W/m \cdot ^\circ C$ ).

### 3.1.1. Paredes exteriores

Nas tabelas 5 a 11, apresenta-se a composição e cálculos dos coeficientes de transmissão de calor das paredes com o exterior. As resistências térmicas superficiais ( $R_{si}$  e  $R_{se}$ ) foram combinadas no elemento  $R_{superficie}$ .

Tabela 5 - Parede PE1, sem revestimento interior de cortiça. Coeficiente U.

PE1 - Exterior 320mm						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [ $W/m \cdot ^\circ C$ ]	R [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]	Massa volúmica [ $kg/m^3$ ]	Massa superficial [ $kg/m^2$ ]	Calor específico [ $J/kg \cdot K$ ]
<b>EXTERIOR</b>						

Reboco	0.015	1.3	0.012	1900	28.50	1550
Tijolo	0.29	0.43	0.674	1400	406.00	900
Reboco	0.015	1.3	0.012	1900	28.50	1550
Total	0.32		0.70		463.00	
R <sub>superfície</sub>			0.15			
<b>Coef. transmissão U</b>			<b>1.18</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

Tabela 6 - Parede PE2, sem revestimento interior de cortiça. Coeficiente U.

Parede PE2 - betão sem cortiça						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
Betão > 2% armadura	0.31	2.5	0.124	2000	620.00	960
Total	0.31		0.12		620.00	
R <sub>superfície</sub>			0.15			
<b>Coef. transmissão U</b>			<b>3.65</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

Tabela 7 - Parede PE1a com revestimento interior de cortiça. Coeficiente U.

PE1a - com cortiça						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
Reboco	0.015	1.3	0.012	1900	28.50	1550
Tijolo	0.29	0.43	0.674	1400	406.00	900
Reboco	0.015	1.3	0.012	1900	28.50	1550
ICB Cortiça com ligantes	0.03	0.05	0.600		0.00	960
Total	0.35		1.30		463.00	
R <sub>superfície</sub>			0.15			
<b>Coef. transmissão U</b>			<b>0.69</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

Tabela 8 - Parede PE2a, com revestimento interior de cortiça. Coeficiente U.

PE2a Betão 320mm						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
<b>EXTERIOR</b>						
Betão > 2% armadura	0.32	2.5	0.128	2000	640.00	960
ICB Cortiça com ligantes	0.03	0.05	0.600		0.00	960
Total	0.35		0.73		640.00	
R <sub>superfície</sub>			0.15			
<b>Coef. transmissão U</b>			<b>1.14</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

Tabela 9 - Parede PE4, com revestimento interior de cortiça. Coeficiente U.

Parede PE4 - betão com cortiça						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
Betão > 2% armadura	0.205	2.5	0.082	2000	410.00	960
ICB Cortiça com ligantes	0.025	0.05	0.600		0.00	960
Total	0.235		0.68		410.00	
R <sub>superfície</sub>			0.15			
<b>Coef. transmissão U</b>			<b>1.20</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

As paredes são compostas por camadas verticais de elementos, uma vez que se considerou o englobamento da estrutura de betão na parede. Desta forma, o U das paredes foi

determinado pela ponderação da altura e coeficiente de transmissão térmica de cada tipo de elemento vertical que a compõe. Os elementos verticais que compõem cada tipo de parede estão caracterizados nas tabelas 5 a 9 e nas tabelas 10 e 11 a média ponderada das paredes compostas, representadas na figura 8 a parede com revestimento em cortiça e na figura 9 a parede sem cortiça.

A média ponderada para o coeficiente de transmissão térmica das paredes compostas foi calculado através da equação (3):

$$U = \frac{\sum_i (L_i \times U_i)}{\sum_i L_i} \quad (3)$$

Em que:

$L_i$ : altura do elemento  $i$ , (m);

$U_i$ : coeficiente de transmissão térmica do elemento  $i$ , ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

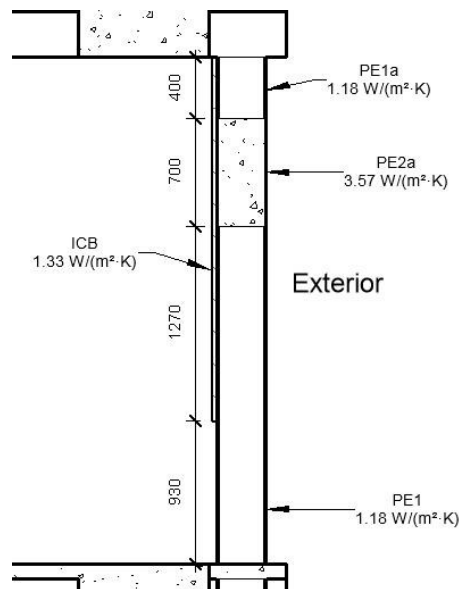


Figura 8 - Composição da parede composta PCE1.

Tabela 10 - Parede composta PCE1. Coeficiente U.

PCE1 parede composta com cortiça - média ponderada					
Elemento	Alt. [m]	U [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	U ponderado	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]
PE1	0.93	1.18	0.847	1.097	463
PE2a	0.7	1.14	0.878	0.797	640
PE1a	1.67	0.69	1.447	1.154	
Total	3.3				266
<b>Coef. transmissão U</b>				<b>0.92 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	

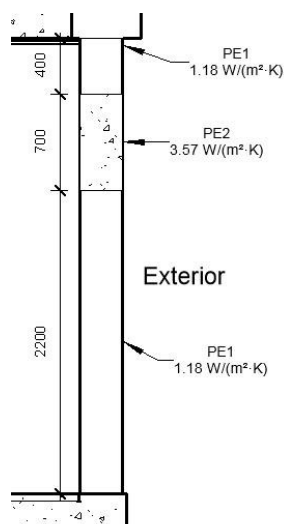


Figura 9 - Composição da parede composta PCE2.

Tabela 11 - Parede composta PCE2. Coeficiente U.

PCE2 parede composta sem cortiça - média ponderada					
Elemento	Alt. [m]	U [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	U ponderado	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]
PE1	2.6	1.18	0.847	3.068	463
PE2	0.7	3.65	0.274	2.555	640
Total	3.3				501
<b>Coef. transmissão U</b>				<b>1.70 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	

### 3.1.2. Paredes interiores

As paredes interiores em avaliação são os elementos que separam os espaços aquecidos dos espaços interiores não aquecidos, como por exemplo, arrumos, ductos ou zonas de circulação. O cálculo foi efetuado de forma análoga ao ponto anterior, no entanto, as duas faces da parede estão em contacto com zonas protegidas pelo que as resistências térmicas superficiais são ambas de ar em repouso. Nas tabelas 12 a 14 são caracterizadas as suas construções e os coeficientes de transmissão térmica.

Tabela 12 - Parede interior Pi1. Coeficiente U.

Parede Pi1						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
Reboco	0.02	1.3	0.015	1900	38.00	1550
Tijolo	0.11		0.270	1400	154.00	900
Reboco	0.02	1.3	0.015	1900	38.00	1550
Total	0.15		0.30		230.00	
Rs interior			0.24			
<b>Coef. transmissão U</b>			<b>1.85</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

Tabela 13 - Parede interior Pi1a. Coeficiente U.

Parede Pi1a - painel de cortiça						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
ICB	0.03	0.05	0.600	60	1.80	670
Reboco	0.02	1.3	0.015	1900	38.00	1550
Tijolo	0.11		0.270	1400	154.00	900
Reboco	0.02	1.3	0.015	1900	38.00	1550
Total	0.18		0.90		231.80	
Rs interior			0.24			
<b>Coef. transmissão U</b>			<b>0.88</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

Para a parede interior composta pelos elementos anteriores, foi atribuído um coeficiente global de transmissão de calor ponderado conforme determinado na tabela 14. A figura 10 apresenta a parede interior composta Pic1. A parede Pi1a consiste na parede Pi1 com revestimento adicional em cortiça. Uma vez que este revestimento está colocado a 930 mm acima do pavimento, a parede é composta por duas camadas verticais, na parte inferior sem

isolamento e a parte superior com o isolamento em cortiça. As restantes paredes interiores sem cortiça são elementos simples da parede Pi1 caracterizada na tabela 12

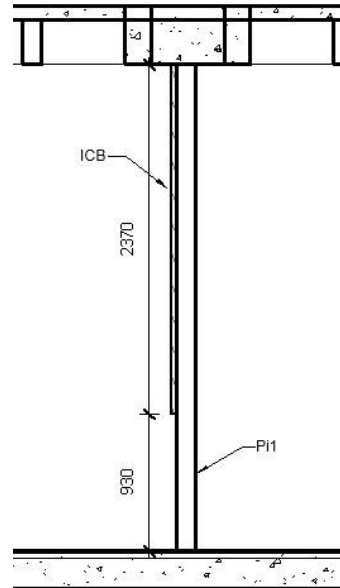


Figura 10 - Parede interior composta Pic1

Tabela 14 - Parede interior Pic1. Coeficiente U.

Ponderação Pic1					
Elemento	Alt. [m]	U [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	U ponderado	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]
Pi1	0.93	1.85	0.541	1.721	463
Pi1a	2.37	0.88	1.136	2.086	640
Total	3.3				590
<b>Coef. transmissão U</b>				<b>1.15 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	

### 3.1.3. Coberturas e pavimentos

Existem dois tipos de cobertura no edifício, ambas horizontais e em betão, com a mesma espessura, no entanto, algumas zonas do edifício têm revestimento exterior em chapa metálica. A cobertura não é acessível e pelo que foi possível observar, a chapa metálica termina encostada à platibanda, criando uma caixa de ar com altura média de 600 mm fracamente ventilada, de acordo com o Despacho 15793-K/2013 [5] . Este espaço não

aquecido, protege a cobertura do aquecimento pelo sol e do efeito do vento. A figura 11 mostra a composição da cobertura com o revestimento metálico e o espaço de ar não aquecido.

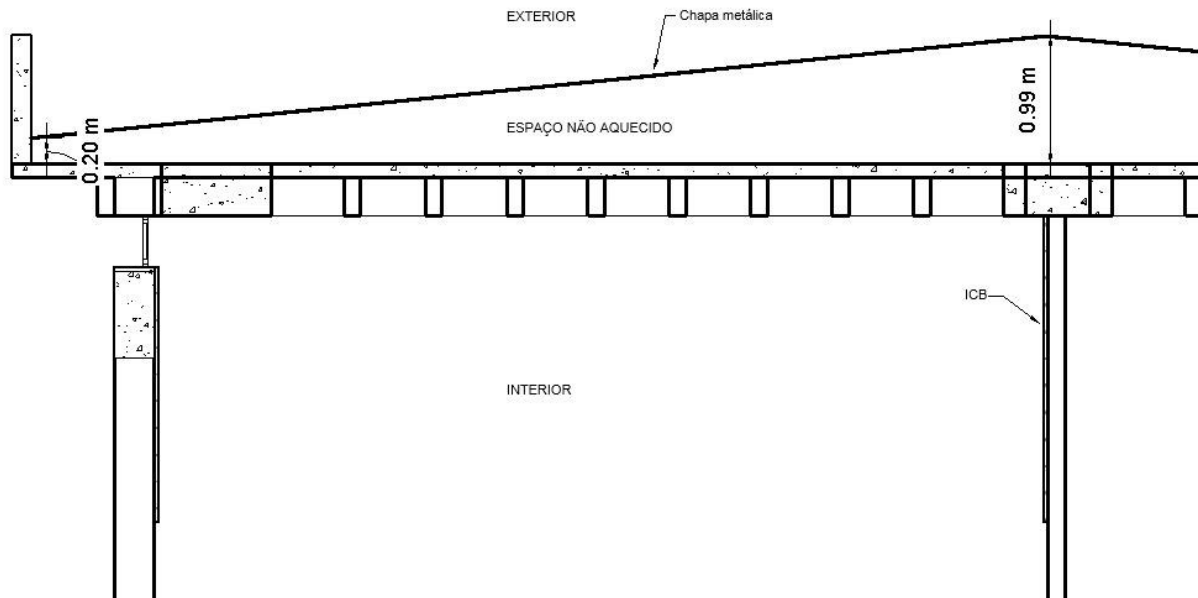


Figura 11 - Composição da cobertura com espaço não aquecido.

Nas tabelas 15 e 16 são determinados os coeficientes U das coberturas sem caixa de ar e com a caixa de ar, respetivamente.

Tabela 15 - Cobertura CB1. Coeficiente U.

Cobertura CB1						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
Betonilha	0.05	1.3	0.038	1900	95.00	1550
Betão	0.2	2.5	0.080	2000	400.00	960
Total	0.25		0.12		495.00	
R <sub>superfície</sub>			0.14			
<b>Coef. Transmissão U</b>			<b>3.87</b>			

Tabela 16 - Cobertura CB2. Coeficiente U.

Cobertura CB2 – espaço interior não aquecido						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
Betonilha	0.05	1.3	0.038	1900	95.00	1550
Betão	0.2	2.5	0.080	2000	400.00	960
Total	0.25		0.12		495.00	
R <sub>superfície</sub>			0.22			
<b>Coef. Transmissão U</b>			<b>2.95</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

### 3.1.4. Janelas e portas

O procedimento de cálculo das portas é idêntico ao das paredes e coberturas, sendo tratados como elementos compostos em camadas perpendiculares ao sentido do fluxo de calor. As tabelas 17 a 19 discriminam a caracterização das camadas das portas e o cálculo dos coeficientes de transmissão térmica.

Tabela 17 - Porta Po1. Coeficiente U.

Porta Po1						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
Madeira	0.002	0.17	0.012		0.00	400
Ar	0.04		0.180		0.00	
Madeira	0.002	0.17	0.012		0.00	400
Total	0.044		0.20		0.00	
R <sub>superfície</sub>			0.15			
<b>Coef. transmissão U</b>			<b>2.83</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

Tabela 18 - Porta Poi1. Coeficiente U.

Porta Poi1						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
Madeira	0.005	0.17	0.029	2500	12.50	400
Ar	0.04		0.180		0.00	
Madeira	0.005	0.17	0.029	2500	12.50	400
Total	0.05		0.24		25.00	
Rs interior			0.24			
<b>Coef. transmissão U</b>			<b>2.09</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

Tabela 19 - Porta Poi2. Coeficiente U.

Porta Poi2						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
Alumínio	0.002	230	0.000	2700	5.40	870
Ar	0.02		0.180	1.23	0.02	
Alumínio	0.002	230	0.000	2700	5.40	870
Total	0.024		0.18		10.82	
Rs interior			0.24			
<b>Coef. transmissão U</b>			<b>2.38</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

As janelas exteriores foram intervencionadas há alguns anos, substituindo as originais por caixilhos de alumínio com vidro duplo. Na impossibilidade de obter as especificações dos caixilhos por parte do fabricante, considerou-se uma série semelhante, da qual é conhecido o coeficiente global de transmissão térmica da janela ( $U_w'$ ) e o ensaio térmico para o caixilho com um vidro específico e devidamente caracterizado pelo fabricante.

Identificado o fabricante dos vidros aplicados através da serigrafia, o mesmo disponibiliza a ferramenta de cálculo do desempenho técnico de um vidro, Calumen Live [7].

O cálculo do coeficiente global de transmissão térmica de uma janela pode ser estimado através do método indicado em ASHRAE [4], na equação (4):

$$U_w = \frac{(U_{cg} \times A_{cg} + U_{eg} \times A_{eg} + U_f \times A_f)}{(A_{cg} + A_{eg} + A_f)} \quad (4)$$

Onde:

$U_w$ : Coeficiente de transmissão térmica da janela, (W/m<sup>2</sup>.°C)

$U_{cg}$ : Coeficiente de transmissão térmica do centro do vidro;

$A_{cg}$ : Área do centro do vidro (excluindo a área  $A_{eg}$ );

$U_{eg}$ : Coeficiente de transmissão térmica da extremidade do vidro;

$A_{eg}$ : Área da extremidade do vidro;

$U_f$ : Coeficientes de transmissão térmica do caixilho;

$A_f$ : Área do caixilho.

A equação (4) estima o coeficiente global de transmissão térmica da janela sem proteção noturna. O  $U_w$  representa a média ponderada dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da janela, nomeadamente, o caixilho e o vidro. Engloba ainda um componente de ponte térmica,  $U_{eg}$ , na extremidade do vidro em contacto com o caixilho. Vidros duplos ou triplos são compostos por um elemento entre os vidros interior e exterior de forma a garantir a separação dos vidros e garantir a vedação da caixa de ar. O tipo de matéria deste elemento de separação, ou vedante, influencia grandemente a condutividade entre os panos interior e exterior do vidro. De acordo com ASHRAE [4], a área de extremidade do vidro ( $A_{eg}$ ) é calculada numa faixa de 65 mm de largura ao longo de todo o perímetro do vidro. Esta área é determinada com modelos computacionais em transferência de calor unidimensional por condução, embora, na realidade, devido a efeitos de convecção e radiação, esta área pode-se estender para lá dos 65 mm e dependerá do tipo de material do vedante e da sua espessura.

Os valores de  $U_{eg}$  para o cálculo são obtidos a partir da tabela 4 do capítulo 30 em ASHRAE [4], apresentada parcialmente na figura 12.

Table 4 U-Factors for Various Fenestration Products in  $W/(m^2 \cdot K)$

Product Type	Glass Only		Vertical Installation											
			Operable (including sliding and swinging glass doors)						Fixed					
			Aluminum Without Thermal Break	Aluminum With Thermal Break	Reinforced Aluminum Clad	Vinyl/ Wood/ Vinyl	Insulated Fiberglass/ Vinyl	Aluminum Without Thermal Break	Aluminum With Thermal Break	Reinforced Aluminum Clad	Wood/ Vinyl	Insulated Fiberglass/ Vinyl		
<b>Single Glazing</b>	Center of Glass	Edge of Glass												
1 3.2 mm glass	5.91	5.91	7.24	6.12	5.14	5.05	4.61	6.42	6.07	5.55	5.55	5.35		
2 6.4 mm acrylic/polycarbonate	5.00	5.00	6.49	5.43	4.51	4.42	4.01	5.60	5.25	4.75	4.75	4.58		
3 3.2 mm acrylic/polycarbonate	5.45	5.45	6.87	5.77	4.82	4.73	4.31	6.01	5.66	5.15	5.15	4.97		
<b>Double Glazing</b>														
4 6.4 mm air space	3.12	3.63	4.93	3.70	3.25	3.13	2.77	3.94	3.56	3.19	3.17	3.04		
5 12.7 mm air space	2.73	3.36	4.62	3.42	3.00	2.87	2.53	3.61	3.22	2.86	2.84	2.72		
6 6.4 mm argon space	2.90	3.48	4.75	3.54	3.11	2.98	2.63	3.75	3.37	3.00	2.98	2.85		
7 12.7 mm argon space	2.56	3.24	4.49	3.30	2.89	2.76	2.42	3.47	3.08	2.73	2.70	2.58		

Figura 12 - Fatores U para vários tipos de janela, segundo ASHRAE Fundamentals Handbook 2001 [4]

Resolvendo a equação (4) para o  $U_w'$  conhecido do ensaio fornecido pelo fabricante, obtemos o  $U_f$  do caixilho. Resolvendo novamente com o valor de  $U_f$  calculado e com o  $U_{cg}$  do vidro pretendido, obtemos o valor do coeficiente global da janela,  $U_w$ .

Na tabela 20 apresentam-se os valores calculados do coeficiente U para as portas e janelas entre espaços interiores e exteriores e entre interiores e interiores não aquecidos, transmissibilidade da luz solar dos vidros e fator solar das janelas.

A transmissibilidade de luz é um valor entre 0 e 1 sem unidades e representa a quantidade de luz transmitida através do vidro em relação à luz incidente.

O fator solar, também designado por SHGC (solar heat gain coefficient) ou valor g, é um coeficiente sem unidades para caracterizar a quantidade de energia solar transmitida através do vidro. O valor varia entre 0, para uma janela totalmente opaca à energia solar, e 1 para a transmissão de total da energia. O valor do fator solar pode ser obtido através do fabricante do vidro ou calculado de acordo com a EN 410 [8]. Para os valores da tabela 20 foi usado o software de cálculo Calumen Live [7]. O Despacho 15793-K/2013 [5] apresenta valores do fator solar para várias composições típicas de vidros.

Tabela 20 – Coeficientes de transmissão de calor das janelas e portas.

Descrição	Tipo	Trans. <sup>1</sup> Luz	Factor solar g	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Porta painel e vidro	VE1 - Porta painel e vidro 800 x 2250mm	0.81	0.76	2.34
Porta 2 folhas vidro duplo	VE2 - Porta 2 folhas vidro duplo 1600 x 2200mm	0.81	0.76	2.52
Porta 2 folhas vidro simples	VE3 - Porta 2 folhas vidro simples 1600 x 2100mm	0.85	0.85	5.8
Porta 1 folha vidro simples	VE4 - Porta 1 folha alumínio vidro simples	0.85	0.85	5.78
Porta 2 folhas vidro simples	VE5 - Porta 2 folhas vidro simples 1600 x 2200mm	0.85	0.85	5.8
Porta 2 folhas vidro simples	VE6 - Porta 2 folhas vidro simples 1500x2180mm	0.85	0.85	5.8
Porta 2 folhas vidro duplo	VE2 - Porta 2 folhas vidro duplo 1600 x 2200mm	0.81	0.76	2.73
Portas interiores madeira	PO1			3.18
Portas Interiores	PO1			3.18
Janela giratória 700x370	VE7a - 700x370	0.81	0.76	2.25
Janela giratória 800x400	VE7b - 800x400	0.81	0.76	2.28
Janela giratória 780x1240	VE7c	0.81	0.76	2.48
Janela giratória 990x1500	VE7d	0.81	0.76	2.57
Janela correr	VE8a - 1570x1240	0.81	0.76	2.91
Janela correr	VE8b - 2800x1600	0.81	0.76	3.06
Janela correr	VE8c - 5000x1600	0.81	0.76	3.02
Janela fixa vidro duplo alumínio	VE9a - 700x400	0.81	0.76	2.27
Janela fixa vidro duplo alumínio	VE9b - 800x400	0.81	0.76	2.28
Janela fixa vidro duplo alumínio	VE9c - 990x1000	0.81	0.76	2.52
Janela fixa vidro duplo alumínio	VE9d - 990x600	0.81	0.76	2.42
Janela fixa vidro simples alumínio	VE10 - 470x2210	0.9	0.87	5.74
Janela fixa vidro simples madeira	VE11a - Interior madeira 830 x 1050	0.91	0.87	5.34
Janela fixa vidro simples madeira	VE11b - Interior madeira 950 x 620	0.91	0.87	5.24
Janela fixa vidro simples madeira	VE11c - Interior madeira 950 x 1050	0.91	0.87	5.37

Janela fixa vidro simples madeira	VE11d	0.91	0.87	5.33
Painel cortina vidro simples	VE12	0.91	0.87	5.8
Painel cortina vidro duplo	VE13	0.81	0.76	2.9
Janela 3 folhas, vidro duplo PVC Rehau	VE14 - 2380x1250 PVC	0.82	0.78	2.34

(1): Transmitância de luz

#### **4. VENTILAÇÃO E PERFIS DE UTILIZAÇÃO DOS ESPAÇOS**

O consumo energético de um edifício depende tanto das cargas externas devidas ao clima, como das internas devido à utilização do edifício. Para a estimativa do consumo energético do edifício através de simulação dinâmica multizona, é necessário definir perfis de utilização horária dos espaços, nomeadamente, a ocupação, iluminação, ventilação, utilização de equipamentos e climatização.

Em cada hora do dia, o perfil de utilização para a ocupação é definido pela percentagem da ocupação máxima do espaço. Para os equipamentos e iluminação são definidos em percentagem da potência total instalada, e para a ventilação e climatização os períodos em que os sistemas estão disponíveis para utilização, mas dependentes de sistemas de controlo da temperatura ou qualidade do ar, através de sondas de temperatura, humidade ou CO<sub>2</sub>.

A quantidade de ocupantes em cada espaço, foi maioritariamente estimada pela densidade de ocupação, ou seja, pelo rácio de área do espaço e ocupantes por área. Os valores recomendados foram obtidos a partir do Decreto-Lei 79/2006 [9] e sumarizados na tabela 21. Em alguns dos espaços é possível determinar a quantidade total de ocupantes, designadamente o anfiteatro, salas de informática, cafetaria e gabinetes.

Tabela 21 - Densidade de ocupação por tipo de espaço.

<b>Tipo de espaço</b>	<b>m<sup>2</sup>/ocup.</b>	<b>Ocup./m<sup>2</sup></b>
Salas de desenho, Escritórios (> 6 pessoas)	15	0.07
Escritório (1 a 6 pessoas)	15	0.07
Show-rooms, exposição, museus	5	0.2
Salas de aula, reuniões, auditórios, bibliotecas	2	0.5
Laboratórios e salas de tratamentos	10	0.1
Salas de pré e pós-operatório	20	0.05
Armazéns, Arquivos, Salas Técnicas e Cozinhas	5	0.2
Plataformas de transporte e similares	5	0.2
Lojas de comércio e serviços	5	0.2
Zonas comuns	5	0.2

As potências dos equipamentos e da iluminação foram obtidas de acordo com o levantamento no local. A iluminação atual é maioritariamente em LED, salvo algumas exceções pontuais como o auditório, instalações sanitárias e arrumos. Nos locais onde não foi possível determinar a potência dos aparelhos, a mesma foi estimada de acordo com o capítulo 29 de ASHRAE [4]. Em cada sala de aula considerou-se um computador e um

projektor. Para as salas de informática, um computador médio e monitor de dimensão entre 400 mm e 460 mm para cada ocupante. Nos gabinetes, considerou-se dois ocupantes por gabinete e um computador para cada ocupante.

Os sistemas de climatização existentes são do tipo expansão direta mono split, ou seja, um equipamento individual para um local, instalados nos gabinetes, cafeteria, secretaria e duas salas de aula. O único local com ventilação mecânica é a instalação sanitária no átrio do piso 0. Não foi possível determinar a climatização e ventilação do auditório.

Na tabela 25 são apresentados os valores de ocupação, potência de iluminação e de equipamentos para cada espaço.

Em função do tipo de utilização do local, foram definidas nove tipologias de espaço, identificados abreviadamente pelas letras de “A” a “F” listados na tabela 22, e na tabela 26 a sua atribuição a cada local.

Tabela 22 - Lista de tipo de utilização e designação abreviada.

Símbolo	Tipo de utilização
A	Estabelecimentos de ensino superior/salas de aula
B	Escritórios
C	Gabinetes
D	Arrumos e salas técnicas
E	Cafeteria e cozinha
F	Auditório

Por sua vez, os espaços foram agrupados em zonas com características idênticas de temperatura.

#### **4.1. Cálculo da ventilação**

Para o cálculo do caudal mínimo de ar novo dos espaços foi aplicado o método analítico de acordo com o ponto 2 da Portaria 353-A/2013 [10]. Para tal, o LNEC desenvolveu em parceria com a ADENE, uma ferramenta de cálculo para determinar caudal mínimo de ar novo [11]. Os caudais mínimos são de satisfação obrigatória em edifícios novos ou em grande intervenção. No presente caso, uma vez que não existe sistema de ventilação mecânica, serve de referência para um eventual projeto de ventilação e climatização.

O método analítico traduz a evolução temporal da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) previsível no espaço, em função do respetivo perfil de ocupação, perfil de ventilação e das características físicas dos ocupantes. O caudal mínimo de ar novo deverá ser superior ao

calculado, corrigido da eficácia do sistema de ventilação. Por não existir sistema de ventilação definido, os caudais de ar indicados na tabela 26 são com eficácia de 100%. O Decreto Lei 353-A/2013 [10] define a eficácia das soluções de ventilação de acordo com a tabela 23.

Tabela 23 - Valores de eficácia ( $\epsilon_v$ ) para diferentes métodos de ventilação

Configuração da distribuição de ar na zona	$\epsilon_v$
Insuflação pelo teto, ar frio	1
Insuflação pelo teto e extração junto ao pavimento, ar quente	1
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,8
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto, desde que o jato de ar de insuflação, tenha velocidade superior a 0,8m/s e alcance até 1,4m do pavimento (nota: para velocidades mais baixas, $\epsilon_v = 0,8$ )	1
Insuflação de ar frio junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, desde que o jato de ar de insuflação com uma velocidade de 0,8m/s, tenha um alcance de 1,4m ou mais, em relação ao pavimento.	1
Insuflação de ar frio a baixa velocidade junto ao pavimento e extração junto ao teto, numa estratégia de ventilação do tipo deslocamento, proporcione um fluxo unidirecional e estratificação térmica	1,2
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração junto ao pavimento, no lado oposto do compartimento	1
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto	0,7
Admissão natural de ar no lado oposto do compartimento em relação ao ponto de extração/retorno mecânica	0,8
Admissão natural de ar junto ao ponto de extração/retorno mecânica	0,5
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, no mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5
Insuflação de ar frio junto ao teto e extração/retorno junto ao pavimento, do mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5

#### 4.2. Caracterização dos espaços e perfis de ocupação

Na tabela 24 são listados os locais, as suas dimensões, designação do perfil de utilização e zona de climatização. Na tabela 25 apresentam-se os resultados dos valores atribuídos a cada local para ocupação, potência de iluminação e potência dos equipamentos, bem como, as respetivas densidades por unidade de área.

No Anexo II são apresentadas as tabelas com os perfis horários para cada tipo de utilização dos espaços. Como base de referência para os horários foi utilizado o Decreto-Lei 79/2006 [9], com alguns ajustes de forma a considerar os horários de ocupação do ISE conhecidos e o horário da cafetaria e cozinha.

Tabela 24 - Caracterização dos espaços por área, volume e tipo.

<b>Designação</b>	<b>Piso</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tipo de espaço</b>	<b>nº zona</b>
Sala 6	Piso 0	85,16	301,1	Sala de aula	1
Anfiteatro	Piso 0	166,61	789,7	Auditório	4
Secretaria/Administração	Piso 0	149,91	526,7	Administrativo	1
I.S.F. 0/1	Piso 0	15,63	54,9	Sanitários	1
I.S.M. 0/1	Piso 0	13,42	47,8	Sanitários	1
Sala 183	Piso 0	23,45	82,3	Sala de aula	1
Sala 179	Piso 0	23,72	82,9	Sala de aula	1
Sala 181	Piso 0	23,75	77,4	Sala de aula	1
Sala 19	Piso 0	47,53	168,2	Sala de aula	1
Sala 18	Piso 0	82,56	290	Sala de aula	1
Entrada	Piso 0	26,64	94,2	Circulação	1
Átrio 0/1	Piso 0	96,89	338,6	Circulação	1
Corredor 0/1	Piso 0	74,63	263,2	Circulação	1
Cafetaria	Piso 0	320,37	945	Cafetaria	5
I.S.F. 0/2	Piso 0	13,05	45,8	Sanitários	1
I.S.M. 0/2	Piso 0	11,71	41,2	Sanitários	1
Arrumo 0/1	Piso 0	2,07	7,5	Arrumos e zonas técnicas	1
Cozinha	Piso 0	22,4	78,4	Cozinhas	1
Átrio 0/2	Piso 0	17,86	62,8	Circulação	1
Sala técnica	Piso 0	27,81	97,1	Arrumos e zonas técnicas	1
Serviços de informática	Piso 0	42,12	149,8	Administrativo	1
Corredor 0/2	Piso 0	9,07	32,1	Circulação	1
Serviços administrativos	Piso 0	320,61	1045,2	Administrativo	1
Gabinete de apoio externo	Piso 0	99,58	348,3	Administrativo	1
I.S.M. 1/1	Piso 1	11,54	40,6	Sanitários	2
I.S.F. 1/1	Piso 1	13,24	46,4	Sanitários	2
Sala 131	Piso 1	46,99	164,6	Sala de aula	2
Sala 132	Piso 1	59,49	208,5	Sala de aula	2
Sala 133	Piso 1	55,86	198	Sala de aula	2
Sala 135	Piso 1	63,91	226,6	Sala de aula	2
Sala 136	Piso 1	85,39	300,1	Sala de aula	2
Sala 139	Piso 1	70,44	247,1	Sala de aula	2
Gabinete 141	Piso 1	12,83	45,4	Gabinetes	2
Gabinete 142	Piso 1	12,75	45,1	Gabinetes	2
Gabinete 143	Piso 1	12,75	44,3	Gabinetes	2

Gabinete 144	Piso 1	11,9	42,1	Gabinetes	2
Gabinete 145	Piso 1	13,6	47,3	Gabinetes	2
Gabinete 146	Piso 1	12,75	45,1	Gabinetes	2
Gabinete 147	Piso 1	12,75	44,4	Gabinetes	2
Gabinete 148	Piso 1	28,07	98,5	Gabinetes	2
Corredor 1/1	Piso 1	23,6	77,5	Circulação	2
Corredor 1/2	Piso 1	81,76	280,9	Circulação	2
I.S.M. 2/1	Piso 2	11,54	42,7	Sanitários	3
I.S.F. 2/1	Piso 2	13,23	49	Sanitários	3
Sala 153	Piso 2	10,98	40,6	Gabinetes	3
Sala 154	Piso 2	28,56	101,5	Sala de aula	3
Sala 155	Piso 2	59,18	211,4	Sala de aula	3
Sala 156	Piso 2	56,61	205,3	Sala de aula	3
Sala 159	Piso 2	46,73	169,4	Sala de aula	3
Sala 160	Piso 2	28,34	102,4	Sala de aula	3
Sala 161	Piso 2	45,8	165,2	Sala de aula	3
Sala 162	Piso 2	47,15	169,7	Sala de aula	3
Sala 163	Piso 2	47,75	170,4	Sala de aula	3
Gabinete 165	Piso 2	12,75	47,2	Gabinetes	3
Gabinete 166	Piso 2	12,75	47,2	Gabinetes	3
Gabinete 167	Piso 2	12,75	47,2	Gabinetes	3
Gabinete 168	Piso 2	11,9	44	Gabinetes	3
Gabinete 169	Piso 2	13,6	50,3	Gabinetes	3
Gabinete 170	Piso 2	12,75	47,2	Gabinetes	3
Gabinete 171	Piso 2	12,75	47,2	Gabinetes	3
Gabinete 172	Piso 2	28,15	104,2	Gabinetes	3
Corredor 2/1	Piso 2	30,28	107,7	Circulação	3
Corredor 2/2	Piso 2	83,25	299,1	Circulação	3
Arrumo 2/1	Piso 2	1,99	7,4	Arrumos e zonas técnicas	3
Escada	Piso 0	54,35	972,9	Circulação	1
Arrumo 1/1	Piso 1	1,99	7,2	Arrumos e zonas técnicas	2
Arrumo 0/2	Piso 0	2,51	8,8	Arrumos e zonas técnicas	1

Tabela 25 - Caracterização dos espaços quanto a ocupação, iluminação e equipamentos.

Designação	Ocupação (pessoas)	m <sup>2</sup> /ocup.	Pot. Iluminação	Dens. Ilum. (W/m <sup>2</sup> )	Equip.	Dens. Equip. (W/m <sup>2</sup> )
Sala 6	43	2	198	2,3	70	0,8
Anfiteatro	95	1,8	1050	6,3	125	0,8
Secretaria/Administração	10	15	270	1,8	1249	8,3
I.S.F. 0/1	4	0,3	70	4,5	0	0,0
I.S.M. 0/1	4	0,3	70	5,2	0	0,0

Sala 183	12	2	44	1,9	0	0,0
Sala 179	12	2	44	1,9	0	0,0
Sala 181	12	2	44	1,9	0	0,0
Sala 19	24	2	198	4,2	0	0,0
Sala 18	30	2,8	252	3,1	3750	45,4
Entrada	5	5	36	1,4	0	0,0
Átrio 0/1	19	5	162	1,7	0	0,0
Corredor 0/1	15	5	88	1,2	0	0,0
Cafetaria	175	1,5	660	2,1	5800	18,1
I.S.F. 0/2	4	0,3	18	1,4	0	0,0
I.S.M. 0/2	4	0,3	18	1,5	0	0,0
Arrumo 0/1	0	0	7	3,4	0	0,0
Cozinha	4	5	44	2,0	5700	254,5
Átrio 0/2	4	5	88	4,9	0	0,0
Sala técnica	1	33	54	1,9	298	10,7
Serviços de informática	3	15	72	1,7	435	10,3
Corredor 0/2	2	5	36	4,0	0	0,0
Serviços administrativos	21	15	954	3,0	2672	8,3
Gabinete de apoio externo	7	15	408	4,1	830	8,3
I.S.M. 1/1	4	0,3	18	1,6	0	0,0
I.S.F. 1/1	4	0,3	18	1,4	0	0,0
Sala 131	23	2	198	4,2	0	0,0
Sala 132	30	2	198	3,3	70	1,2
Sala 133	28	2	198	3,5	70	1,3
Sala 135	32	2	198	3,1	70	1,1
Sala 136	43	2	252	3,0	70	0,8
Sala 139	30	2,3	252	3,6	3750	53,2
Gabinete 141	2	6,4	54	4,2	220	17,1
Gabinete 142	2	6,4	54	4,2	220	17,3
Gabinete 143	2	6,4	54	4,2	220	17,3
Gabinete 144	2	6,0	54	4,5	220	18,5
Gabinete 145	2	6,8	54	4,0	220	16,2
Gabinete 146	2	6,4	54	4,2	220	17,3
Gabinete 147	2	6,4	54	4,2	220	17,3
Gabinete 148	2	14,0	108	3,8	220	7,8
Corredor 1/1	5	5	36	1,5	0	0,0
Corredor 1/2	16	5	144	1,8	0	0,0
I.S.M. 2/1	4	0,3	18	1,6	0	0,0
I.S.F. 2/1	4	0,3	18	1,4	0	0,0
Sala 153	2	5,5	54	4,9	220	20,0
Sala 154	14	2	54	1,9	0	0,0
Sala 155	30	2	252	4,3	70	1,2
Sala 156	28	2	252	4,5	70	1,2
Sala 159	23	2	252	5,4	70	1,5
Sala 160	14	2	36	1,3	70	2,5

Sala 161	23	2	252	5,5	70	1,5
Sala 162	24	2	252	5,3	70	1,5
Sala 163	24	2	252	5,3	70	1,5
Gabinete 165	2	6,4	54	4,2	220	17,3
Gabinete 166	2	6,4	54	4,2	220	17,3
Gabinete 167	2	6,4	54	4,2	220	17,3
Gabinete 168	2	6,0	54	4,5	220	18,5
Gabinete 169	2	6,8	54	4,0	220	16,2
Gabinete 170	2	6,4	54	4,2	220	17,3
Gabinete 171	2	6,4	54	4,2	220	17,3
Gabinete 172	2	14,1	108	3,8	220	7,8
Corredor 2/1	6	5	54	1,8	0	0,0
Corredor 2/2	17	5	126	1,5	0	0,0
Arrumo 2/1	0	0	7	3,5	0	0,0
Escada	11	5	324	6,0	0	0,0
Arrumo 1/1	0	0	7	3,5	0	0,0
Arrumo 0/2	0	0	7	2,8	0	0,0

Tabela 26 - Atribuição dos locais aos perfis e caudais de ventilação.

<b>Designação</b>	<b>Perfil de ocupação</b>	<b>Perfil de iluminação</b>	<b>Perfil de equipamento</b>	<b>Caudal de ar min. (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>RPH (1/h)</b>
Sala 6	A	A	A	1232	4,1
Anfiteatro	F	F	F	1770	2,2
Secretaria/Administração	B	B	B	300	0,6
I.S.F. 0/1	A	A	A	180	3,3
I.S.M. 0/1	A	A	A	180	3,8
Sala 183	A	A	A	343	4,2
Sala 179	A	A	A	343	4,1
Sala 181	A	A	A	344	4,4
Sala 19	A	A	A	687	4,1
Sala 18	A	A	A	635	2,2
Entrada	A	A	A	360	3,8
Átrio 0/1	A	A	A	360	1,1
Corredor 0/1	A	A	A	0	0,0
Cafetaria	E	E	E	4766	5,0
I.S.F. 0/2	A	A	A	0	0,0
I.S.M. 0/2	A	A	A	0	0,0
Arrumo 0/1	D	D	D	0	0,0
Cozinha	E	E	E	0	0,0
Átrio 0/2	A	A	A	0	0,0
Sala técnica	D	D	D	0	0,0

Serviços de informática	B	B	B	84	0,6
Corredor 0/2	A	A	A	0	0,0
Serviços administrativos	B	B	B	641	0,6
Gabinete de apoio externo	B	B	B	199	0,6
I.S.M. 1/1	A	A	A	0	0,0
I.S.F. 1/1	A	A	A	0	0,0
Sala 131	A	A	A	680	4,1
Sala 132	A	A	A	861	4,1
Sala 133	A	A	A	808	4,1
Sala 135	A	A	A	924	4,1
Sala 136	A	A	A	1235	4,1
Sala 139	A	A	A	640	2,6
Gabinete 141	C	C	C	26	0,6
Gabinete 142	C	C	C	26	0,6
Gabinete 143	C	C	C	26	0,6
Gabinete 144	C	C	C	24	0,6
Gabinete 145	C	C	C	27	0,6
Gabinete 146	C	C	C	26	0,6
Gabinete 147	C	C	C	26	0,6
Gabinete 148	C	C	C	56	0,6
Corredor 1/1	A	A	A	0	0,0
Corredor 1/2	A	A	A	0	0,0
I.S.M. 2/1	A	A	A	0	0,0
I.S.F. 2/1	A	A	A	0	0,0
Sala 153	C	C	C	22	0,5
Sala 154	A	A	A	413	4,1
Sala 155	A	A	A	856	4,0
Sala 156	A	A	A	818	4,0
Sala 159	A	A	A	675	4,0
Sala 160	A	A	A	410	4,0
Sala 161	A	A	A	662	4,0
Sala 162	A	A	A	682	4,0
Sala 163	A	A	A	690	4,0
Gabinete 165	C	C	C	26	0,6
Gabinete 166	C	C	C	26	0,6
Gabinete 167	C	C	C	26	0,6
Gabinete 168	C	C	C	24	0,5
Gabinete 169	C	C	C	27	0,5
Gabinete 170	C	C	C	26	0,6
Gabinete 171	C	C	C	26	0,6
Gabinete 172	C	C	C	56	0,5
Corredor 2/1	A	A	A	0	0,0
Corredor 2/2	A	A	A	0	0,0
Arrumo 2/1	D	D	D	0	0,0
Escada	A	A	A	0	0,0

Arrumo 1/1	D	D	D	0	0,0
Arrumo 0/2	D	D	D	0	0,0

#### 4.2.1. Zonas de climatização

Na tabela 27 apresentam-se as temperaturas de conforto calculadas de acordo com o capítulo 5.2, iterando as temperaturas de *set point* de forma a otimizar o conforto térmico, reduzindo ao mínimo os valores de PPD-PMV.

Para o cálculo foram definidas cinco zonas de climatização, agrupando os espaços de cada piso. A cafeteria e o auditório foram considerados em zonas independentes devido à natureza ou pela frequência da sua utilização.

A ventilação foi definida para cada espaço independentemente da zona.

Tabela 27 - Zonas de climatização.

Número	Agrupamento	Arrefecimento set point (°C)	Aquecimento set point (°C)
1	Pisos térreos	26	25
2	Piso 1	26	24
3	Piso 2	26	25
4	Auditório	25	20
5	Cafeteria	24	22

O corpo da escada central, desde os arrumos abaixo do pavimento até ao acesso à cobertura, foi incluído na zona “pisos térreos”.

## **5. CARGAS TÉRMICAS E CONFORTO TÉRMICO**

### **5.1. Condições exteriores e caracterização geográfica**

O ambiente exterior num determinado local é caracterizado por fatores de temperatura, humidade, velocidade do vento e altitude. Ainda que estes fatores variem constantemente, pois são por sua vez afetados por variáveis climáticas globais, é possível estimar a amplitude das suas variações através da análise de dados climáticos históricos.

Estes dados climatológicos existem em publicações como a do Instituto Nacional de Meteorologia (INCM) [12].

Para o cálculo e dimensionamento de um sistema de condicionamento de ar não é necessário utilizar os dados do ano inteiro, bastando estimar as situações mais desfavoráveis para o aquecimento e o arrefecimento. Isto é calculado com os dados das condições exteriores de projetos, fornecido pelo INCM [13].

O local de implantação é Faro, utilizando como referência de projeto os valores da sua base meteorológica em Faro, apresentados na tabela 28 e com a orientação da figura 13.

Tabela 28 - Parâmetros de localização e atmosféricos

Localização:	Faro	
Altitude:	10	[m]
Pressão atmosférica:	101325	[Pa]
Massa superficial do ar:	1,2	[kg/m <sup>3</sup> ]
Calor específico do ar:	1005	[J/(kg°C)]

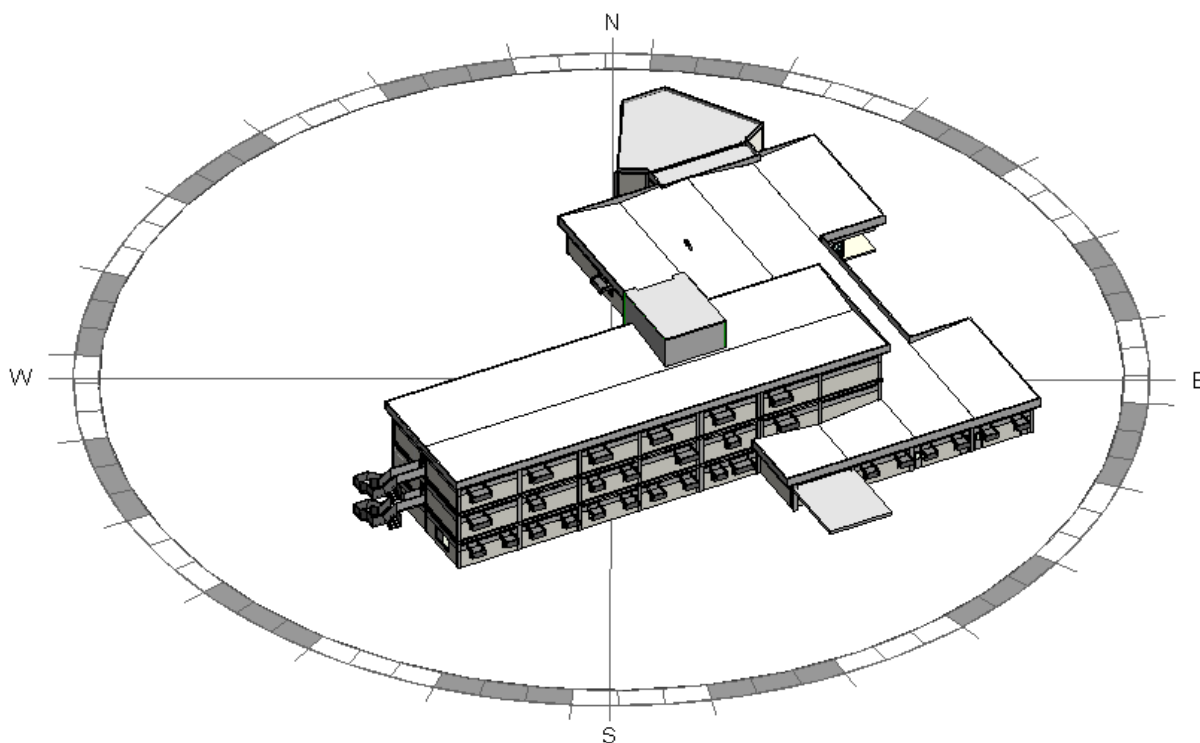


Figura 13 – Implantação e orientação do edifício

### 5.1.1. Condições exteriores na estação de aquecimento

As condições exteriores de projeto apresentadas na tabela 29 foram obtidas a partir das publicações do INCM [13] e [12], selecionando uma probabilidade de 2.5%.

Tabela 29 - Temperaturas e conteúdo de humidade exteriores de projeto no aquecimento.

<i>Dados climáticos para aquecimento</i>				
Mês de projeto:	Janeiro			
Probabilidade de ocorrência:	1%	<b>2.5%</b>	5%	10%
Temperatura:	4.0	<b>5.0</b>	6.2	7.4
Amplitude térmica:	8.2 °C			
Temperatura mínima:	5.0	°C		
Temperatura máxima:	13.2	°C		
Conteúdo de humidade min (w):	4.5	g/kg		
Conteúdo de humidade max (w):	6.8	g/kg		
Amplitude w	2.3	g/kg		

Para determinação do conteúdo mínimo e máximo de humidade foi usado o gráfico psicrométrico para altitude ao nível do mar e as temperaturas e humidades relativas às 9 e às 15 horas.

No Anexo I apresenta-se o gráfico psicrométrico e as condições exteriores e interiores.

Para as condições interiores iniciais de projeto foram definidos os seguintes valores da tabela 30:

Tabela 30 - Temperatura e humidade interior de projeto no aquecimento.

Condições interiores		
Temperatura interior, T_int:	20	[°C]
Humidade relativa, HR_int:	50	[%]
Conteúdo de humidade, W_int:	0,00775	[kg <sub>água</sub> /kg <sub>ar seco</sub> ]

### 5.1.2. Condições exteriores na estação de arrefecimento

As condições exteriores de projeto apresentadas na tabela 31 foram obtidas de forma semelhante ao aquecimento, com 97,5% de probabilidade de ocorrência.

Tabela 31 - Temperaturas e conteúdo de humidade exteriores de projeto no arrefecimento.

<i>Dados climáticos para arrefecimento</i>				
Mês de projeto:	Julho			
Probabilidade de ocorrência:	99%	<b>97.5%</b>	95%	90%
Temperatura:	32.2	<b>30.4</b>	29.1	27.4
Amplitude térmica:	11.2	°C		
Temperatura mínima:	19.2	°C		
Temperatura máxima:	30.4	°C		
Humidade relativa:	0.4			
Conteúdo de humidade (w)	10.9	g/kg		

Para determinação do conteúdo de humidade foi usado o gráfico psicrométrico para altitude do nível do mar e as temperaturas de bolbo seco e temperatura de bolbo húmido coincidente com a temperatura de bolbo seco, determinando-se assim as humidades relativa e absoluta na intersecção das duas temperaturas.

No Anexo I apresenta-se o gráfico psicrométrico e as condições exteriores e interiores.

Para as condições interiores iniciais de projeto foram definidos os seguintes valores da tabela 32:

Tabela 32 - Temperatura e humidade interior de projeto no aquecimento.

Condições interiores		
Temperatura interior, T_int:	25	[°C]
Humidade relativa, HR_int:	50	[%]
Conteúdo de humidade, W_int:	0,0099	[kg <sub>água</sub> /kg <sub>ar seco</sub> ]

### 5.1.3. Estimativa da temperatura de espaços não aquecidos

Para determinar a temperatura dos espaços não aquecidos, um dos métodos consiste em fazer um balanço energético ao corredor.

$$\dot{Q}_{entra} = \dot{Q}_{sai} + \dot{Q}_{ventilação} \quad (5)$$

O calor ganho pelo espaço não aquecido (ENA) é transmitido através das paredes que o separam dos espaços climatizados.

$$\dot{Q} = U \times A \times \Delta T \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{entra} = U \times A \times (T_{sala} - T_{ENA}) \quad (7)$$

As perdas pela envolvente do ENA:

$$\dot{Q}_{sai} = U \times A \times (T_{ENA} - T_{ext}) \quad (8)$$

O calor que se ganha ou perde através do ar da ventilação é determinado pela expressão:

$$\dot{Q}_{ventilação} = \dot{m} \times c_p \times (T_{ENA} - T_{ext}) \quad (9)$$

Para cada ENA foi estimado um valor de renovações horárias por hora (RPH) e com o cálculo do volume, obteve-se o caudal de ventilação.

Foram calculados três espaços não aquecidos em contacto com os espaços avaliados para conforto térmico. Esta estratégia pressupõe que os corredores de acesso ao exterior não são climatizados, correspondendo à situação mais desfavorável.

Resolvendo a equação (5) obtém-se a temperatura do ENA através da aplicação da equação (11), apresentados na tabela 33, e deduzir um parâmetro  $\beta$ , calculado com a equação (10), que relaciona a temperatura intermédia do ENA com a diferença de temperatura entre o interior ocupado e o exterior, e será constante para este espaço tanto no aquecimento como no arrefecimento, enquanto se mantiverem os pressupostos do balanço de energia.

$$\beta = \frac{T_{sala} - T_{ENA}}{T_{sala} - T_{exterior}} \quad (10)$$

$$T_{ENA} = T_{sala} - \beta \times (T_{sala} - T_{ext}) \quad (11)$$

Tabela 33 – Cálculo da temperatura dos espaços não aquecidos

Designação	Área (m <sup>2</sup> )	RPH	Volume (m <sup>3</sup> )	Temperatura no aquecimento (°C)	Temperatura no arrefecimento (°C)	$\beta$
Corredor 0/1	78.1	0.1	265.4	18.5	25.3	0.21
Desvão	1094	0.1	776.7	8.5	29.1	0.79
Teto falso	318.5	0.05	191.1	21.9	25	0.16

## 5.2. Conforto térmico

As condições interiores de conforto de um espaço dependem da finalidade do mesmo. O número de ocupantes, a atividade, o vestuário, equipamento, iluminação, são fatores a considerar nas cargas térmicas e avaliação do conforto.

Ainda que o conceito de conforto se trate de algo subjetivo, existem métodos estatísticos para prever um intervalo de temperatura e humidade que satisfaça os critérios normais da maioria das pessoas.

As cargas térmicas dos espaços foram calculadas com o *Revit* a fim de determinar quais os espaços críticos em densidade de climatização ( $W/m^2$ ) e os de maior carga térmica. Estes espaços servirão de referência no cálculo para os restantes com condições semelhantes.

Através de uma folha de cálculo com as áreas dos elementos das envolventes dos espaços seleccionados, determinou-se a temperatura média radiante através da equação (13). A seleção dos espaços para cálculo do conforto térmico baseou-se no critério das cargas térmicas mais elevadas de cada zona, indicados na tabela 34.

Para a estimativa do índice de conforto interior, é necessário estimar a temperatura média radiante e a temperatura operativa, através das equações (13) e (14) respetivamente.

Para todas as salas a velocidade do ar é de 0,15 m/s na estação de aquecimento e 0,2 na de arrefecimento. A humidade relativa de 50% para ambas as estações.

A temperatura operativa é a temperatura uniforme que deve reinar num ambiente imaginário para que se verifiquem as mesmas trocas de calor por convecção e radiação registadas no ambiente real. A temperatura operativa combina os efeitos da convecção e da radiação e é, pois, calculada pela média ponderada relativamente aos coeficientes de transferência de calor.

Nos ambientes com valores de velocidade do ar inferiores a 0.2 m/s e com a temperatura média radiante inferior a 50°C, a temperatura operativa pode ser calculada aproximadamente através da média aritmética das temperaturas em causa com a equação (14).

1- Cálculo da temperatura da superfície interior:

$$T_{si} = T_{int} + \frac{Q}{A * h_{int}} \quad (12)$$

2- Cálculo da temperatura média radiante:

$$\bar{T}_r = \frac{\sum A * T_{si}}{\sum A} \quad (13)$$

3- Cálculo da temperatura operativa:

$$T_{operativa} = \frac{T_{int} + \bar{T}_r}{2} \quad (14)$$

Tabela 34 - Necessidades de climatização e temperaturas interiores dos espaços de referência

Designação	Tipo de espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Arrefecimento W/m <sup>2</sup>	Aquecimento W/m <sup>2</sup>	Set point verão (°C)	Set point inverno (°C)
Cafetaria	Cafetaria	320,37	119,0	20,9	24	22
Sala 133	Salas	55,86	76,9	14,8	26	24
Sala 139	Salas	70,44	117,1	25,1	26	24
Gabinete 148	Gabinetes	28,07	44,1	38,7	26	24
Sala 154	Salas	28,56	90,5	38,2	26	25
Sala 155	Salas	59,18	86,2	27,3	26	25
Gabinete 172	Gabinetes	28,15	44,9	40,9	26	25
Sala 18	Salas	82,56	87,2	14,9	26	25

Para a intensidade da atividade física, tendo em conta que os espaços são destinados predominantemente a atividades com os ocupantes sentados e em repouso ou baixa atividade, especificou-se para todos os locais 1,04 met que corresponde a 61 W/m<sup>2</sup> e cada indivíduo ocupando 2 m<sup>2</sup>.

As temperaturas indicadas na tabela 34 correspondem às temperaturas ambientes otimizadas para o conforto térmico dos ocupantes, como se descreve de seguida.

### 5.2.1. Índices PMV-PPD

O índice PMV traduz a votação média previsível dos indivíduos de acordo com a escala psico física da tabela 35:

Tabela 35 - Correspondência entre PMV e a sensação térmica.

<b>Sensação Térmica</b>	<b>PMV</b>
Escaldante	+3
Quente	+2
Ligeiramente quente	+1
Neutro	0
Ligeiramente frio	-1
Frio	-2
Gelado	-3

Os valores do índice PMV podem ser estimados para diferentes tipos de atividade e de vestuário e para fatores ambientais diversos.

O índice PPD é um indicador da previsão da percentagem de pessoas insatisfeitas com as condições do ambiente. O facto de se verificar o equilíbrio térmico assegurado pelo sistema de termorregulação em ambientes termicamente moderados não é sinónimo de existência de condições de conforto

Uma vez determinado o valor do parâmetro PMV, a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) pode ser estimada através do gráfico da figura 14 ou alternativamente através da seguinte equação:

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0.03353 \times PMV^4 + 0.2179 \times PMV^2)} \quad (15)$$

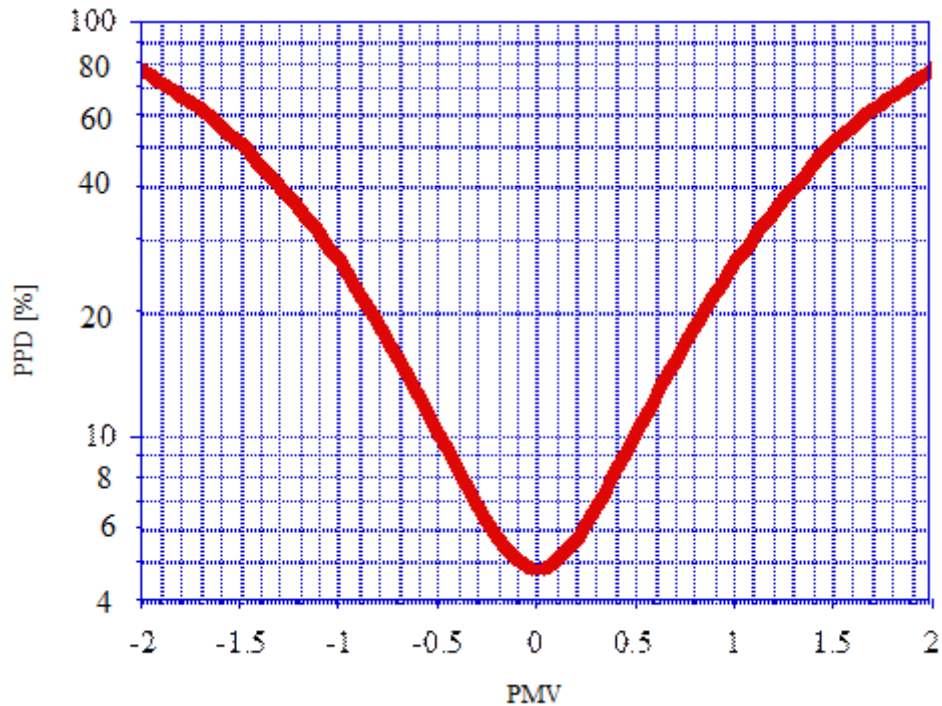


Figura 14 - Relação do PPD com PMV.

Segundo a norma ISO 7730 [14] para se obterem condições de conforto, deve-se adotar um valor de PPD inferior a 10%, ou seja, o parâmetro PMV estará compreendido entre -0.5 e +0.5.

A indumentária dos ocupantes desempenha também um fator importante pois atua como isolamento térmico. O nível de isolamento térmico da roupa é indicado pela unidade clo, representado por  $I_{cl}$ .

Em ASHRAE [15] são indicadas tabelas dos valores de referência para  $I_{cl}$  de indumentária e peças de roupa, reproduzidas aqui na tabela 36:

Tabela 36 - Isolamento típico de indumentária.

Ensemble description	$I_{cl}$ (clo)
Walking shorts, short-sleeved shirt	0.36
Trousers, short-sleeved shirt	0.57
Trousers, long-sleeved shirt	0.61
Same as above, plus suit jacket	0.96
Same as above, plus vest and T-shirt	0.96
Trousers, long-sleeved shirt, long-sleeved sweater, T-shirt	1.01

Same as above, plus suit jacket and long underwear bottoms	1.30
Sweat pants, sweat shirt	0.74
Long-sleeved pajama top, long pajama trousers, short 3/4 sleeved robe, slippers (no socks)	0.96
Knee-length skirt, short-sleeved shirt, panty hose, sandals	0.54
Knee-length skirt, long-sleeved shirt, full slip, panty hose	0.67
Knee-length skirt, long-sleeved shirt, half slip, panty hose, long-sleeved sweater	1.10
Knee-length skirt, long-sleeved shirt, half slip, panty hose, suit jacket	1.04
Ankle-length skirt, long-sleeved shirt, suit jacket, panty hose	1.10
Long-sleeved coveralls, T-shirt	0.72
Overalls, long-sleeved shirt, T-shirt	0.89
Insulated coveralls, long-sleeved thermal underwear, long underwear bottoms	1.37

Para o inverno foi selecionada vestimenta correspondente a 1,01 clo e para o verão 0,57 clo.

Para o cálculo dos índices PMV-PPD foi utilizada a ferramenta de cálculo desenvolvida a partir da publicação da ISO [14].

Com todos os elementos definidos, os índices PMV-PPD foram otimizados para o aquecimento e arrefecimento, ajustando a temperatura ambiente interior, indicadas na tabela 37 pelos valores de *set point*.

Tabela 37 - Índices de conforto térmico dos espaços de referência.

<b>Designação</b>	<b>Tipo de espaço</b>	<b>PMV verão</b>	<b>PPD verão</b>	<b>PMV inverno</b>	<b>PPD inverno</b>	<b>Set point verão (°C)</b>	<b>Set point inverno (°C)</b>	<b>Zona</b>
Cafeteria	Cafeteria	-0,13	5,4	0,07	5,1	24	22	Cafeteria
Sala 133	Salas	0,02	5	0,11	5,3	26	24	Piso 1
Sala 139	Salas	0,2	5,8	-0,21	6	26	24	Piso 1
Gabinete 148	Gabinetes	0,05	5	-0,08	5,1	26	24	Piso 1
Sala 154	Salas	0,08	5,1	-0,02	5	26	25	Piso 2
Sala 155	Salas	0,13	5,3	-0,02	5	26	25	Piso 2
Gabinete 172	Gabinetes	0,03	5	0,14	5,4	26	25	Piso 2
Sala 18	Salas	0,03	5	0,19	5,8	26	25	Pisos Térreos



## 6. MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO

Como já foi referido, o edifício tem poucas formas de isolamento térmico, tendo sido dada ênfase nas janelas. Como tal, focaremos a nossa atenção nas envolventes opacas exteriores, as paredes e coberturas.

A regulamentação atual para o desempenho energético dos edifícios, Decreto-Lei nº 118/2013 [16], define os requisitos de envolventes e limites globais de utilização de energia para edifícios habitacionais e serviços, apresentados na figura 15.

Elemento em zona corrente da envolvente	Zona climática		
	I1	I2	I3
Elemento opaco vertical	1,75	1,60	1,45
Elemento opaco horizontal	1,25	1,00	0,90

Figura 15 - Valores do coeficiente de transmissão térmica máximo admissível para a envolvente opaca exterior de edifícios de comércio e serviços [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

Nas medidas que se propõem, pretende-se equiparar o edifício aos de habitação, com requisitos mais rígidos nos coeficientes de transmissão térmica. O objetivo é preparar o edifício para futura regulamentação com requisitos mais rígidos e melhorar as condições de conforto térmico.

As medidas propostas, não foram aplicadas ao auditório, que como já se referiu, existem dúvidas quanto às soluções construtivas exatas e pretende-se apresentar resultados conservadores. Aplicar o cálculo a uma situação com erro imprevisível iria adulterar os resultados estimados. Contudo, o auditório foi considerado para as cargas térmicas nas situações presentes e de melhorias. Um estudo futuro detalhado a este espaço, poderá ser comparado com os resultados aqui apresentados e aferir facilmente a sua contribuição para o edifício.

### 6.1. Medida nº 1 – paredes exteriores

Como medida de melhoria para a envolvente das paredes exteriores, considera-se a aplicação de isolamento em poliestireno expandido (EPS ou XPS), pelo exterior da parede

com colagem através de argamassa de cimento. Esta aplicação resulta em um acréscimo de resistência térmica de  $1.35 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$  aos elementos das envolventes.

Analisando os elementos descritos no ponto 3.1.1, apresentam-se os resultados sintetizados para as paredes compostas nas tabelas 38 e 39:

Tabela 38 - Coeficiente de transmissão térmica melhorado para a parede PCE1.

PCE1' parede composta com cortiça - média ponderada					
Elemento	Alt, [m]	U [W/m,°C]	R [m <sup>2</sup> ,°C/W]	U ponderado	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]
PE1	0,93	0,45	2,222	0,419	463
PE2	0,7	0,47	2,128	0,329	640
PE1a	1,67	0,36	2,799	0,597	
Total	3,3				266
<b>Coef, transmissão U</b>				<b>0,40 (W/m<sup>2</sup>,°C)</b>	

Tabela 39 - Coeficiente de transmissão térmica melhorado para a parede PCE2.

PCE2' parede composta sem cortiça - média ponderada					
Elemento	Alt, [m]	U [W/m,°C]	R [m <sup>2</sup> ,°C/W]	U ponderado	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]
PE1	2,6	0,45	2,222	1,170	463
PE3	0,7	0,62	1,613	0,434	640
Total	3,3				501
<b>Coef, transmissão U</b>				<b>0,49 (W/m<sup>2</sup>,°C)</b>	

## 6.2. Medida nº 2 – coberturas

Para a zona de coberturas, foi também considerada a aplicação de poliestireno expandido no exterior, sem revestimento. As coberturas não são visitáveis e estão, na grande maioria, revestidas com chapa de aço, não carecendo de proteção térmica. Também será viável a aplicação de lã mineral com espessura equivalente. Esta aplicação resulta em um acréscimo de resistência térmica de  $1.35 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$  aos elementos das envolventes

Tabela 40 - Coeficiente de transmissão térmica melhorado da cobertura exterior CB1.

Cobertura CB1'						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	l [W/m,°C]	R [m <sup>2</sup> ,°C/W]	Massa volumica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg,K]
XPS	0,05	0,037	1,351		0,00	
Betonilha	0,05	1,3	0,038	1900	95,00	1550
Betão	0,2	2,5	0,080	2000	400,00	960
Total	0,3		1,47		495,00	
Rsuperfície			0,14			
<b>Coef. Trans. U ascendente</b>			<b>0,62</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>,°C)</b>		

Tabela 41 - Coeficiente de transmissão térmica melhorado da cobertura interior CB2.

Cobertura CB2' - espaço interior não aquecido						
Camada (int->ext)	Espessura [m]	l [W/m.°C]	R [m <sup>2</sup> .°C/W]	Massa volumica [kg/m <sup>3</sup> ]	Massa superficial [kg/m <sup>2</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]
XPS	0.05	0.037	1.351		0.00	
Betonilha	0.05	1.3	0.038	1900	95.00	1550
Betão	0.2	2.5	0.080	2000	400.00	960
Total	0.3		1.47		495.00	
Rsuperfície			0.22			
<b>Coef. Trans. U ascendente</b>			<b>0.59</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>.°C)</b>		

### 6.3. Medida nº 3 - Produção de energia elétrica

Tem sido prioridade dos últimos governos, a redução do défice tarifário com a eletricidade. Há alguns anos a esta parte, a produção de eletricidade a partir de fontes de energia renovável tem sido fortemente incentivada, principalmente a energia fotovoltaica.

O edifício tem uma ampla área livre e desobstruída na cobertura, com orientação natural propícia à instalação de coletores solares para produção elétrica. A energia produzida seria então usada no autoconsumo e o excedente vendido à rede elétrica de serviço público (RESP), ou, a totalidade da produção vendida à RESP. Na figura 16 apresenta-se a zona de

cobertura considerada para o cálculo e a sua exposição solar anual acumulada. No desenho 301 é apresentada a exposição solar para toda a cobertura

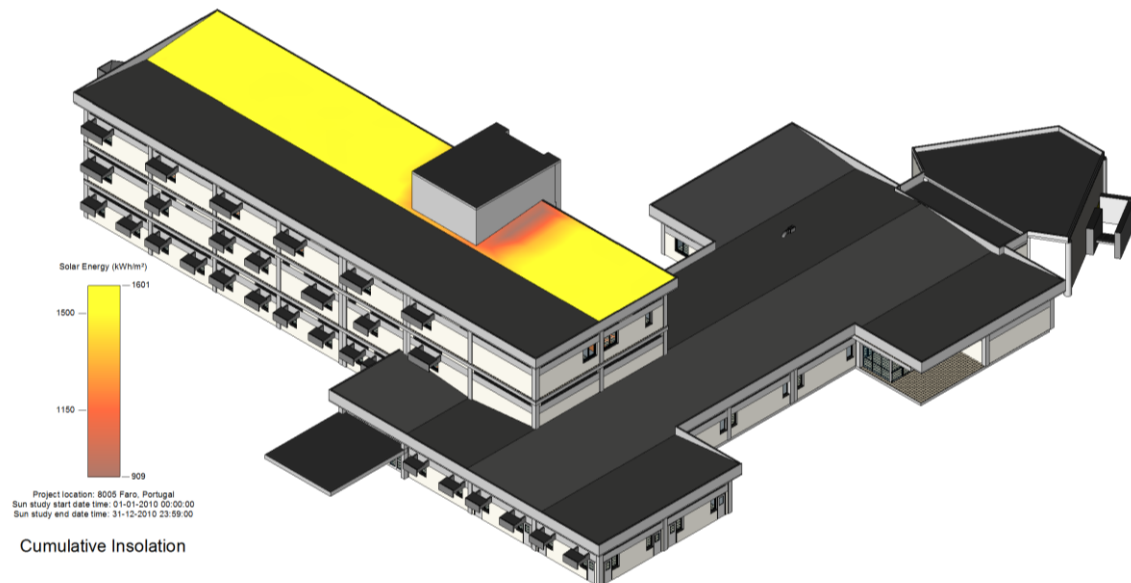


Figura 16 - Exposição solar na cobertura sueste.

Utilizando a ferramenta de simulação de produção fotovoltaica pela Comissão Europeia [17] disponível na internet, pode-se fazer uma estimativa da rentabilidade de um sistema de produção de eletricidade.

Para a simulação consideraram-se os seguintes parâmetros:

- Área de implantação dos coletores: 170 m<sup>2</sup>;
- Orientação -28° (Este = -90°; Oeste = 90°);
- Potência total de pico instalada: 34 kWp;
- Perdas no sistema: 14%;
- Inclinação: 6°;

Embora exista cobertura disponível para instalar mais coletores solares, optou-se por limitar o estudo à zona de cobertura com a orientação mais favorável quer no azimute, quer na inclinação. De forma a garantir o distanciamento aos elementos arquitetónicos e entre coletores, a área de coletores é cerca de 50% da área da cobertura indicada. O ângulo de inclinação de 6° é paralelo à inclinação do revestimento metálico da cobertura, reduzindo o impacto visual e a instalação de estruturas de suporte complexas. Poderá ser desenvolvido um estudo para otimização da área, inclinação, potência e configuração do sistema, no

entanto, não nos parece ser esse o âmbito deste trabalho que pretende demonstrar o potencial de exploração e rentabilização de um recurso.

Para o cálculo da produção elétrica e de rentabilidade, considerou-se uma instalação com as características indicadas nas tabelas 42 e 43. A potência pico (Wp) dos coletores indicados foi selecionado após a consulta de vários modelos disponíveis no mercado. Para o sistema de inversor, considerou-se a potência total do sistema, sem otimização dos *strings* ou dos cabos. Como já foi referido, esse nível de detalhe deverá ser âmbito de um projeto detalhado e específico para o sistema de produção solar.

Tabela 42 - Características do campo de coletores solares.

Área de cobertura (m <sup>2</sup> )	Área de coletor (m <sup>2</sup> )	Nº de coletores	Potência coletor (Wp)	Potência total (kWp)	Custo unitário	Custo total	€/W
170	1,7	100	340	34	250,00€	25000,00€	0,73€

Vida útil dos coletores solares de 25 anos com degradação de 2% no 1º ano e 0.5% nos restantes, conforme indicado na ficha técnica da LG [18].

Tabela 43 - Características do inversor.

Potência inversor (W)	Eficiência inversor	nº de inversores	Custo unitário	Custo total	€/w
15000	0,98	3	3500,00€	10500,00€	0,30€

Considerou-se a substituição do inversor aos 15 anos e degradação anual de 0.5%.

A figura 17 apresenta os resultados mensais da simulação, para produção de eletricidade fotovoltaica em sistema de painéis fixos. Os valores indicados são kWh disponíveis para consumo ou injeção na rede.

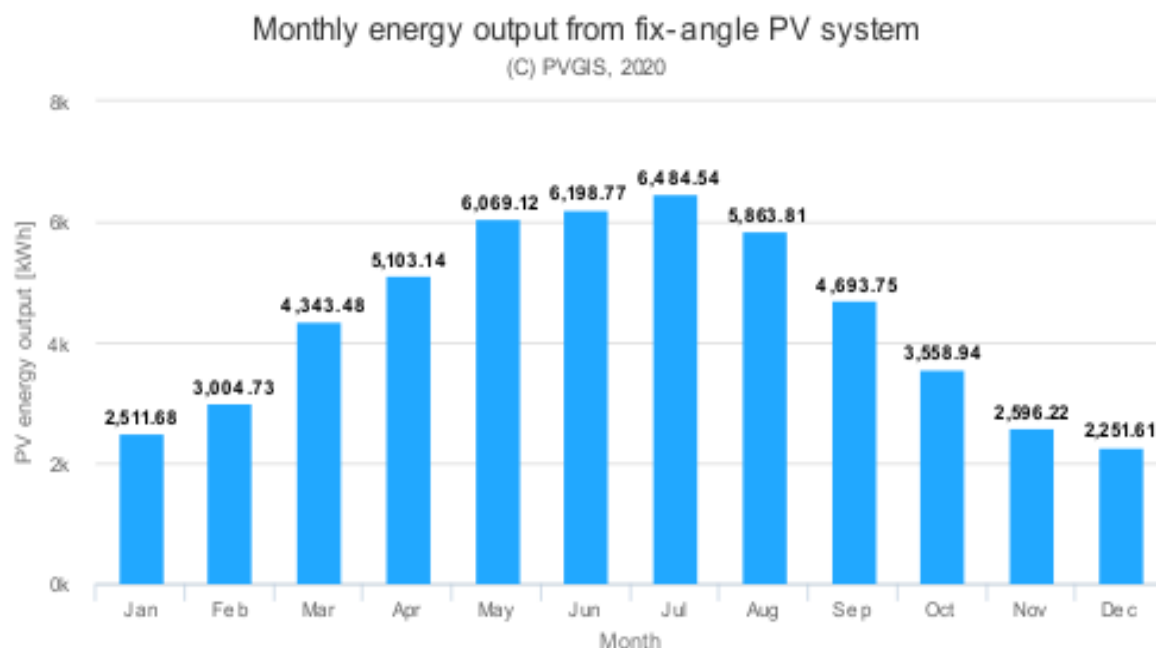


Figura 17 - Produção mensal de energia elétrica fotovoltaica.

Para o cálculo da rentabilidade, a tarifa aplicável à venda de eletricidade à RESP está fixada pela Portaria 15/2015 de 23 de janeiro [19], alterada pela Portaria nº 32/2018 [20] em 95€/MW. Uma vez que a Portaria nº32/2018 [20] limitou-se a manter o valor previamente definido e até à presente data não foi fixo outro, não foi considerado ajuste para a inflação.

Na tabela 44 apresenta-se o resultado do estudo de rentabilidade para o sistema de produção descrito. De salientar que os valores de produção anual estão afetados da eficiência do inversor e do painel solar. No ano 15, estima-se o investimento em novos inversores, com o custo acrescido de 3%/ano de inflação.

Tabela 44 - Estudo de rentabilidade do sistema solar.

Ano	Produção (kWh)	Tarifa (€/kWh)	Saldo anual	Saldo Acumulado
Investimento			-46150,00 €	
1	51897	0,095 €	4930,20 €	-41219,80 €
2	50341	0,095 €	4782,42 €	-36437,37 €
3	50083	0,095 €	4757,90 €	-31679,48 €
4	49825	0,095 €	4733,37 €	-26946,10 €
5	49567	0,095 €	4708,85 €	-22237,25 €
6	49309	0,095 €	4684,32 €	-17552,93 €
7	49050	0,095 €	4659,80 €	-12893,14 €
8	48792	0,095 €	4635,27 €	-8257,86 €
9	48534	0,095 €	4610,75 €	-3647,12 €

10	48276	0,095 €	4586,22 €	939,10 €
11	48018	0,095 €	4561,70 €	5500,80 €
12	47760	0,095 €	4537,17 €	10037,97 €
13	47502	0,095 €	4512,65 €	14550,62 €
14	47243	0,095 €	4488,12 €	19038,74 €
15	47226	0,095 €	-238,51 €	18800,22 €
16	46727	0,095 €	4439,07 €	23239,29 €
17	46469	0,095 €	4414,54 €	27653,84 €
18	46211	0,095 €	4390,02 €	32043,86 €
19	45953	0,095 €	4365,49 €	36409,35 €
20	45694	0,095 €	4340,97 €	40750,32 €
21	45436	0,095 €	4316,44 €	45066,76 €
22	45178	0,095 €	4291,92 €	49358,68 €
23	44920	0,095 €	4267,39 €	53626,07 €
24	44662	0,095 €	4242,87 €	57868,94 €
25	44404	0,095 €	4218,34 €	62087,28 €

Foi realizada a estimativa de consumo energético para o edifício em estudo, aplicando os perfis horários definidos no capítulo 4.2 e indicados em detalhe no Anexo II, apenas para os consumos elétricos da iluminação e do equipamento. Não é possível estimar a parcela da climatização e ventilação por não existirem sistemas devidamente caracterizados e pela necessidade de recorrer a *software* de simulação dinâmica multizona. Na tabela 45 apresentam-se os valores das potências totais associadas à iluminação e equipamentos no edifício bem como a estimativa do consumo anual associada a estes equipamentos.

Tabela 45 - Estimativa de consumo elétrico anual associado à iluminação e equipamentos

Potência total de iluminação (W)	Potência total de equipamentos (W)	Consumo total anual (kWh)
9586	29189	188237,5

#### 6.4. Medida nº 4 - Controlo da iluminação artificial

O consumo energético pela iluminação pode ter uma representação importante na fatura energética de um edifício. Com o Decreto-Lei 118/2013 [16] e a Portaria 349-D/2013 [21], o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) define a iluminação interior e exterior como um dos parâmetros no cálculo da classificação do desempenho. Define também para os edifícios novos e intervencionados, os requisitos

para os parâmetros de iluminação, requisitos para densidade de potência e sistemas de controlo, regulação, monitorização e gestão.

O Decreto-Lei 118/2013 [16] define grande edifício de serviços (GES), edifícios de serviços com área útil interior superior a 1000 m<sup>2</sup>, enquadrando-se nesta categoria o edifício do ISE com área útil de 3033 m<sup>2</sup>.

Tabela 46 - Funções mínimas a adotar em sistemas de iluminação a instalar em edifícios novos e em edifícios sujeitos a grande intervenção [21].

	Edifícios novos		Edifícios sujeitos a grande intervenção	
	GES	PES	GES	PES
Deteção de presença <sup>(1)</sup>	X	X	X	X
Comutação por luz natural <sup>(2)</sup>	-	-	X	-
Regulação por luz natural <sup>(2)</sup>	X	-	-	-
Controlo horário	X	X	X	-
Comando por interface	X	-	X	-
Gestão operacional	X	-	X	-

(1) Deve ser complementada com temporização ajustável, para evitar a desativação da iluminação na ausência de movimento nesse período.

(2) Os valores de referência definidos para o plano de trabalho serão fixados mecanicamente ou com recurso a *software*.

Da tabela 46 constata-se que pelo menos controlo de deteção de presença é exigido em todos os edifícios de serviços novos ou sujeitos a grande intervenção. No caso dos GES, os requisitos para as grandes intervenções são maiores, com os comandos por interface e a gestão operacional com maiores exigências de instalações técnicas e os restantes dispositivos da tabela de relativamente fácil implementação.

Recentemente, as lâmpadas no edifício têm sido alteradas de fluorescentes com balastro magnético para lâmpadas LED, com eficiência superior. Embora, por enquanto, não seja de aplicação obrigatória em edifícios existentes, nas visitas de levantamento não foi possível constatar sistemas de controlo de deteção de presença, controlo horário ou comutação por luz natural. Estes sistemas são de aplicação relativamente simples, bastando instalar relógios programáveis nos quadros elétricos, detetores de movimento nos corredores ou instalações

sanitárias e sensores crepusculares para evitar a iluminação artificial em locais com iluminação natural.

Na figura 18, apresenta-se o resultado da estimativa de iluminância pela luz natural no piso 0 do edifício. A simulação para os pisos 0, 1 e 2 está disponível na peça desenhada 302, realizada com o REVIT. A simulação foi realizada para os dias 21 de junho e 21 de dezembro às 13 horas, com o plano de trabalho definido a 80 cm de altura. Os resultados apresentados são a média, máximo e mínimo de iluminância em unidades lux para ambos os dias.

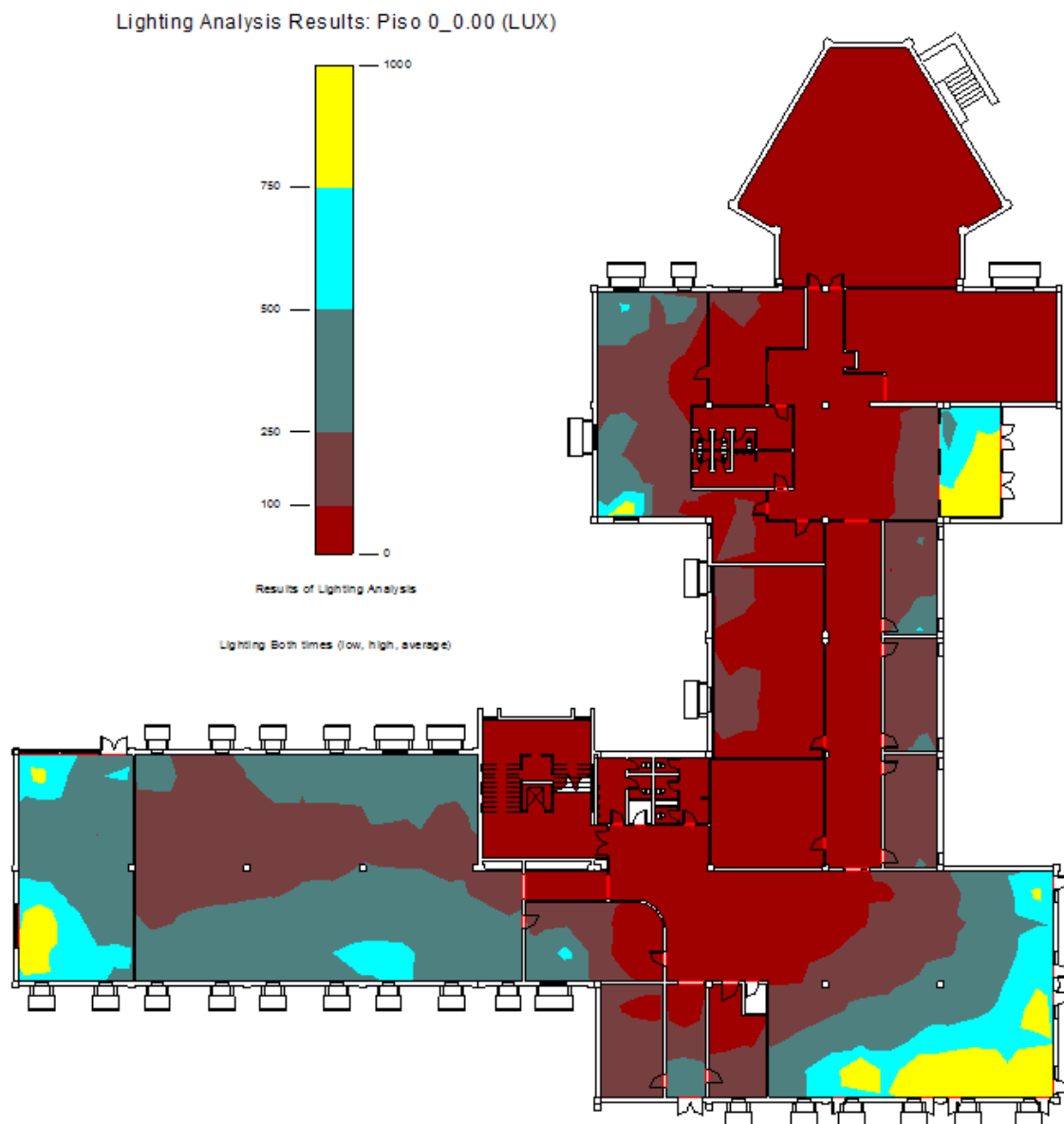


Figura 18 - Estimativa da iluminância devido à iluminação natural no piso 0

Segundo a norma europeia EN 12464-1 [22], a iluminância interior recomendada para salas de aula noturnas e aulas para adultos, escritórios e processamento de dados, deve ser superior a 500 lux. Da análise aos dados no desenho 302 podemos observar que os locais destinados a escritórios e atividades equivalentes, têm valores de iluminância entre 250 e 500 lux apenas pela iluminação natural. Nas salas de aula e gabinetes, a iluminância por luz natural fica muito abaixo do valor mínimo recomendado. Nas zonas de corredores e átrios, onde o requisito é entre 100 e 150 lux, a iluminação natural é praticamente nula. Os detetores de movimento podem ser efetivamente vantajosos, ligando a iluminação quando de facto há necessidade. Como apresentado no seminário de sistemas de controlo de iluminação[23], é possível poupar cerca de 30% em energia com equipamentos de deteção de movimento e investimento de cerca de 15% do valor da instalação, para instalações existentes.

Na tabela 47, apresenta-se a potência de iluminação determinada no levantamento local e a estimativa do consumo anual de energia em iluminação, com base nos perfis horários descritos no capítulo 4.2.

Tabela 47 - Potência de iluminação instalada e consumo anual

Potência total de iluminação (W)	Consumo total anual (kWh)
9586	34707,0

## 6.5. Comparação de resultados das medidas de melhoria

### 6.5.1. Medidas 1 e 2 - isolamento da envolvente

Apresenta-se de seguida, de forma resumida, os resultados das cargas térmicas da construção atual e com as soluções de melhorias propostas para as envolventes exteriores com aplicação de isolamento térmico. Os valores calculados são para as temperaturas ambientes com o PMV-PPD otimizados.

Tabela 48 - Cargas térmicas sem melhorias

Inputs	
Tipo de edifício	Universidade
Área (m <sup>2</sup> )	2980
Volume (m <sup>3</sup> )	11256,50
Resultados calculados	
Carga térmica de arrefecimento máxima (W)	<b>369607</b>
Data e hora de pico do arrefecimento	Julho 16:00
Carga térmica sensível máxima de arrefecimento (W)	298917
Carga térmica latente máxima (W)	70690
Capacidade máxima de arrefecimento (W)	378407
Ventilação de arrefecimento máxima (m <sup>3</sup> /h)	57830,60
Carga térmica máxima de aquecimento (W)	<b>311297</b>
Ventilação máxima de aquecimento (m <sup>3</sup> /h)	46612,30
Resultados específicos	
Densidade de arrefecimento (W/m <sup>2</sup> )	124,02
Densidade da ventilação de arrefecimento (L/(s·m <sup>2</sup> ))	5,39
Ventilação / carga (L/(s·kW))	43,46
Área de arrefecimento / carga (m <sup>2</sup> /kW)	8,06
Densidade de aquecimento (W/m <sup>2</sup> )	104,45
Densidade de ventilação de aquecimento (L/(s·m <sup>2</sup> ))	4,34

Tabela 49 - Cargas térmicas com as melhorias.

Inputs	
Tipo de edifício	Universidade
Área (m <sup>2</sup> )	2980
Volume (m <sup>3</sup> )	11256,50
Resultados calculados	
Carga térmica de arrefecimento máxima (W)	<b>357404</b>
Data e hora de pico do arrefecimento	Julho 16:00
Carga térmica sensível máxima de arrefecimento (W)	288843
Carga térmica latente máxima (W)	68561
Capacidade máxima de arrefecimento (W)	366637
Ventilação de arrefecimento máxima (m <sup>3</sup> /h)	55758,10
Carga térmica máxima de aquecimento (W)	<b>280605</b>
Ventilação máxima de aquecimento (m <sup>3</sup> /h)	41898,20
Resultados específicos	
Densidade de arrefecimento (W/m <sup>2</sup> )	120,23
Densidade da ventilação de arrefecimento (L/(s·m <sup>2</sup> ))	5,21
Ventilação / carga (L/(s·kW))	43,34
Área de arrefecimento / carga (m <sup>2</sup> /kW)	8,32
Densidade de aquecimento (W/m <sup>2</sup> )	94,4
Densidade de ventilação de aquecimento (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3,92

Os resultados do cálculo das cargas térmicas e ventilação de cada espaço são listadas no Anexo III.

Na estação de arrefecimento a redução na potência necessária para climatização é de 15,2 kW e na estação de aquecimento a redução na potência necessária dos equipamentos de produção é de 30,7 kW.

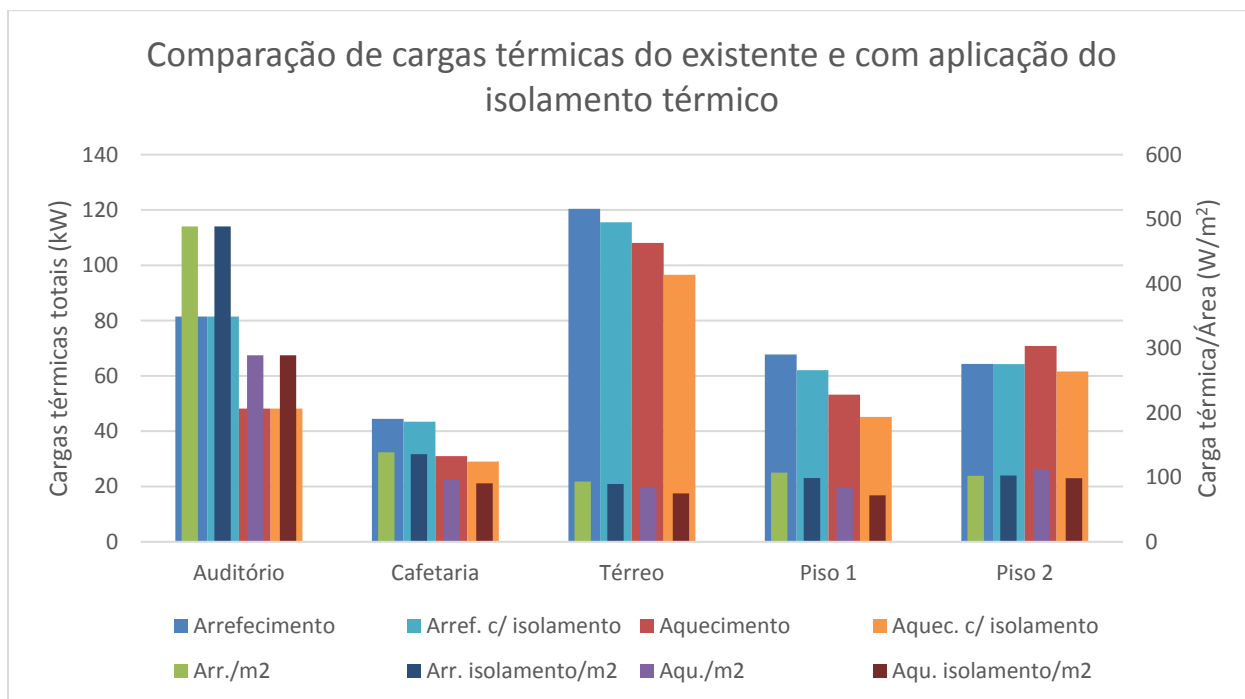


Figura 19 - Gráfico comparativo das cargas térmicas da construção existente, com as medidas de melhoria das fachadas

A figura 19 apresenta os valores das cargas térmicas de arrefecimento e aquecimento totais e por área de pavimento de cada uma das zonas de climatização, para a construção existente e para as medidas de melhoria 1 e 2 de aplicação de isolamento térmico.

Para o auditório não se considerou a aplicação de melhorias por não ter sido possível determinar com rigor os elementos de construção e se já terá sido alvo de intervenção recente.

No caso da cafeteria, a maior parte das cargas são de origem interna dado que é um espaço com ocupação humana elevada e equipamentos de cozinha, a proposta de isolamento térmico tem resultados praticamente nulos.

Para os pisos térreo, 1 e 2 nota-se uma redução ligeira das potências de aquecimento e arrefecimento. De salientar que nestas zonas, as circulações, sanitários e arrumos não foram incluídos no cálculo, considerados como espaços não aquecidos.

Estes valores são relativos às potências dos equipamentos de climatização a selecionar e não de consumos. Para determinação do consumo energético do edifício é necessária simulação dinâmica multizona para todo o ano, com os equipamentos selecionados, o qual está fora do âmbito deste trabalho. O objetivo proposto é a redução dos requisitos energéticos e a melhoria do conforto térmico. Para a simulação dinâmica multizona poderão ser usados os elementos aqui reunidos para os perfis horários, cargas térmicas e condições de ventilação.

Na tabela 50 podemos observar que, mantendo os valores de PPD e PMV calculados de acordo com o capítulo 5.2, devido à aplicação de isolamento térmico, as temperaturas de arrefecimento mantêm-se sensivelmente iguais e as de aquecimento é possível baixar em alguns dos espaços até 2°C. Este ajuste das temperaturas em cerca de 8%, tem efeito direto no consumo energético do edifício, embora, não corresponda diretamente à poupança energética, a qual depende da parcela de contribuição dos locais para o total do edifício.

Tabela 50 - Temperaturas de conforto, PPD e PMV para arrefecimento e aquecimento nas situações existente e com melhorias

Designação	Set point	Set point	PMV	PPD	PMV	PPD
	arrefecimento	aquecimento				
	(°C)	(°C)				
Construção existente						
Cafetaria	24	22	-0,13	5,4	0,07	5,1
Sala 133	26	24	0,02	5	0,11	5,3
Sala 139	26	24	0,2	5,8	-0,21	6
Gabinete 148	26	24	0,05	5	-0,08	5,1
Sala 154	26	25	0,08	5,1	-0,02	5
Sala 155	26	25	0,13	5,3	-0,02	5
Gabinete 172	26	25	0,03	5	0,14	5,4
Sala 18	26	25	0,03	5	0,19	5,8
<b>Média</b>	<b>25,8</b>	<b>24,3</b>	<b>0,05</b>	<b>5,2</b>	<b>0,02</b>	<b>5,3</b>
Medidas de melhoria						
Cafetaria	25	21	0,18	5,7	-0,14	5,4
Sala 133	26	23	-0,03	5	-0,16	5,6
Sala 139	26	23	-0,08	5,1	-0,29	6,8
Gabinete 148	26	23	-0,09	5,2	-0,22	6
Sala 154	26	23	-0,01	5	-0,25	6,3
Sala 155	26	23	-0,02	5	-0,26	6,4
Gabinete 172	26	23	-0,05	5,1	-0,24	6,2
Sala 18	26	23	0,02	5	-0,23	6,1
<b>Média</b>	<b>25,9</b>	<b>22,8</b>	<b>-0,01</b>	<b>5,1</b>	<b>-0,22</b>	<b>6,1</b>

### 6.5.2. Medidas 3 e 4 - Produção de eletricidade e controlo da iluminação

Para além do benefício económico da auto produção de eletricidade através de sistemas fotovoltaicos, há ainda a contribuição para a redução das emissões de carbono. A conversão de consumo energético em emissões de carbono encontra-se definida no Despacho 15793-D/2013 [24], para edifícios habitacionais e de serviços, de acordo com a fonte de energia.

Para o edifício em estudo, a energia utilizada é toda eletricidade. De acordo com o mesmo documento, é definida a conversão de energia final consumida em energia primária.

Na tabela 51 é apresentada a contribuição da medida proposta para instalação de painéis fotovoltaicos na estimativa da energia primária e emissões de dióxido de carbono, de acordo com os fatores de conversão em vigor no Despacho 15793-D/2013 [24], considerando o consumo elétrico do edifício em iluminação e equipamentos.

Tabela 51 - Contribuição do fotovoltaico elétrico para o consumo energético e emissão de carbono

Caso	Potência total de iluminação kW	Potência total de equipamentos kW	Produzido kWh/ano	Energia final consumida kWh/ano	Energia primária kWh <sub>EP</sub> /ano	Emissão de carbono kgCO <sub>2</sub>
Existente	9,6	29,2	0	188237,5	470593,8	27106,2
Fotovoltaico	9,6	29,2	51897	136340,5	340851,3	19633,0
						-7473,2

Para a simulação de energia fotovoltaica no capítulo 6.3, a produção média anual por área de coletor solar durante a vida expectável do sistema, é de 280 kWh/(m<sup>2</sup>.ano). Para o consumo de energia do edifício e esta produtividade, a área de coletores necessária para suprir o consumo elétrico do edifício é de 672 m<sup>2</sup>. No entanto, esta produtividade é válida para a orientação mais favorável que foi estimada. A cobertura tem várias orientações, inclinações e sombreamentos por elementos do edifício, será recomendado um estudo detalhado do potencial de produção fotovoltaica.

Recomenda-se a utilização da energia produzida em auto consumo, uma vez que, a produção é inferior ao consumido pelo edifício e segundo dados da PORDATA [25] a tarifa média de eletricidade para consumidores industriais em 2020 foi de 0,14 €/kWh, superior ao valor 0,095 €/kWh do preço de venda à RESP, conforme descrito no capítulo 6.3.

Como foi referido anteriormente, a grande maioria da iluminação já é realizada com lâmpadas LED, de elevada eficiência. A potência de iluminação representa 25% da potência total para o edifício e o consumo 18% do total anual. Apesar do edifício se destinar a ensino em horários diurno e noturno, existe uma grande ocupação equiparada a horário de escritório no piso térreo. A utilização das salas de aula é variável durante a semana e o ano, enquanto as zonas administrativas são constantes durante o ano. No desenho 302, pode-se ver que a distribuição da iluminância por luz natural é inferior ao adequado nas zonas de circulação e instalações sanitárias, obrigando a que a iluminação nestes locais se encontre

sempre ligada, embora sem ocupação. Para efeitos de cálculo, as zonas de circulação e átrios, foi atribuído o perfil horário “A”, igual às salas de aula. Considerando a utilização com detetores de movimento nestes locais, 10 minutos em cada hora e distribuição uniforme ao longo do período das 8h às 24h, podemos prever a poupança anual com instalação de detetores de movimento nas circulações e instalações sanitárias, apresentado na tabela 52. O investimento estimado considera o total de 22 detetores no teto, com raio de ação de 6m, ligados às caixas de derivação dos circuitos existentes em calha técnica através de cabo de cobre flexível com 4 condutores de 1,5 mm<sup>2</sup>. Para a poupança, segundo dados da PORDATA [25] para utilizadores industriais, considerou-se a tarifa de eletricidade de 0,14 €/kWh e o período de retorno simples sem efeito da inflação.

Tabela 52 - Estimativa de poupança com controlo de iluminação

Caso	Potência total de iluminação (W)	Consumo anual em iluminação (kWh)	Consumo total anual (kWh)	Poupança	Investimento	Retorno (anos)
Existente	1342	34707,0	188237,5			
Controlo de presença	1342	33347,3	186877,8	190,35€	1400,00€	7,4
Total		-1359,7				

Embora o valor da poupança seja baixo, de acordo com o estipulado no Despacho 15793-L/2013 [26], para período de retorno inferior a 8 anos, a medida é de implementação obrigatória. Esta obrigação seria apenas necessária em caso de grande intervenção, podendo ser utilizado como critério de referência na avaliação de viabilidade económica, recomendando-se a implementação desta medida.

## **7. CONCLUSÃO**

O trabalho realizado de levantamento dimensional decorreu sem grandes dificuldades. Facilitou grandemente este trabalho, o facto de o edifício dispor de construção simples e com a estrutura à vista. Alguns dos espaços não foi possível visitar devido ao acesso limitado e restrições sociais durante a pandemia COVID-19. No período em que decorreu este trabalho foram realizadas algumas intervenções de beneficiação que não foi possível identificar com detalhe o trabalho realizado, nomeadamente, a remoção e substituição dos elementos com fibrocimento na cobertura do edifício e fachada exterior do auditório. Na grande maioria, foi possível caracterizar os elementos construtivos na dimensão e constituição.

O fabricante das janelas foi contactado para fornecer os ensaios térmicos ou as características técnicas, mas não obtivemos resposta. O cálculo do coeficiente de condutibilidade das janelas foi estimado por aproximação através de outros elementos do mesmo fabricante com ensaios térmicos disponíveis para consulta.

As propostas de aplicação de isolamento térmico não introduzem reduções consideráveis às cargas térmicas, principalmente devido à grande parcela das cargas térmicas se dever a cargas internas da ocupação e dos equipamentos, no entanto, a simulação dinâmica multizona poderá determinar com maior rigor o interesse económico destas medidas. No âmbito deste trabalho, o isolamento das envolventes permite reduzir as temperaturas interiores da climatização para o aquecimento e reduzir a potência dos equipamentos de climatização, dois pontos relevantes quer no consumo energético, quer no investimento de equipamento de climatização.

Para a produção de eletricidade fotovoltaica, apesar da grande área de cobertura, a inclinação e orientação nem sempre é a mais favorável. É possível a instalação dos coletores solares apoiados numa estrutura de forma a corrigir a inclinação desfavorável, no entanto, não foi considerado por desvirtuar a componente arquitetónica, exigir maior carga devido ao vento e peso na estrutura existente e o custo acrescido da referida estrutura. Pretendeu-se, assim, avaliar a situação mais desfavorável, a qual é bastante atrativa economicamente para auto consumo, dado o elevado consumo elétrico do edifício e a diferença dos preços de compra e venda da eletricidade.

A proposta de sistemas de controlo da iluminação, pretendeu incidir sob a mínima intervenção possível nas instalações existentes de forma a reduzir assim os custos de instalação. É proposta a instalação de sistemas de deteção de movimento nos corredores e instalações sanitárias, apesar do baixo efeito na redução do consumo elétrico, a sua aplicação

também é mais económica, permitindo otimizar o investimento. O principal consumo elétrico da iluminação está associado às salas de aula com comandos manuais locais, enquanto que os corredores e instalações sanitárias, são controladas através dos quadros elétricos.

A maior parte do edifício não está equipado com sistemas de climatização nem ventilação, encontrando-se estes equipamentos limitados aos gabinetes de trabalho, áreas administrativas e a duas salas de aula. Mesmo nestes locais, os aparelhos são antigos e do tipo de expansão direta *split* local.

Os principais objetivos neste trabalho foram selecionar medidas com vista a melhorar o conforto térmico, definir os perfis horários, calcular os requisitos de ventilação e aplicar medidas economicamente viáveis com vista à redução do consumo energético. Como objetivos secundários a criação do modelo BIM que poderá ser utilizado e, principalmente, desenvolvido em trabalhos futuros. Será uma mais valia académica e institucional o aperfeiçoamento em precisão e detalhe do modelo.

Propõe-se que os sistemas futuros de climatização utilizem máquinas de expansão direta tipo VRF com unidades interiores individuais nos gabinetes e salas de aulas, com UTAN's para o ar novo a ser insuflado diretamente nos espaços e a extração através dos corredores de circulação e grelhas de transferência. Nas zonas da cafetaria e auditório a climatização poderá ser efetuada através de UTAN's individuais para estes espaços. A proposta de sistemas VRF, em relação aos sistemas de ar-água com bomba de calor e ventiloconvetor tipicamente utilizados em instalações desta dimensão, tem a principal vantagem da pequena dimensão ocupada pelos equipamentos principais e secundários, facilidade de instalação em edifícios existentes, baixa manutenção e crescente eficiência dos equipamentos nos últimos anos. É possível encontrar marcas comerciais com SEER de 9 e SCOP superior a 4. Os sistemas a três tubos têm ainda a vantagem acrescida de permitir climatizar quente e frio em máquinas interiores diferentes simultaneamente.

Não obstante a estratégia de climatização a adotar, apresenta-se neste trabalho as condições de conforto térmico que deverão orientar trabalhos futuros. Com a aplicação e algumas medidas de isolamento térmico é possível reduzir a potência dos equipamentos de climatização. Os resultados aqui apresentados incluem as cargas térmicas dos corredores e escada central, que na opinião do autor deste projeto, não devem ser considerados espaços de ocupação permanente. A potência e consumos energéticos podem ser otimizados com

uma solução de ventilação eficiente e permitindo temperaturas menos otimizadas nos espaços de circulação.

Este trabalho focou-se essencialmente no cálculo de cargas térmicas e caudais mínimos de ar novo de forma a que trabalhos futuros possam utilizar estes elementos como base. Não fará muito sentido instalar sistemas de climatização ou ventilação num edifício que não está termicamente isolado. A partir daqui é possível definir uma estratégia de climatização, que o dimensionamento e seleção da mesma, passará pela simulação dinâmica multizona em programas mais adequados para o efeito do que o REVIT, no entanto, estes programas, na grande maioria são compatíveis com modelos BIM. A utilização deste modelo poupará grande parte do tempo e trabalho no desenvolvimento destes sistemas, libertando recursos para desenvolver soluções otimizadas.

Como trabalhos futuros propõem-se os seguintes:

- Simulação dinâmica multizona em edifícios em *software* BIM;
- Cálculo computacional de fluídos (ex.: *Autodesk CFD*);
- Levantamento e caracterização das instalações elétricas e cálculo luminotécnico (ex.: *DIALUX*);
- Levantamento das instalações de água e estimativa de custos de substituição;
- Projeto de climatização do edifício.

## **8. BIBLIOGRAFIA**

- [1] Pordata, “www.pordata.pt,” 2017. [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/>. [Acedido em 11 2017].
- [2] J. Bernardo, “Estratégia para a eficiência energética nos edifícios públicos,” Lisboa, LNEG, 2015.
- [3] C. A. P. Santos e L. Matias, ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, LNEG, 2007.
- [4] ASHRAE, 2001 ASHRAE Handbook Fundamentals (SI), ASHRAE, 2001.
- [5] Diário da República, “Despacho 15793-K/2013,” 3 de dezembro.
- [6] ASHRAE, ASHRAE Handbook - Fundamentals (1989) SI Edition, ASHRAE, 1989.
- [7] Saint-Gobain, “Calumen live,” Saint-Gobain, [Online]. Available: <https://calumenlive.com/>.
- [8] CEN/CENELEC, “EN 410 - Glass in building - Determination of luminous and solar characteristics of glazing,” CEN, 2011.
- [9] Diário da República, “Decreto-Lei 79/2006,” 4 de abril.
- [10] Diário da República, “Portaria 353-A/2013,” 4 de dezembro.

- [11] A. Pinto, “Aplicação para determinar caudal mínimo de ar novo, RECS,” 2013.
- [12] J. C. Mendes, D. X. Queiroz, P. A. Anastácio, M. T. C. Gonçalves, M. d. R. S. Cardoso e M. G. S. G. Coelho, O clima de Portugal - Normais climatológicas da região de Alentejo e Algarve correspondentes a 1951-1980, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1991.
- [13] J. C. Mendes, M. R. Guerreiro, C. A. P. d. Santos e J. A. V. Paiva, Temperaturas exteriores de projeto e números de graus-dia, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1989.
- [14] ISO, “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,” ISO.
- [15] ASHRAE, “Thermal Comfort chapter, Fundamentals volume of the,” em *ASHRAE Handbook*, Atlanta, 2005.
- [16] Diário da República, “Decreto-Lei 118/2013,” 20 de agosto.
- [17] Comissão Europeia, “Interactive tools,” [Online]. Available: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html). [Acedido em Setembro 2020].
- [18] LG Electronics, “LG NEON 2,” 2015.
- [19] Diário da República, “Portaria nº 15/2015,” 23 de janeiro.
- [20] Diário da República, “Portaria nº 32/2018,” 23 de janeiro.

- [21] Diário da República, “Portaria 349-D/2013,” 2 de dezembro.
- [22] CEN/CENELEC, “12464-1 Light & Lighting – Lighting of Indoor Workplaces,” CEN, 2002.
- [23] R. Reis, “Sistemas de controlo de iluminação,” em *Seminário sistemas de controlo de iluminação*, Faro, 2012.
- [24] Diário da República, “Despacho 15793-D/2013,” 3 de dezembro.
- [25] Fundação Francisco Manuel dos Santos, “PORDATA,” [Online]. Available: [https://www.pordata.pt/Europa/Pre%\*c\*3%\*a\*7os+da+electricidade+para+utilizadores+dom%\*c\*3%\*a\*9sticos+e+industriais+\(Euro+ECU\)-1477-313029](https://www.pordata.pt/Europa/Pre%c3%a7os+da+electricidade+para+utilizadores+dom%c3%a9sticos+e+industriais+(Euro+ECU)-1477-313029). [Acedido em 8 1 2021].
- [26] Diário da República, “Despacho 15793-L/2013,” *Diário da República*, 3 de dezembro.

## **ANEXOS**

## **Anexo I - Gráfico psicrométrico**



# ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO.1

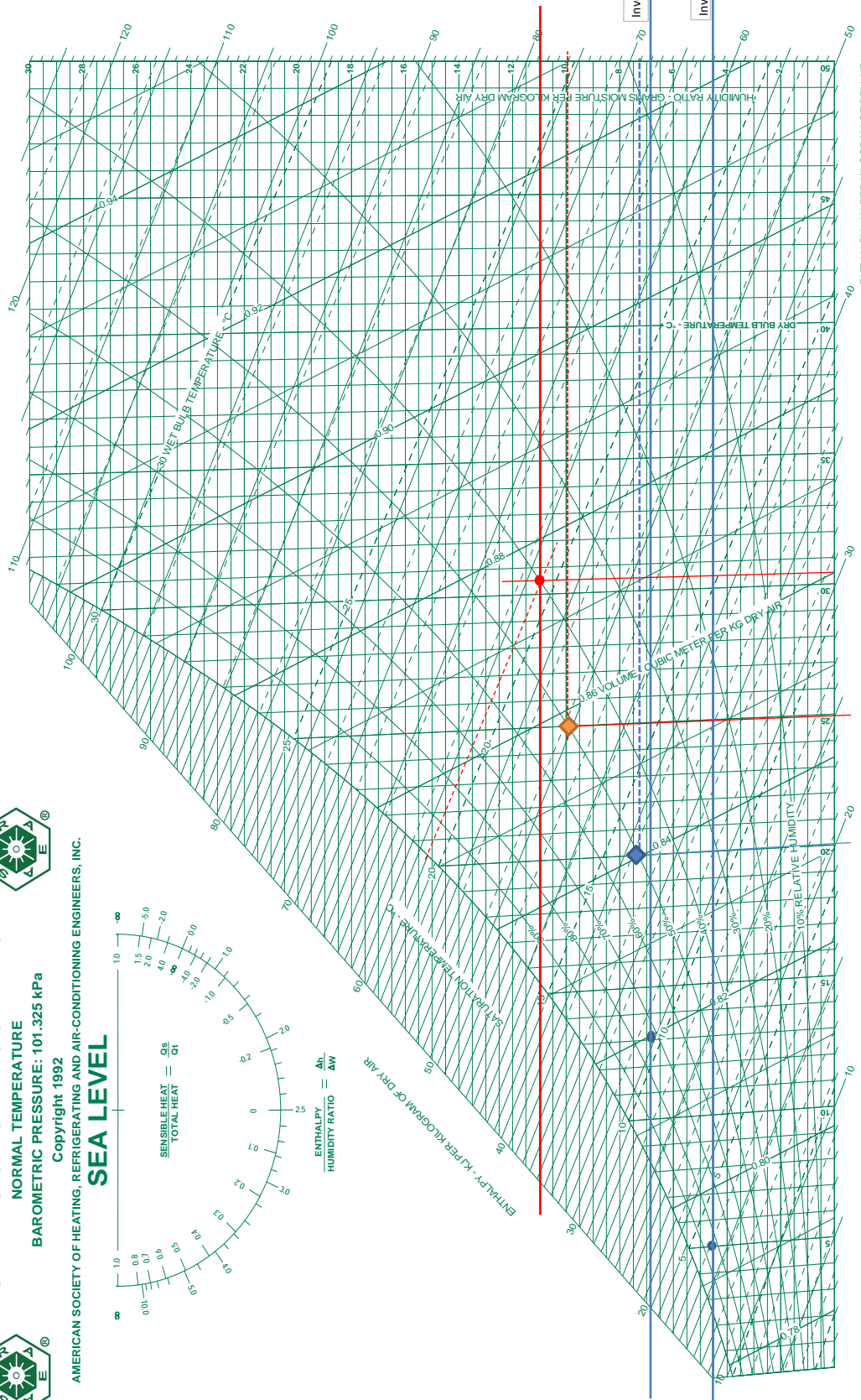
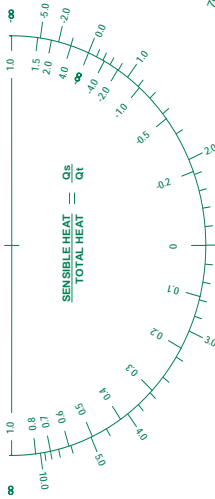
NORMAL TEMPERATURE

BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa

Copyright 1992

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.

SEA LEVEL



◆ Interior da sala no verão  
◆ Interior da sala no inverno

Inverno, 15h

Inverno, 9h

## **Anexo II - Perfis horários dos espaços**

## A – Estabelecimentos de ensino superior

Ocupação (Horas)	Iluminação				Equipamentos				Climatização				Ventilação			
	Seg - Sex (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Ferriados (%)	Seg - Sex (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Ferriados (%)	Seg - Sex (0/1)	Sábado (0/1)	Domingo (0/1)	Ferriados (0/1)	Seg - Sex (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Ferriados (%)
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00 - 07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00 - 08:00	5	0	0	0	15	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
08:00 - 09:00	80	0	0	0	85	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
09:00 - 10:00	85	0	0	0	90	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
10:00 - 11:00	100	0	0	0	100	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
11:00 - 12:00	95	0	0	0	95	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
12:00 - 13:00	45	0	0	0	45	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
13:00 - 14:00	70	0	0	0	60	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
14:00 - 15:00	95	0	0	0	100	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
15:00 - 16:00	100	0	0	0	95	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
16:00 - 17:00	90	0	0	0	80	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
17:00 - 18:00	50	0	0	0	40	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
18:00 - 19:00	10	0	0	0	10	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
19:00 - 20:00	80	0	0	0	85	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
20:00 - 21:00	85	0	0	0	90	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
21:00 - 22:00	100	0	0	0	100	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
22:00 - 23:00	45	0	0	0	50	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
23:00 - 24:00	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## B – Escritórios

Ocupação (Horas)	Equipamentos			Iluminação			Climatização			Ventilação						
	Seg - Sex (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Ferriados (%)	Seg - Sex (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Ferriados (%)	Seg - Sex (0/1)	Sábado (0/1)	Domingo (0/1)	Ferriados (0/1)	Seg - Sex (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Ferriados (%)
00:00 - 01:00	15	15	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	15	15	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	15	15	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	15	15	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	15	15	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	15	15	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00 - 07:00	30	15	15	10	5	5	0	0	0	1	0	0	100	0	0	0
07:00 - 08:00	70	15	15	30	5	5	10	0	0	1	0	0	100	0	0	0
08:00 - 09:00	85	15	15	75	5	5	50	0	0	1	0	0	100	0	0	0
09:00 - 10:00	95	15	15	85	5	5	90	0	0	1	0	0	100	0	0	0
10:00 - 11:00	100	15	15	100	5	5	100	0	0	1	0	0	100	0	0	0
11:00 - 12:00	95	15	15	100	5	5	100	0	0	1	0	0	100	0	0	0
12:00 - 13:00	70	15	15	50	5	5	50	0	0	1	0	0	100	0	0	0
13:00 - 14:00	70	15	15	85	5	5	70	0	0	1	0	0	100	0	0	0
14:00 - 15:00	95	15	15	95	5	5	90	0	0	1	0	0	100	0	0	0
15:00 - 16:00	100	15	15	100	5	5	100	0	0	1	0	0	100	0	0	0
16:00 - 17:00	90	15	15	95	5	5	80	0	0	1	0	0	100	0	0	0
17:00 - 18:00	70	15	15	50	5	5	50	0	0	1	0	0	100	0	0	0
18:00 - 19:00	45	15	15	30	5	5	20	0	0	1	0	0	100	0	0	0
19:00 - 20:00	25	15	15	25	5	5	10	0	0	1	0	0	100	0	0	0
20:00 - 21:00	15	15	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00 - 22:00	15	15	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 - 23:00	15	15	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00 - 24:00	15	15	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## C – Gabinetes

Ocupação (Horas)	Equipamentos			Iluminação			Climatização			Ventilação						
	Seg - Sex (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)	Seg - Sex (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)	Seg - Sex (0/1)	Sábado (0/1)	Domingo (0/1)	Feridos (0/1)	Seg - Sex (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00 - 07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00 - 08:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00 - 09:00	5	0	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0	100	0	0	0
09:00 - 10:00	10	0	0	15	15	0	0	0	15	0	0	0	100	0	0	0
10:00 - 11:00	50	0	0	55	55	0	0	0	55	0	0	0	100	0	0	0
11:00 - 12:00	50	0	0	55	55	0	0	0	55	0	0	0	100	0	0	0
12:00 - 13:00	50	0	0	55	55	0	0	0	55	0	0	0	100	0	0	0
13:00 - 14:00	10	0	0	15	15	0	0	0	15	0	0	0	100	0	0	0
14:00 - 15:00	10	0	0	15	15	0	0	0	15	0	0	0	100	0	0	0
15:00 - 16:00	50	0	0	55	55	0	0	0	55	0	0	0	100	0	0	0
16:00 - 17:00	50	0	0	55	55	0	0	0	55	0	0	0	100	0	0	0
17:00 - 18:00	80	0	0	85	85	0	0	0	85	0	0	0	100	0	0	0
18:00 - 19:00	10	0	0	15	15	0	0	0	15	0	0	0	100	0	0	0
19:00 - 20:00	50	0	0	55	55	0	0	0	55	0	0	0	100	0	0	0
20:00 - 21:00	50	0	0	55	55	0	0	0	55	0	0	0	100	0	0	0
21:00 - 22:00	50	0	0	55	55	0	0	0	55	0	0	0	100	0	0	0
22:00 - 23:00	5	0	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0	100	0	0	0
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## D – Arrumos e salas técnicas

Ocupação (Horas)	Equipamentos				Iluminação				Climatização				Ventilação			
	Seg - Sex. (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)	Seg - Sex. (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)	Seg - Sex. (0/1)	Sábado (0/1)	Domingo (0/1)	Feridos (0/1)	Seg - Sex. (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00 - 07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00 - 08:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00 - 09:00	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09:00 - 10:00	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00 - 11:00	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00 - 12:00	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00 - 13:00	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00 - 14:00	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00 - 15:00	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00 - 16:00	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00 - 17:00	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00 - 18:00	5	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00 - 19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## E – Cafeteria e cozinha

Ocupação (Horas)	Iluminação				Equipamentos				Climatização				Ventilação			
	Seg - Sex. (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)	Seg - Sex. (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)	Seg - Sex. (0/1)	Sábado (0/1)	Domingo (0/1)	Feridos (0/1)	Seg - Sex. (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)
00:00 - 01:00	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00 - 07:00	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00 - 08:00	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00 - 09:00	80	0	0	0	95	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
09:00 - 10:00	85	0	0	0	85	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
10:00 - 11:00	100	0	0	0	85	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
11:00 - 12:00	95	0	0	0	100	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
12:00 - 13:00	95	0	0	0	100	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
13:00 - 14:00	70	0	0	0	75	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
14:00 - 15:00	45	0	0	0	60	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
15:00 - 16:00	25	0	0	0	60	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
16:00 - 17:00	50	0	0	0	95	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
17:00 - 18:00	25	0	0	0	100	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
18:00 - 19:00	10	0	0	0	85	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
19:00 - 20:00	100	0	0	0	60	50	50	50	1	0	0	0	100	0	0	0
20:00 - 21:00	85	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00 - 22:00	25	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 - 23:00	10	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00 - 24:00	0	0	0	0	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0

## F – Auditório

Ocupação (Horas)	Iluminação				Equipamentos				Climatização				Ventilação			
	Seg - Sex. (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)	Seg - Sex. (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)	Seg - Sex. (0/1)	Sábado (0/1)	Domingo (0/1)	Feridos (0/1)	Seg - Sex. (%)	Sábado (%)	Domingo (%)	Feridos (%)
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00 - 07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00 - 08:00	5	0	0	0	15	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
08:00 - 09:00	80	0	0	0	85	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
09:00 - 10:00	85	0	0	0	90	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
10:00 - 11:00	100	0	0	0	100	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
11:00 - 12:00	95	0	0	0	95	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
12:00 - 13:00	0	0	0	0	45	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
13:00 - 14:00	0	0	0	0	60	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
14:00 - 15:00	95	0	0	0	95	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
15:00 - 16:00	100	0	0	0	100	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
16:00 - 17:00	90	0	0	0	80	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
17:00 - 18:00	50	0	0	0	40	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
18:00 - 19:00	10	0	0	0	10	0	0	0	1	0	0	0	100	0	0	0
19:00 - 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## **Anexo III - Cargas térmicas calculadas**

## Project Summary

Location and Weather	
Project	Edifício ISE - construção existente
Address	
Calculation Time	sábado, 12 de setembro de 2020 14:42
Report Type	Simple
Latitude	37.03°
Longitude	-7.92°
Summer Dry Bulb	33 °C
Summer Wet Bulb	21 °C
Winter Dry Bulb	6 °C
Mean Daily Range	11 °C

## Building Summary

Inputs	
Building Type	School or University
Area (m <sup>2</sup> )	2,980
Volume (m <sup>3</sup> )	11,256.19
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	<b>387,839</b>
Peak Cooling Month and Hour	July 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	315,301
Peak Cooling Latent Load (W)	72,538
Maximum Cooling Capacity (W)	391,875
Peak Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	59,333.4
Peak Heating Load (W)	<b>239,902</b>
Peak Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)	35,264.8
Checksums	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	130.14
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	5.53
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	42.50
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	7.68
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	80.50
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.29

## Zone Summary - Auditorio

<b>Inputs</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	167
Volume (m <sup>3</sup> )	789.66
Cooling Setpoint	25 °C
Heating Setpoint	20 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Air Volume Calculation Type	Split System(s) with Natural Ventilation
Relative Humidity	46.00% (Calculated)
Psychrometric Message	None
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Load (W)	<b>81,463</b>
Peak Cooling Month and Hour	July 15:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	77,958
Peak Cooling Latent Load (W)	3,505
Peak Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	17,384.8
Peak Heating Load (W)	<b>48,255</b>
Peak Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)	7,501.6
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	488.94
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	28.98
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	59.28
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	2.05
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	289.62
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	12.51

## Auditorio Spaces

Space Name	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peak Cooling Load (W)	Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)
2 Anfiteatro	167	789.66	74,417	17,384.8	39,803	7,501.6

## Zone Summary - Piso 1

<b>Inputs</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	632
Volume (m <sup>3</sup> )	2,209.62
Cooling Setpoint	25 °C
Heating Setpoint	20 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Air Volume Calculation Type	Split System(s) with Natural Ventilation
Relative Humidity	48.00% (Calculated)
Psychrometric Message	None
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Load (W)	<b>71,423</b>
Peak Cooling Month and Hour	July 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	53,027
Peak Cooling Latent Load (W)	18,396
Peak Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	9,109.3
Peak Heating Load (W)	<b>41,618</b>
Peak Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)	5,761.5
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	113.08
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	4.01
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	35.43
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	8.84
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	65.89
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	2.53

## Piso 1 Spaces

Space Name	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peak Cooling Load (W)	Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)
32 Sala 139 *	70	247.14	8,247	1,363.2	1,765	644.6
31 Sala 136	85	300.14	6,535	1,080.1	1,292	781.4
42 Corredor 1/2	82	280.87	4,968	821.2	1,436	748.2
40 Gabinete 148	28	98.49	1,239	204.7	1,086	256.9
39 Gabinete 147	13	44.44	398	65.8	289	116.7
38 Gabinete 146	13	45.12	405	66.9	305	116.6
37 Gabinete 145	14	47.28	428	70.7	318	124.4
36 Gabinete 144	12	42.12	382	63.2	288	108.9
35 Gabinete 143	13	44.27	406	67.1	301	116.7
34 Gabinete 142	13	45.12	405	66.9	305	116.6
33 Gabinete 141	13	45.37	403	66.7	295	117.4
30 Sala 135	64	226.57	4,906	810.9	993	584.8
29 Sala 133	56	197.98	4,298	710.5	826	511.2
41 Corredor 1/1	24	77.46	2,925	483.4	923	215.9
27 Sala 131	47	164.57	3,869	639.6	1,135	430.0
25 ISM 1/1	12	40.59	4,811	795.3	316	105.6
26 ISF 1/1	13	46.40	5,499	908.9	321	121.1
28 Sala 132	59	208.53	4,986	824.1	1,394	544.4

## Zone Summary - Piso 2

<b>Inputs</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	629
Volume (m <sup>3</sup> )	2,620.99
Cooling Setpoint	25 °C
Heating Setpoint	20 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Air Volume Calculation Type	Split System(s) with Natural Ventilation
Relative Humidity	48.00% (Calculated)
Psychrometric Message	None
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Load (W)	<b>68,017</b>
Peak Cooling Month and Hour	July 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	49,877
Peak Cooling Latent Load (W)	18,140
Peak Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	8,469.0
Peak Heating Load (W)	<b>41,418</b>
Peak Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)	5,586.7
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	108.18
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.74
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	34.59
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	9.24
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	65.87
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	2.47

## Piso 2 Spaces

Space Name	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peak Cooling Load (W)	Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)
62 Gabinete 172	28	100.72	1,265	205.2	1,152	250.2
61 Gabinete 171	13	45.26	393	63.7	280	113.3
60 Gabinete 170	13	46.14	409	66.3	316	113.3
59 Gabinete 169	14	48.08	423	68.6	309	120.8
58 Gabinete 168	12	43.07	386	62.6	298	105.7
57 Gabinete 167	13	45.01	400	64.9	291	113.3
56 Gabinete 166	13	46.14	409	66.3	316	113.3
55 Gabinete 165	13	46.06	392	63.5	281	113.3
54 Sala 163	48	170.44	4,153	673.3	1,310	424.3
53 Sala 162	47	169.67	3,646	591.2	745	419.0
52 Sala 161	46	165.23	3,528	572.1	728	406.9
51 Sala 160	28	102.37	2,172	352.1	460	251.8
50 Sala 159	47	169.42	3,590	582.0	697	415.2
49 Sala 156	57	205.26	4,375	709.3	917	503.0
48 Sala 155	59	211.42	5,103	827.3	1,615	525.8
47 Sala 154	29	101.52	2,586	419.3	1,090	253.7
46 Sala 153	11	39.34	377	61.1	291	97.6
45 ISF 2/1	13	47.29	5,491	890.2	315	117.6
44 ISM 2/1	12	41.41	4,803	778.7	305	102.5
65 Arrumo 2/1	2	7.36	1	0.2	0	17.7
63 Corredor 2/1	30	104.18	2,485	402.9	724	269.0
64 Corredor 2/2	83	289.30	5,850	948.4	1,800	739.7

## Zone Summary - Pisos terreos

Inputs	
Area (m <sup>2</sup> )	1,610
Volume (m <sup>3</sup> )	7,257.77
Cooling Setpoint	25 °C
Heating Setpoint	20 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Air Volume Calculation Type	Split System(s) with Natural Ventilation
Relative Humidity	46.00% (Calculated)
Psychrometric Message	None
Calculated Results	
Peak Cooling Load (W)	<b>170,973</b>
Peak Cooling Month and Hour	July 12:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	128,362
Peak Cooling Latent Load (W)	42,610
Peak Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	24,370.3
Peak Heating Load (W)	<b>108,610</b>
Peak Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)	16,415.0
Checksums	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	106.20
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	4.20
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	39.59
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	9.42
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	67.46
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	2.83

## Pisos terreos Spaces

Space Name	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peak Cooling Load (W)	Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)
24 Gabinete de apoio externo	100	348.30	3,361	591.3	3,260	642.6
23 Serviços administrativos	321	1,045.20	7,205	1,267.5	4,577	2,068.9
21 Serviços de informático	42	149.84	927	163.0	455	271.8
19 Átrio 0/2	18	62.78	661	116.2	406	115.3
22 Corredor 0/2	9	32.08	230	40.4	0	58.5
14 Cafeteria	320	937.12	38,119	6,706.4	4,433	2,067.3
66 Escada	58	1,029.72	34,266	6,028.6	33,905	6,389.9
16 ISM 0/2	12	41.21	4,591	807.7	325	75.6
15 ISF 0/2	13	45.78	5,096	896.6	320	84.2
9 Sala 19	48	168.24	2,911	512.1	41	306.7
8 Sala 181	24	77.42	1,954	343.8	690	153.3
10 Sala 18 *	83	289.99	7,198	1,266.4	1,231	532.7
7 Sala 179	24	82.90	1,923	338.3	712	153.0
6 Sala 183	23	82.30	1,904	334.9	710	151.3
13 Corredor 0/1	75	263.24	1,910	336.1	123	481.6
11 Entrada	27	94.15	1,599	281.3	1,278	360.0
12 Átrio 0/1	97	338.63	3,392	596.8	459	625.2
5 ISM 0/1	13	47.78	5,225	919.3	0	180.0
4 ISF 0/1	16	54.89	5,964	1,049.2	31	180.0
1 Sala 6	85	301.09	6,104	1,074.0	1,613	549.5
3 Secretaria/Administração	150	526.70	3,981	700.4	3,466	967.3

## Project Summary

Location and Weather	
Project	Edifício ISE - Medidas de melhoria
Address	
Calculation Time	quinta-feira, 17 de setembro de 2020 22:49
Report Type	Simple
Latitude	37.03°
Longitude	-7.92°
Summer Dry Bulb	33 °C
Summer Wet Bulb	21 °C
Winter Dry Bulb	6 °C
Mean Daily Range	11 °C

## Building Summary

Inputs	
Building Type	School or University
Area (m <sup>2</sup> )	2,980
Volume (m <sup>3</sup> )	11,256.50
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	<b>369,607</b>
Peak Cooling Month and Hour	July 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	298,917
Peak Cooling Latent Load (W)	70,690
Maximum Cooling Capacity (W)	378,407
Peak Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	57,830.6
Peak Heating Load (W)	<b>311,297</b>
Peak Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)	46,612.3
Checksums	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	124.02
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	5.39
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	43.46
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	8.06
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	104.45
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	4.34

## Zone Summary - Auditorio

<b>Inputs</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	167
Volume (m <sup>3</sup> )	789.66
Cooling Setpoint	25 °C
Heating Setpoint	20 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Air Volume Calculation Type	Split System(s) with Natural Ventilation
Relative Humidity	46.00% (Calculated)
Psychrometric Message	None
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Load (W)	<b>81,452</b>
Peak Cooling Month and Hour	July 15:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	77,948
Peak Cooling Latent Load (W)	3,505
Peak Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	17,382.4
Peak Heating Load (W)	<b>48,160</b>
Peak Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)	7,483.8
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	488.88
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	28.98
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	59.28
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	2.05
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	289.06
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	12.48

## Auditorio Spaces

Space Name	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peak Cooling Load (W)	Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)
2 Anfiteatro	167	789.66	74,407	17,382.4	39,709	7,483.8

## Zone Summary - Cafeteria

<b>Inputs</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	320
Volume (m <sup>3</sup> )	1,125.98
Cooling Setpoint	24 °C
Heating Setpoint	22 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Air Volume Calculation Type	Split System(s) with Natural Ventilation
Relative Humidity	56.00% (Calculated)
Psychrometric Message	None
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Load (W)	<b>44,448</b>
Peak Cooling Month and Hour	August 11:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	36,222
Peak Cooling Latent Load (W)	8,226
Peak Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	5,915.4
Peak Heating Load (W)	<b>31,012</b>
Peak Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)	4,685.6
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	138.74
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	5.13
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	36.97
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	7.21
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	96.80
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	4.06

## Cafeteria Spaces

Space Name	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peak Cooling Load (W)	Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)
14 Cafeteria	320	937.12	39,746	5,915.4	5,024	4,685.6

## Zone Summary - Piso 1

<b>Inputs</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	632
Volume (m <sup>3</sup> )	2,209.62
Cooling Setpoint	26 °C
Heating Setpoint	24 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Air Volume Calculation Type	Split System(s) with Natural Ventilation
Relative Humidity	46.00% (Calculated)
Psychrometric Message	None
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Load (W)	<b>67,721</b>
Peak Cooling Month and Hour	July 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	50,061
Peak Cooling Latent Load (W)	17,660
Peak Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	8,221.2
Peak Heating Load (W)	<b>53,220</b>
Peak Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)	5,921.5
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	107.22
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.62
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	33.72
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	9.33
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	84.26
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	2.60

## Piso 1 Spaces

Space Name	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peak Cooling Load (W)	Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)
32 Sala 139 *	70	247.14	8,124	1,234.5	2,260	644.6
31 Sala 136	85	300.14	6,444	979.3	1,654	781.4
42 Corredor 1/2	82	280.87	4,867	739.7	1,839	748.2
40 Gabinete 148	28	98.49	1,162	176.7	1,390	342.0
39 Gabinete 147	13	44.44	378	57.4	371	116.7
38 Gabinete 146	13	45.12	383	58.3	391	116.6
37 Gabinete 145	14	47.28	406	61.7	407	124.4
36 Gabinete 144	12	42.12	362	55.0	369	108.9
35 Gabinete 143	13	44.27	385	58.4	386	116.7
34 Gabinete 142	13	45.12	383	58.3	391	116.6
33 Gabinete 141	13	45.37	383	58.2	378	117.4
30 Sala 135	64	226.57	4,806	730.3	1,244	584.8
29 Sala 133	56	197.98	4,213	640.2	1,026	511.2
41 Corredor 1/1	24	77.46	2,860	434.6	1,181	290.7
27 Sala 131	47	164.57	3,790	575.9	1,452	430.0
25 ISM 1/1	12	40.59	4,789	727.8	404	105.6
26 ISF 1/1	13	46.40	5,476	832.2	410	121.1
28 Sala 132	59	208.53	4,888	742.8	1,785	544.4

## Zone Summary - Piso 2

<b>Inputs</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	629
Volume (m <sup>3</sup> )	2,620.99
Cooling Setpoint	26 °C
Heating Setpoint	25 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Air Volume Calculation Type	Split System(s) with Natural Ventilation
Relative Humidity	46.00% (Calculated)
Psychrometric Message	None
<b>Calculated Results</b>	
Peak Cooling Load (W)	<b>64,345</b>
Peak Cooling Month and Hour	July 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	46,919
Peak Cooling Latent Load (W)	17,426
Peak Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	7,615.4
Peak Heating Load (W)	<b>70,817</b>
Peak Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)	9,093.5
<b>Checksums</b>	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	102.33
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	3.36
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	32.88
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	9.77
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	112.63
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	4.02

## Piso 2 Spaces

Space Name	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peak Cooling Load (W)	Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)
62 Gabinete 172	28	100.72	1,185	176.3	2,242	597.3
61 Gabinete 171	13	45.26	373	55.6	690	183.9
60 Gabinete 170	13	46.14	387	57.6	744	198.3
59 Gabinete 169	14	48.08	401	59.7	760	202.5
58 Gabinete 168	12	43.07	366	54.4	701	186.6
57 Gabinete 167	13	45.01	380	56.5	716	190.8
56 Gabinete 166	13	46.14	387	57.6	744	198.1
55 Gabinete 165	13	46.06	372	55.4	696	185.3
54 Sala 163	48	170.44	4,061	604.3	2,907	774.5
53 Sala 162	47	169.67	3,594	534.9	2,091	557.1
52 Sala 161	46	165.23	3,477	517.5	2,066	550.5
51 Sala 160	28	102.37	2,139	318.4	1,264	336.8
50 Sala 159	47	169.42	3,510	522.4	2,025	539.5
49 Sala 156	57	205.26	4,281	637.1	2,541	677.1
48 Sala 155	59	211.42	4,990	742.5	3,579	953.4
47 Sala 154	29	101.52	2,510	373.5	2,164	576.5
46 Sala 153	11	39.34	356	53.0	668	178.0
45 ISF 2/1	13	47.29	5,469	813.8	759	202.2
44 ISM 2/1	12	41.41	4,782	711.6	700	186.5
65 Arrumo 2/1	2	7.36	1	0.2	54	17.7
63 Corredor 2/1	30	104.18	2,429	361.5	1,624	432.7
64 Corredor 2/2	83	289.30	5,724	851.7	4,385	1,168.1

## Zone Summary - Pisos terreos

Inputs	
Area (m <sup>2</sup> )	1,290
Volume (m <sup>3</sup> )	6,132.10
Cooling Setpoint	26 °C
Heating Setpoint	25 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Air Volume Calculation Type	Split System(s) with Natural Ventilation
Relative Humidity	46.00% (Calculated)
Psychrometric Message	None
Calculated Results	
Peak Cooling Load (W)	<b>120,441</b>
Peak Cooling Month and Hour	July 16:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	96,887
Peak Cooling Latent Load (W)	23,554
Peak Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	18,696.1
Peak Heating Load (W)	<b>108,088</b>
Peak Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)	19,428.0
Checksums	
Cooling Load Density (W/m <sup>2</sup> )	93.39
Cooling Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	4.03
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	43.12
Cooling Area / Load (m <sup>2</sup> /kW)	10.71
Heating Load Density (W/m <sup>2</sup> )	83.81
Heating Flow Density (L/(s·m <sup>2</sup> ))	4.18

## Pisos terreos Spaces

Space Name	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peak Cooling Load (W)	Cooling Airflow (m <sup>3</sup> /h)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (m <sup>3</sup> /h)
24 Gabinete de apoio externo	100	348.30	4,345	762.1	6,192	1,649.6
23 Serviços administrativos	321	1,045.20	8,444	1,481.1	6,157	1,640.2
21 Serviços de informático	42	149.84	1,049	184.0	1,747	465.4
19 Átrio 0/2	18	62.78	709	124.3	597	159.1
22 Corredor 0/2	9	32.08	245	43.0	258	68.7
66 Escada	58	1,029.72	34,310	6,018.0	37,459	9,979.7
16 ISM 0/2	12	41.21	4,863	852.9	726	193.5
15 ISF 0/2	13	45.78	5,400	947.1	827	220.3
9 Sala 19	48	168.24	3,071	538.7	1,354	360.7
8 Sala 181	24	77.42	2,054	360.2	1,002	267.0
10 Sala 18 *	83	289.99	7,802	1,368.5	1,674	446.1
7 Sala 179	24	82.90	2,033	356.6	961	256.0
6 Sala 183	23	82.30	2,013	353.1	958	255.2
13 Corredor 0/1	75	263.24	2,004	351.5	259	323.3
11 Entrada	27	94.15	1,513	265.3	1,726	459.8
12 Átrio 0/1	97	338.63	3,439	603.2	717	419.7
5 ISM 0/1	13	47.78	5,581	978.9	0	180.0
4 ISF 0/1	16	54.89	6,303	1,105.5	42	180.0
1 Sala 6	85	301.09	6,556	1,149.9	2,414	643.0
3 Secretaria/Administração	150	527.01	4,858	852.2	4,731	1,260.5

## **Anexo IV - Peças desenhadas**