

# Análise de Sensibilidade na Simulação Dinâmica de um Grande Edifício Escolar Existente

Pedro Miguel Fernandes Moço

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em  
Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



Relatório da Unidade Curricular de Dissertação do 2º ano do Mestrado em Energias  
Sustentáveis

Candidato: Pedro Miguel Fernandes Moço, N° 1040433, 1040433@isep.ipp.pt

Orientação científica: Olga dos Remédios Sobral Castro, orc@isep.ipp.pt

Mestrado em Engenharia Energias Sustentáveis  
Departamento de Engenharia Mecânica



2013



*Dedico este trabalho à minha família e amigos.*



## *Agradecimentos*

Apesar da presente tese de mestrado ser um trabalho de investigação individual, a sua realização só foi possível com o apoio de várias pessoas. Assim, gostaria de apresentar os meus sinceros agradecimentos:

À minha orientadora, Eng.<sup>a</sup> Olga Castro, pelo apoio e compreensão evidenciada no decorrer deste trabalho, considerando a minha situação profissional.

Ao Eng.<sup>o</sup> Joaquim Monteiro, por se manifestar sempre disponível para me ajudar quando tal foi necessário.

À professora Sofia Fontão, pela sua grande ajuda na verificação ortográfica da presente tese de mestrado, e pelo apoio e compreensão nas alturas mais difíceis.

Aos meus familiares, em especialmente ao meu pai e minha avó, pelo apoio e incentivo incondicionais durante todo este percurso.

## *Resumo*

Dado o panorama de conservação de energia a nível nacional e mundial, torna-se hoje em dia muito importante, que seja possível controlar e estimar o consumo energético nos edifícios. Assim, atendendo à actual problemática energética e ao crescente consumo energético nos edifícios, é importante parametrizar, avaliar e comparar este consumo. Neste sentido, nas últimas décadas, têm sido efectuados desenvolvimentos técnicos, quer ao nível do equipamento de campo para efectuar monitorização e medição, quer ao nível da simulação dinâmica de edifícios.

Com esta dissertação de mestrado, pretendeu-se efectuar a simulação dinâmica de um edifício escolar existente a funcionar em pleno, e efectuar uma análise de sensibilidade relativamente ao grau de variação dos resultados obtidos através da aplicação de dois programas de cálculo térmico e energético. Foram utilizados, o programa VE-Pro da IES (Integrated Environmental Solutions) e o programa Trace 700 da TRANE.

Ambos os programas foram parametrizados com os mesmos dados de entrada, tendo em atenção as opções de simulação disponibilizadas por ambos. Posteriormente, utilizaram-se os dados retirados da simulação para calcular a classificação energética no âmbito do sistema de certificação energética (SCE), através de uma folha de cálculo desenvolvida para o efeito.

Foram ainda consideradas várias soluções de eficiência energética para o edifício, com vista a poupanças reais de energia, tendo sempre atenção ao conforto térmico dos ocupantes. Dessas medidas fazem parte, medidas relacionadas com a iluminação, como a substituição da iluminação existente por luminárias do tipo LED (Light Emitting Diode), soluções de energias renováveis, como a instalação de colectores solares para aquecimento das águas quentes sanitárias, e painéis fotovoltaicos para produção de energia, bem como medidas ligadas aos equipamentos de climatização. Posteriormente, recalculou-se a classificação energética afectada das melhorias.

Os resultados obtidos nas duas simulações foram analisados sob o ponto de vista do aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação e equipamentos eléctricos. A

comparação das duas simulações para cada parâmetro acima referido, apresentaram variações inferiores a 5%. O desvio maior verificou-se na ventilação, com o valor de aproximadamente 4,9%. Transpondo estes resultados para o cálculo do IEE (Índice de Eficiência Energética), verificou-se um desvio inferior a 2%.

### ***Palavras-Chave***

Auditoria energética, eficiência energética, PRE, simulação dinâmica, Trace 700, VE-Pro.



## *Abstract*

Given the panorama of energy conservation nationally and globally, it becomes very important today, it is possible to control and measure the energy consumption in buildings. So, given the current energy problems and the growing energy consumption in buildings, it is important to parameterize, evaluate and compare this consumption. In this sense, in the last few decades, developments have been taken, whether in terms of field equipment to carry out monitoring and measurement, whether in terms of detailed thermal simulation.

With this master thesis, was intended to perform a dynamic simulation of an existing school building fully working, and perform a sensitivity analysis on the degree of variation of results obtained through the application of two thermal and energy calculations programs. It was used the VE-Pro software from IES (Integrated Environmental Solutions) and the program Trace 700 of TRANE.

Both programs have been parameterized with the same input data, taking into account the simulation options available for both. Subsequently, the data were taken from the simulation to calculate the energy classification under the energy certification system (SCE) via a spreadsheet developed for this purpose.

Still some solutions of the energy efficiency of the building had been considered, overlooking the actual energy savings, in view of the thermal comfort of the occupants. Such measures are part, lighting-related measures, such as the replacement of existing lighting fixtures of type LED (Light Emitting Diode), renewable energy solutions, such as the installation of solar collectors for hot water heating, and photovoltaic panels to produce energy, as well as measures related to HVAC equipment. Subsequently recalculated the energy classification affected of the improvements.

The results obtained in both simulations were analyzed from the point of view of heating, cooling, ventilation, lighting and electrical equipment. The comparison of the two simulations to each parameter mentioned above, showed variations of less than 5%. The largest deviation was found in the ventilation, with the value of about 4.9%.

Transposing these results for the calculation of the IEE (Energy efficiency index), there was a deviation of less than 2%.

***Keywords***

Energy audit, energy efficiency, PRE, dynamic simulation, Trace 700, VE-Pro.



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>VII</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>XIV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XIX</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>XXI</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2 ENQUADRAMENTO DO TEMA .....	6
1.3 OBJECTIVOS.....	9
1.4 CONTEÚDO DA TESE.....	10
<b>2 CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS</b> .....	<b>12</b>
2.1 CONSUMO DE ENERGIA NA ACTUALIDADE .....	12
2.2 CONSUMO DE ENERGIA NOS EDIFÍCIOS .....	13
2.2.1 CONSUMO DE ENERGIA NOS EDIFÍCIOS RESULTANTES NA FASE DE CONSTRUÇÃO.....	14
2.2.2 CONSUMO DE ENERGIA NOS EDIFÍCIOS RESULTANTES DA UTILIZAÇÃO.....	15
2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	16
<b>3 LEGISLAÇÃO</b> .....	<b>19</b>
3.1 SISTEMA DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA E QUALIDADE DO AR INTERIOR DOS EDIFÍCIOS (SCE) .....	20
3.2 RSECE .....	21
3.2.1 RSECE ENERGIA .....	21
3.2.2 RSECE QAI .....	21
3.2.3 CÁLCULO CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA.....	23
3.3 SIMULAÇÃO DINÂMICA AO ABRIGO DA NORMA ASHRAE 140-2004.....	27
3.4 PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO UTILIZADOS.....	29
3.4.1 VE-PRO .....	29
3.4.2 TRACE 700.....	31
3.4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO .....	32
<b>4 AUDITORIA ENERGÉTICA</b> .....	<b>43</b>
4.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO .....	44
4.1.1 IDENTIFICAÇÃO.....	44
4.1.2 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO EDIFÍCIO .....	44
4.1.3 LOCALIZAÇÃO.....	44
4.2 DADOS CLIMÁTICOS.....	45
4.2.1 ZONAS CLIMÁTICAS .....	45
4.2.2 GRAUS-DIAS DE AQUECIMENTO .....	45

4.2.3	DURAÇÃO DA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO .....	46
4.2.4	ENERGIA SOLAR INCIDENTE NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO .....	46
4.2.5	ENERGIA SOLAR INCIDENTE NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO .....	46
4.2.6	TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DO AR PARA A ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO.....	47
4.3	REQUISITOS ENERGÉTICOS .....	47
4.3.1	NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO – $N_I$ .....	47
4.3.2	NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO – $N_V$ .....	48
4.4	PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA.....	49
4.4.1	COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA – $U$ .....	49
4.5	INERCIA TÉRMICA .....	54
4.6	ILUMINAÇÃO, OCUPAÇÃO E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS .....	55
4.6.1	ILUMINAÇÃO .....	55
4.6.2	OCUPAÇÃO.....	57
4.6.3	EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS .....	58
4.6.4	OUTROS EQUIPAMENTOS .....	59
4.7	SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO .....	60
4.7.1	SISTEMAS CENTRALIZADOS.....	60
4.7.2	SISTEMAS LOCAIS DE TRATAMENTO AMBIENTAL .....	61
4.8	CÁLCULO CONSUMO AQS .....	62
4.9	CAUDAIS DE AR NOVO .....	63
4.10	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS .....	64
4.10.1	SIMULAÇÃO COM DADOS NOMINAIS .....	66
<b>5</b>	<b>CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA.....</b>	<b>69</b>
5.1	CÁLCULO DO IEE .....	71
5.2	CÁLCULO DA CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA .....	74
<b>6</b>	<b>ESTUDO DE MEDIDAS DE MELHORIA.....</b>	<b>76</b>
6.1	MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA .....	76
6.1.1	MEDIDAS OBRIGATÓRIAS .....	77
6.1.2	MEDIDAS TIPO 1 .....	78
6.1.3	MEDIDAS TIPO 2.....	79
6.1.4	MEDIDAS DE BOA GESTÃO ENERGÉTICA E DE RECURSOS .....	82
6.2	RESUMO DAS MEDIDAS DE MELHORIA CONSIDERADAS .....	83
6.3	CLASSE ENERGÉTICA APÓS IMPLEMENTAÇÃO DAS MEDIDAS DE MELHORIA .....	83
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>85</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>89</b>



## Índice de Figuras

Figura 1 – Geometria do edifício e aproximações utilizadas. [11].....	8
Figura 2 – Comparação dos resultados obtidos pela simulação das duas geometrias. [11] .....	8
Figura 3 – Percurso de transformação da energia até chegar ao consumidor. [13].....	13
Figura 4 – Programas do Portugal Eficiência 2015 - PNAEE. [19].....	17
Figura 5 – Vários módulos do VE-Pro. [28] .....	29
Figura 6 – Vista para introdução das envolventes no VE-Pro na sala 502.....	33
Figura 7 – Vista para introdução das envolventes no Trace 700 na sala 502.....	34
Figura 8 – Janela para importação de dados no Trace 700.....	35
Figura 9 – Sombreamentos dos vários pisos através do VE-Pro.....	37
Figura 10 – Parametrização do sombreamento das palas horizontais do piso 0 no Trace 700. ....	37
Figura 11 – Caudais de ar novo para a zona de gabinetes no VE-Pro.....	38
Figura 12 – Caudais de ar novo para a zona de gabinetes no Trace 700.....	38
Figura 13 – Exemplo de sistema caracterizado no apacheAVAC.....	39
Figura 14 – Esquema de climatização usado para ventiloconvectores no Trace 700....	40
Figura 15 – Dimensionamento do <i>chiller</i> e da caldeira usado no VE-Pro. ....	40
Figura 16 – Dimensionamento do <i>chiller</i> e da caldeira usado no Trace 700. ....	41
Figura 17 – Exemplo associação sistemas climatização a salas de aula no VE-Pro. ....	41
Figura 18 – Exemplo associação sistemas climatização a salas de aula no Trace 700. .	42
Figura 19 – Aérea do edifício, retirada do Google Earth. ....	45
Figura 20 – Exemplo de um vão envidraçado presente no edifício.....	52
Figura 21 – Exemplo de um vão envidraçado presente no edifício.....	52
Figura 22 – Exemplo de um vão envidraçado presente no edifício.....	52
Figura 23 – Fotografia da armadura de iluminação de 36W. ....	56
Figura 24 – Fotografia da armadura de iluminação de 18W. ....	56
Figura 25 – Fotografia da armadura de iluminação de 50W. ....	57
Figura 26 – Fotografia de um projector presente nas salas de aula. ....	59
Figura 27 – Fotografia de um projector presente nas salas de aula. ....	59
Figura 28 – Fotografia do sistema de aquecimento.....	60
Figura 29 – Fotografia do <i>chiller</i> responsável pelo arrefecimento.....	61
Figura 30 – Etiqueta de Eficiência Energética. ....	75
Figura 31 – Distância entre painéis. [30].....	80



## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Valores máximos de referência de acordo com a nota técnica NT-SCE-02.	23
Tabela 2 – Escala da classificação energética segundo RCCTE. [22]	24
Tabela 3 – Vários tipos de IEE. [25]	25
Tabela 4 – Escala da classificação energética segundo RSECE. [25]	27
Tabela 5 – Programas de simulação dinâmica acreditados pela norma ASHRAE 140-2004. [25]	28
Tabela 6 – Quadro III.8 do RCCTE.	46
Tabela 7 – Quadro III.9 do RCCTE.	47
Tabela 8 – Cálculo das áreas equivalentes.	48
Tabela 9 – Coeficientes de transmissão térmica máximos e de referência para a zona climática I2.	49
Tabela 10 – Coeficientes de redução de perdas.	54
Tabela 11 – Quantificação do número de luminárias.	55
Tabela 12 – Valores tabelados para o ganho de calor ocupantes. [29]	58
Tabela 13 – Caudais de ar novo nominais em função do tipo de actividade.	64
Tabela 14 – Output energia mensal VE-Pro.	65
Tabela 15 – Output iluminação e equipamentos mensal VE-Pro.	65
Tabela 16 – Tabela com os <i>output</i> do Trace anual [MWh].	66
Tabela 17 – Consumos anuais simulados no VE-Pro e no Trace 700 em MWh.	66
Tabela 18 – Escala de classificação energética.	69
Tabela 19 – Cálculo do IEE de aquecimento.	72
Tabela 20 – Cálculo do IEE de arrefecimento.	73
Tabela 21 – Cálculo do IEE não ligado a aquecimento e arrefecimento.	74
Tabela 22 – Comparação dos valores do IEE.	74
Tabela 23 – Verificação dos IEE para obtenção da classificação.	75
Tabela 24 – Tabela de comparação de soluções de iluminação.	78
Tabela 25 – Perfil de consumo de AQS, em litros.	79
Tabela 26 – Tabela comparativa das medidas de melhoria.	83
Tabela 27 – Classificação do edifício depois de implementadas as medidas.	84



## *Índice de Gráficos*

Gráfico 1 – Consumo mundial de energia de 1860 a 2010. [1].....	2
Gráfico 2 – Consumo de energia primária por tipo de fonte de energia em Portugal. [3]	2
Gráfico 3 – Valores de descobertas e consumos de petróleo até 2030. [4] .....	3
Gráfico 4 – Evolução do preço do petróleo bruto Brent. [5].....	3
Gráfico 5 – Intensidade Energética de Portugal (a tijolo) e média europeia (a cinza). [6] .....	4
Gráfico 6 – Peso das renováveis na energia final. [6] .....	5
Gráfico 7 – Evolução da intensidade energética por sector (consumo de energia sector / PIB). [14].....	13
Gráfico 8 – Balanço Energético de 2006. [14] .....	14
Gráfico 9 – Consumo eléctrico em Portugal por sector de actividade. [16].....	16
Gráfico 10 – Distribuição das várias luminárias no edifício. ....	56
Gráfico 11 – Consumos anuais simulados no VE-Pro e no Trace 700.....	67
Gráfico 12 – Consumos anuais de electricidade e gás natural no VE-Pro e no Trace 700. .....	67
Gráfico 13 – Variação mensal por fonte de consumo para cada programa. ....	68



## *Acrónimos*

AQS	– Águas Quentes Sanitárias
AVAC	– Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
ASHRAE	– American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning
CAD	– Computer Aided Design
CHC	– Comunicações horizontais comuns
COV	– Compostos Orgânicos Voláteis
CFD	– Computational fluid dynamics
DGEG	– Direcção Geral de Energia e Geologia
ECS	– Energy certification system
EPBD	– Energy Performance of Buildings Directive
GEE	– Gases do Efeito de Estufa
GES	– Grande Edifício de Serviços
HcC	– Edifício de Habitação com Climatização
HsC	– Edifício de Habitação sem Climatização
HVAC	– Heating ventilation and air conditioning
IEA	– International Energy Agency
IEE	– Índice de Eficiência Energética
IES	– Integrated Environmental Solutions
ITE50	– Informação Técnica de Edifícios

PEScC	– Pequeno Edifício de Serviços com Climatização
PESsC	– Pequeno Edifício de Serviços sem Climatização
PIB	– Produto Interno Bruto
PNAEE	– Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
PQ	– Perito Qualificado
PRE	– Plano de Racionalização Energética
QAI	– Qualidade do Ar Interior
RCCTE	– Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	– Regulamento de Sistemas de Energia e Climatização em Edifícios
TRACE	– Trane Air Conditioning Economics
SCE	– Sistema de Certificação Energética
UN FCC	– United Nations Framework Convention on Climate Change
UTA	– Unidade de Tratamento de Ar
UTAN	– Unidade de Tratamento de Ar Novo



# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização

A energia tem desempenhado um papel fundamental em todas as actividades, nomeadamente nas actividades económicas e no seu desenvolvimento. Nas últimas décadas, verificou-se um crescente consumo energético, nomeadamente de energia eléctrica.

Desde a revolução industrial que praticamente todos os processos industriais têm uma forte ligação ao sector energético. Conforme se pode verificar pelo gráfico 1, desde 1860 que o consumo de energias fósseis tem vindo a aumentar como sendo a única forma de resposta à necessidade de energia para os processos industriais.

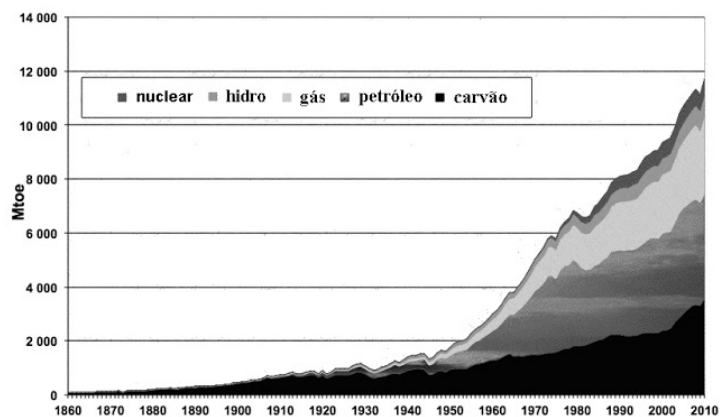


Gráfico 1 – Consumo mundial de energia de 1860 a 2010. [1]

Assim, com alguma naturalidade, se entende que o consumo energético não está distribuído de forma equitativa. São as nações mais desenvolvidas que possuem consumos *per capita* muito mais elevados do que a média mundial. Por exemplo, a América do Norte, em 2002, teve um consumo de energia final *per capita* de 4,39 tep/pessoa, enquanto a média mundial estava nos 1,15 tep/pessoa. Se considerarmos a soma do consumo de energia final na América do Norte e União Europeia, é possível verificar que 40,7% do consumo de energia final está distribuído por 12,9% da população mundial. [2]

Portugal embora apresente uma grande disponibilidade para recursos renováveis, nomeadamente solar, hídrico, eólico e biomassa, não deixa de apresentar grande dependência da energia fóssil, tal como é possível verificar através da análise do gráfico 2 onde se apresenta o consumo de energia em tep.

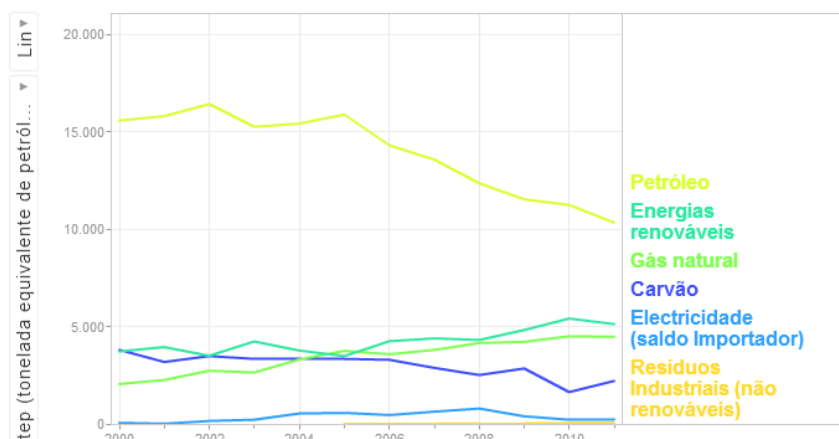
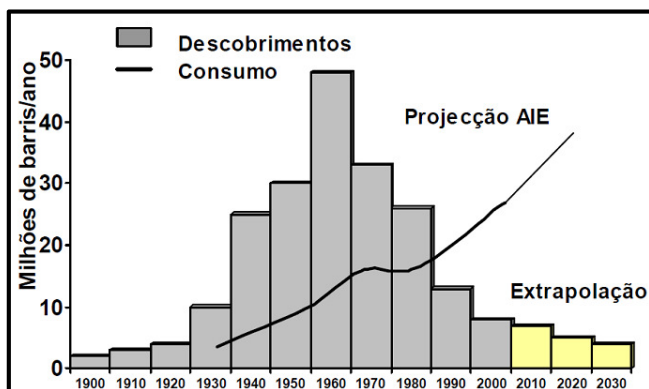


Gráfico 2 – Consumo de energia primária por tipo de fonte de energia em Portugal. [3]

Como resultado, a emissão de grandes quantidades de poluentes, como o dióxido de carbono, monóxido de carbono ou compostos orgânicos voláteis, estão directamente ligados ao agravamento do efeito de estufa e da deterioração da qualidade do ar e saúde humana. Os contaminantes resultantes da queima dos combustíveis fósseis e o elevado consumo dos mesmos, pode estar a comprometer as reservas existentes, uma vez que estas são finitas e não estão a ser repostas.



**Gráfico 3 – Valores de descobertas e consumos de petróleo até 2030. [4]**

Como se pode verificar através do gráfico 3, o consumo de petróleo continua a subir à medida que as descobertas de novas jazidas estão a diminuir.

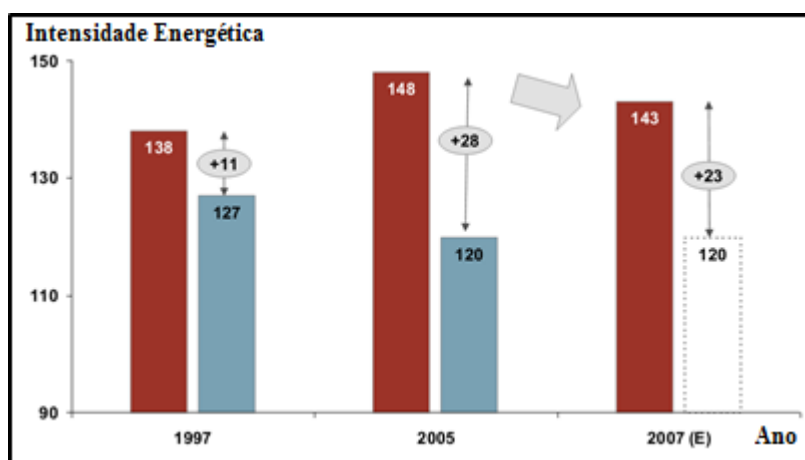
O aumento de consumo de energia, face aos recursos energéticos de origem fóssil cada vez mais limitados, leva a um aumento dos preços dos combustíveis fósseis. Estes factores conjugados, originaram a crise energética vivida actualmente a nível mundial, em que a factura energética e ambiental se torna o centro de atenção.



**Gráfico 4 – Evolução do preço do petróleo bruto Brent. [5]**

O gráfico 4 mostra a variação do preço do petróleo bruto Brent durante a última década. Demonstrando-se assim, a necessidade de reduzir o consumo de energia fóssil através da utilização de fontes energéticas alternativas, e através da optimização da eficiência energética associada aos processos de utilização e distribuição da energia.

Conforme é possível verificar no gráfico 5, em Portugal a intensidade energética, indicador de eficiência energética que traduz a incidência do consumo de energia final sobre o PIB (Produto Interno Bruto), continua significativamente acima da média europeia, apesar da inversão registada a partir de 2007.



**Gráfico 5 – Intensidade Energética de Portugal (a tijolo) e média europeia (a cinza). [6]**

Na tentativa de aproximar Portugal da média europeia, e devido à directiva n.º 2006/32/CE, que obriga todos os estados membros a reduzir os seus consumos de energia em pelo menos 1% por ano até 2016, foram aprovadas no âmbito do PNAEE (Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética) várias medidas de incentivo à eficiência energética entre as quais se prevê ainda aumento de 31% do peso das energias renováveis na energia final para 2020.

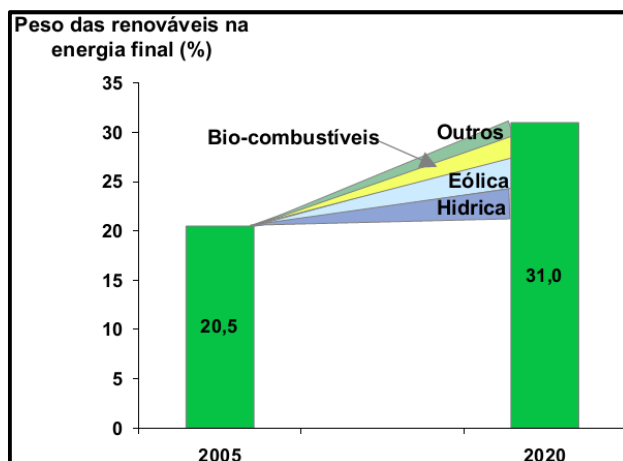


Gráfico 6 – Peso das renováveis na energia final. [6]

Existe ainda um grande caminho a percorrer para que se possa encontrar o equilíbrio energético e que daí possa advir uma melhor qualidade, quer a nível ambiental, quer de saúde pública. Por forma a encontrar este equilíbrio é necessária, para além de uma procura de novas energias, uma maior utilização de renováveis assim como uma correcta utilização das mesmas.

Uma das grandes dificuldades, é que actualmente existem problemas ambientais, como contaminação e desequilíbrio de ecossistemas, perda de diversidade biológica, diversos recursos que esgotam devido a um crescimento descontrolado da população mundial, que por sua vez leva ao surgimento de megacidades com elevadíssimas concentrações de poluentes. Todos estes problemas, entre outros, levam a uma destruição das condições ambientais do planeta. A população a nível mundial está cada vez mais atenta a estes problemas, tendo em vista a sustentabilidade da vida para as futuras gerações.

Com o Protocolo de Quioto foi implementado o primeiro combate às alterações climáticas. Neste protocolo estão definidos os limites para as emissões dos principais Gases de Efeito de Estufa (GEE), tais como reduzir os níveis de GEE em 5% até 2012, em comparação com os níveis de 1990.

Em 1993, Portugal aderiu à Convenção Estrutural de Alterações Climáticas das Nações Unidas (UN FCC), onde foram emitidos dois relatórios sobre as alterações climáticas em Portugal. No segundo relatório, de 1997, estaria previsto que as emissões de CO<sub>2</sub> subissem 69% entre os anos de 1990 e 2010.

A Dezembro de 1997, a União Europeia, comprometendo-se a reduzir as emissões dos Gases com Efeito de Estufa (GEE) até 2012, assina o Protocolo de Quioto. Portugal apenas assina o mesmo protocolo em 2002, comprometendo-se a limitar o aumento de emissão dos GEE em 27%.

Na verdade, cada Estado Membro da União Europeia assinou um Acordo de Partilha de Responsabilidades, Decisão n.º 2002/358/CE, de 25 de Abril, no qual cada Estado Membro possuía metas diferentes.

O Protocolo de Quioto entra em vigor a nível mundial, quando 55 países assinam este protocolo, a 16 de Fevereiro de 2005. Ainda em Novembro de 2004, os “European Environment and Sustainable Development Advisory Councils” recomendaram uma redução de 30% da emissão de gases de efeito de estufa até 2020 e de 70% até 2050, isto comparando com os valores de 1990. O objectivo passaria por manter a concentração dos gases de efeito de estufa em 450ppm de CO<sub>2</sub> equivalentes. [7]

## **1.2 Enquadramento do Tema**

Tal como referido anteriormente, o consumo energético tem vindo a aumentar ao longo dos anos. Daí, um dos maiores desafios a nível mundial, ser conseguir combater as alterações climáticas e a consequente degradação do meio ambiente, que advêm das variadas formas de obter esta energia. Um dos sectores onde se verifica esse aumento de energia é no sector da construção, e o aumento, por parte da população, das exigências de conforto no interior das habitações, levado a um aumento na potência dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento, resultando num aumento do consumo energético. Quanto maior o consumo energético, mais rapidamente se levará à delapidação de várias matérias-primas e consequente mais rapidamente se agravará a actual crise ambiental. [8]

Segundo estatísticas de 2005, uma fatia de 30% sobre o consumo energético total de energia primária em Portugal corresponde ao consumo dos edifícios, sendo que, no que respeita ao consumo de energia eléctrica, a fatia de consumo dos edifícios é de 62%. [9]

Estando esse consumo associado, em grande parte, às necessidades de climatização e iluminação dos edifícios, estima-se que 50% desse consumo possa ser reduzido através de medidas de eficiência energética, podendo vir a representar uma redução anual de 400

milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> - quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto. [10]

Uma das ferramentas disponíveis que auxiliam a implementação de medidas de eficiência energética são as simulações energéticas dinâmicas. São um método de análise computacional do perfil e consumos energéticos do edifício.

As simulações energéticas são ferramentas fundamentais ao projecto de edifícios. Permitindo o estudo do desempenho energético de soluções arquitectónicas, de elementos construtivos e sistemas de climatização, para além da implementação de medidas de eficiência energética.

No entanto, as simulações dinâmicas podem ser utilizadas também em auditorias energéticas, uma vez que permitem a desagregação dos consumos do edifício por sistemas consumidores. Sendo assim possível redimensionar equipamentos de climatização e/ou soluções de iluminação, que conforme referido anteriormente, representam a grande fatia dos consumos de energia nos edifícios.

As simulações energéticas apresentam obrigatoriedade por lei, uma vez que estão contempladas no âmbito do SCE (sistema de certificação energética). Por forma a permitirem a atribuição de um IEE (Índice de Eficiência Energética), e consequentemente uma classificação energética ao edifício, alertando assim os utilizadores para a necessidade de recorrer a medidas que promovam a redução de consumos.

Na sequência do estudo que se pretendia efectuar, foi realizada uma pesquisa a estudos existentes sobre a utilização de diferentes programas de simulação para a análise do mesmo edifício, ao abrigo do RSECE.

Apesar dos estudos existentes nesta área se versarem essencialmente sobre os diferentes métodos de cálculos de cargas térmicas, e de comparação de modelos de cálculo, a presente tese visa efectuar uma análise de sensibilidade relativamente ao grau de variação dos resultados obtidos. Isto, através da aplicação de dois programas de cálculo térmico e energético tendo em conta a legislação em vigor.

Um dos estudos, que apesar de diferente, aborda a dificuldade em reproduzir de forma fiel a geometria e os sistemas energéticos reais de um edifício, no modelo computacional, é o

estudo Roriz & Gonçalves, 2003. O estudo torna-se importante para a presente tese uma vez que uma das diferenças existentes entre os dois programas usados para o estudo está no modo como a envolvente foi introduzida, e as diferenças associadas a esse processo.

O caso de estudo foi um edifício de doze pisos com geometria circular e uma forte componente de envolvente envidraçada. Foi utilizado o programa de simulação DOE-2 e dadas as limitações do programa para reproduzir a geometria real do edifício, foram efectuadas duas aproximações, geometria em planta octogonal e quadrangular, apresentadas na figura 1. [11]

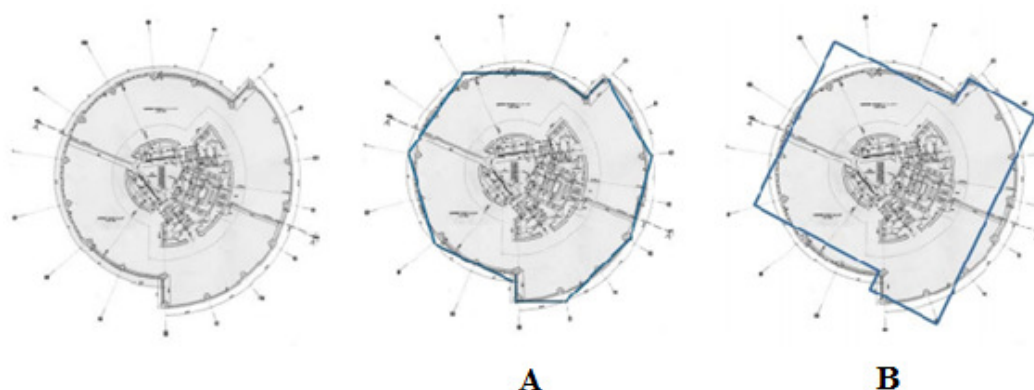


Figura 1 – Geometria do edifício e aproximações utilizadas. [11]

O programa DOE-2 possui ainda limitações ao nível da envolvente interior, uma vez que não permite definir espaços adjacentes a superfícies exclusivamente interiores. Esta situação impede que sejam criadas zonas como poços de elevadores, que embora não sejam climatizadas, influenciam a temperatura dos espaços adjacentes.

Os resultados obtidos através das simulações para cada um dos casos (A e B), são apresentados na seguinte figura.

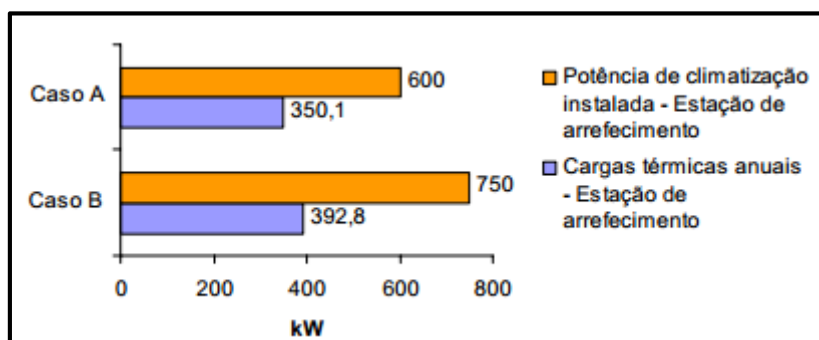


Figura 2 – Comparação dos resultados obtidos pela simulação das duas geometrias. [11]

Os resultados permitiram verificar que as cargas térmicas máximas de arrefecimento e respectiva potência obtidas através de simulação foram superiores para o caso B, ou seja para a aproximação de geometria quadrangular. Isto permitiu concluir que dependendo da aproximação feita, as potências térmicas a instalar, seriam diferentes.

No entanto, o pretendido com este trabalho, é analisar de uma forma mais prática e simplificada a sensibilidade relativamente ao grau de variação dos resultados obtidos, quer em termos de consumo, quer em termos de variação da classificação energética do edifício.

### **1.3 Objectivos**

Nas últimas décadas, vários programas de simulação energética têm sido desenvolvidos e melhorados. Durante este tempo, vários estudos comparativos de vários programas de têm sido publicados, compostos por pesquisas abrangentes de criação de programas de simulação energética para exame de temas como a iluminação natural ou ferramentas de auditorias energéticas. [12]

Este estudo tem por objectivos a realização de uma simulação dinâmica de um grande edifício escolar existente e em pleno funcionamento, assim como efectuar uma análise de sensibilidade relativamente ao grau de variação dos resultados obtidos. Esta análise será efectuada através da aplicação de dois programas de cálculo térmico e energético ao mesmo edifício, nomeadamente o programa VE-Pro da IES e o programa Trace 700.

Os resultados obtidos pelas duas vias computacionais, constituirão uma base de comparação para determinar o grau de variação do desempenho térmico e energético deste grande edifício existente. O trabalho detalhado a desenvolver permitirá consolidar a metodologia utilizada na análise do comportamento térmico e energético de edifícios.

Procurar-se-á assim, demonstrar se é ou não indiferente, o programa de cálculo que o projectista ou perito qualificado escolhe para efectuar a simulação dinâmica do edifício.

É importante salientar que o levantamento de campo dos dados reais do edifício relativos aos itens seguidamente apresentados, servem de padrão real de comparação e calibração dos resultados das simulações numéricas a efectuar com ambos os programas. Estes itens são, nomeadamente:

- Envolvente
- Elementos construtivos
- Iluminação
- Sistemas de AVAC
- Equipamentos
- Ocupação
- Horários

A simulação dinâmica nominal do modelo permitirá determinar a classe energética do edifício, no âmbito do Regulamento de Sistemas de Energia e Climatização em Edifícios (RSECE).

Finalmente, serão apresentadas algumas soluções e metodologias com vista ao melhoramento da eficiência energética dos edifícios, apresentando as suas vantagens.

## **1.4 Conteúdo da tese**

A presente tese encontra-se estruturada em vários capítulos, que se descrevem seguidamente.

O capítulo introdutório visa uma introdução à problemática energética, enquadra o tema da simulação dinâmica de edifícios e estabelece os objectivos a atingir no presente trabalho de investigação.

No segundo capítulo foi realizada uma introdução aos consumos de energia nos edifícios, à importância de reduzir esses consumos e à forma como Portugal desenvolveu medidas de apoio à eficiência energética e assim se organizou de forma a cumprir as metas europeias.

No terceiro capítulo foi abordada a legislação sobre o consumo energético dos edifícios. Realizou-se uma pequena descrição das etapas envolvidas no processo de certificação energética fazendo também uma breve referência aos métodos de cálculo para atribuição das classes energéticas, e o conceito de simulação dinâmica detalhada, com indicação dos programas permitidos pelo regulamento, e posteriormente a comparação entre os dois programas em estudo.

O quarto capítulo visa descrever de forma pormenorizada a auditoria realizada ao edifício. Onde é descrita a estrutura do edifício bem como as principais características do ponto de

vista da envolvente, iluminação, ocupação, sistemas de produção de energia térmica e tratamento de ar novo, ventilação e todo o tipo de horários de funcionamento. São ainda apresentados os resultados das duas simulações e foi estabelecida uma comparação entre os resultados obtidos.

Relativamente ao quinto capítulo, este trata o processo necessário para a simulação real e nominal, são apresentados os procedimentos para o cálculo do IEE e descrito o processo de certificação energética.

No sexto capítulo foram estudadas várias medidas de melhoria tendo em vista a poupança energética e consequente redução de custos com as facturas.

No que diz respeito ao sétimo capítulo foram retiradas as principais análises e conclusões da análise de resultados previamente realizada no capítulo 5.

# 2 Consumo de energia em edifícios

## 2.1 Consumo de energia na actualidade

Conforme se pode verificar pela análise do gráfico 1, o consumo de energia tem vindo a aumentar desde 1860, contribuindo para tal o consumo de energia no interior dos edifícios. Este aumento está relacionado com o crescimento da população mundial e o respectivo aumento do nível de conforto das pessoas. Sem que para tal seja possível descartar o desenvolvimento tecnológico e competitividade económica das empresas.

Para interpretar correctamente os dados referentes ao consumo de energia nos edifícios, deve conhecer-se o conceito de energia primária e energia final. Por energia final deve entender-se, energia disponibilizada às actividades económicas e aos utilizadores no geral sob as suas diferentes formas (electricidade, gás butano, entre outras), após sofrer um percurso mais ou menos longo de transformação, durante o qual uma parte é desperdiçada e a outra, que chega ao consumidor. A energia primária representa a energia proveniente dos recursos energéticos disponíveis na natureza, como o petróleo carvão, eólica entre

outras, uma vez que esta irá sofrer transformações até dar origem à energia final, conforme se pode visualizar na figura 3.

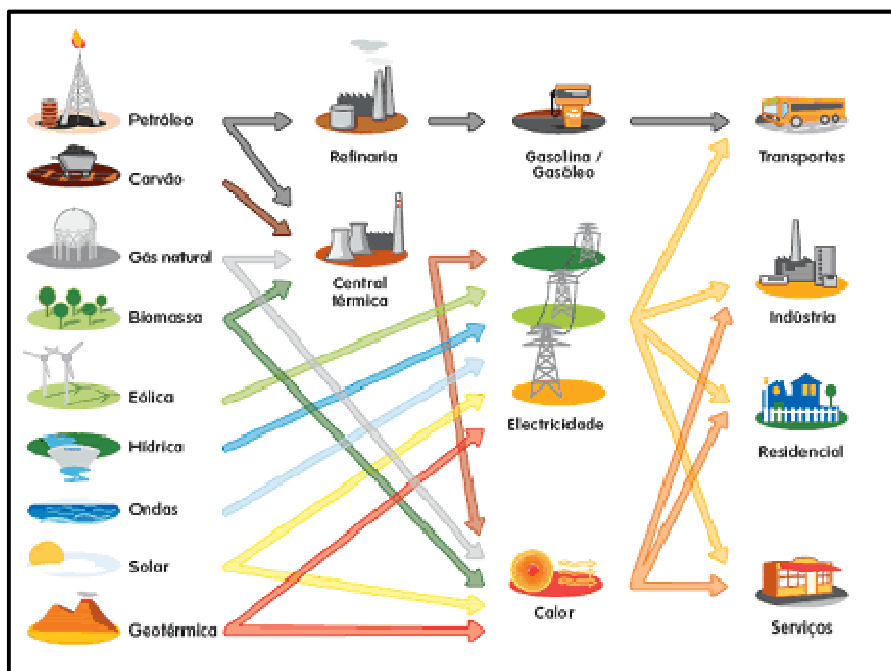


Figura 3 – Percurso de transformação da energia até chegar ao consumidor. [13]

## 2.2 Consumo de energia nos edifícios

Conforme foi referido no ponto 1.1, temos vindo a assistir que o sector residencial e de serviços têm aumentado a intensidade energética, ao invés da tendência europeia.

Na última década em Portugal o sector dos edifícios de serviços foi um dos que mais cresceu em consumos energéticos, cerca de 7%. Este sector é um dos principais responsáveis pelo acentuado crescimento do consumo em energia eléctrica.

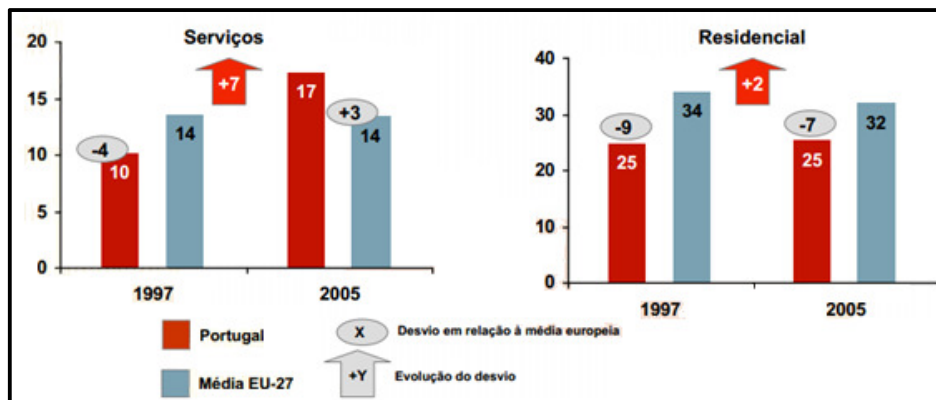


Gráfico 7 – Evolução da intensidade energética por sector (consumo de energia sector / PIB). [14]

Esta evolução, registada no gráfico 7, contribui assim para que quase um terço da energia final seja consumido nos edifícios. Conforme é possível verificar pela análise dos gráficos seguintes, onde se encontram desagregados os consumos de energia final e particularmente de energia eléctrica por sectores de actividade.

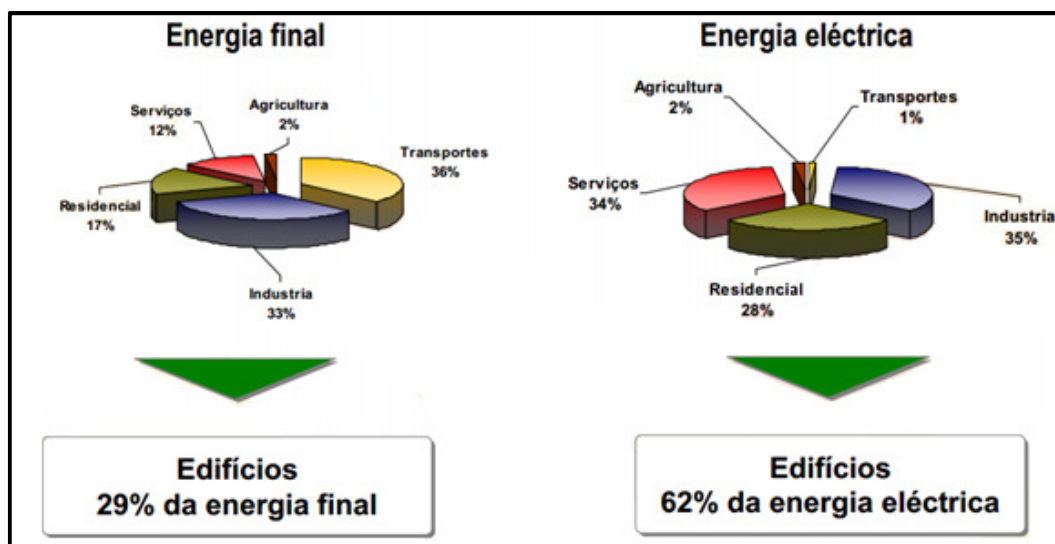


Gráfico 8 – Balanço Energético de 2006. [14]

É possível verificar também através da análise do gráfico 8, que no que diz respeito à energia eléctrica, a percentagem de consumo de energia nos edifícios sobe para 62%, provando assim a importância de se investir em formas de racionalizar o consumo de energia nos edifícios, nas suas várias fases, desde a sua construção até à fase de utilização.

### 2.2.1 Consumo de energia nos edifícios resultantes na fase de construção

Na construção de novos edifícios é utilizada bastante energia incorporada, que representa toda a energia consumida na aquisição de matérias-primas, no seu processamento, manufactura, transporte, construção, manutenção, alteração, na demolição e reciclagem dos materiais utilizados nos edifícios. Recentemente tem sido dada mais atenção à energia incorporada nos materiais e sua avaliação durante o ciclo de vida do edifício. A energia incorporada contabiliza as emissões de poluentes das águas dos rios e oceanos, assim como dos poluentes do ar que contribuem para o efeito de estufa.

A selecção cuidadosa dos materiais de construção é a forma mais fácil de integração dos princípios de sustentabilidade nos edifícios. Ao contrário dos materiais sintéticos, os materiais naturais têm, geralmente, menor energia incorporada. Requerendo menor

processamento e também menor impacto ambiental. Assim, quando materiais naturais de baixa energia incorporada são inseridos nos sistemas dos edifícios, esses sistemas tornam-se sustentáveis. [15]

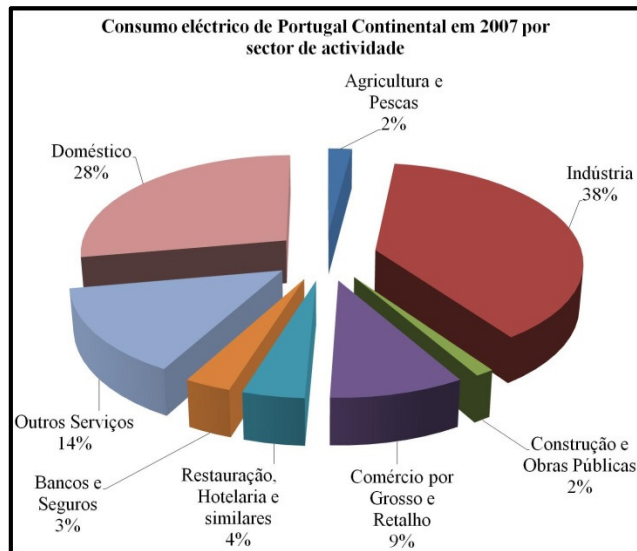
No entanto, apesar da elevada importância dos consumos energéticos e de matérias-primas incorporados na construção, o que mais se destaca é o consumo energético durante a fase de utilização. Assim sendo, a inclusão de medidas de eficiência energética no projecto, ao nível da envolvente, compartimentação, materiais, aproveitamento da energia solar e das condições ambientais exteriores, tornará possível a redução dos consumos energéticos resultantes da utilização do edifício.

### **2.2.2 Consumo de energia nos edifícios resultantes da utilização**

No que diz respeito às empresas e particulares, a gestão energética deve começar logo na fase de projecto das instalações e na escolha dos equipamentos, com a opção racional sobre a forma de energia a consumir e a selecção dos meios de produção que apresentem a maior eficiência energética. No entanto, isto não quer dizer que as acções de gestão energética fiquem por aqui, ou que não tenham que ser realizadas em instalações já existentes. A gestão de energia é um processo continuado e indispensável em qualquer empresa.

Existe uma grande heterogeneidade no sector dos serviços, que vai desde pequena loja até um grande hotel ou grande superfície, assim como, dentro da mesma categoria, existem consumidores mais eficientes e outros que são grandes consumidoras de energia.

Tendo em conta esta diferenciação, importa separar os edifícios por sectores e analisar quais os mais significativos em termos de consumos. Conforme é possível verificar pela análise do gráfico 9, os maiores consumidores de energia eléctrica são os restaurantes, hotéis, hipermercados, supermercados, piscinas, hospitais e escritórios.



**Gráfico 9 – Consumo eléctrico em Portugal por sector de actividade. [16]**

Uma das principais fatias dos consumos energéticos dos edifícios de serviços são as necessidades de aquecimento e de arrefecimento, bem como toda a energia gasta em equipamentos auxiliares a estes processos tais como bombas de circulação, ventiladores, entre outros. A iluminação também é um dos principais consumidores energéticos, e em muitos dos casos, o perfil horário de iluminação utilizado e a potência instalada de iluminação podem ter um papel decisivo no valor da eficiência energética do edifício.

A gestão de energia deve assentar no conhecimento dos sistemas consumidores, através da monitorização de variáveis e registo de informação, da elaboração de auditorias energéticas periódicas. E, ainda, na consequente elaboração de programas de actuação e de investimento nesta área, a fim de reduzir os consumos e / ou efectuar substituições de energia, para as quais as simulações computacionais se tornaram uma ferramenta imprescindível.

### **2.3 Eficiência energética**

Portugal é um país com escassos recursos energéticos endógenos, nomeadamente, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (como o petróleo, o carvão e o gás).

A escassez de recursos fósseis conduz a uma elevada dependência energética do exterior, que apesar de ter vindo a diminuir, era de cerca de cerca de 76,7% em 2010, nomeadamente das importações de fontes primárias de origem fóssil. [17]

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 aprovou o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE). Este documento engloba um conjunto alargado de programas e medidas consideradas fundamentais para que Portugal possa alcançar e até mesmo suplantar os objectivos fixados no âmbito da Directiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos. [18]

A abordagem do PNAEE foi realizada em duas vertentes:

- Adopção de novas tecnologias e processos organizativos, vertente designada por equipamentos;
- Mudanças de comportamentos e valores, que conduzam a tipologias e hábitos de consumo mais sustentáveis, vertente designada por comportamentos.

De acordo com a figura 4, nos equipamentos destacam-se medidas com foco em quatro sectores responsáveis pelos consumos mais elevados de energia: transportes, residencial e serviços, indústria e estado, conforme demonstrado anteriormente.

Os comportamentos visam medidas viradas para a fiscalidade, incentivos e financiamento.

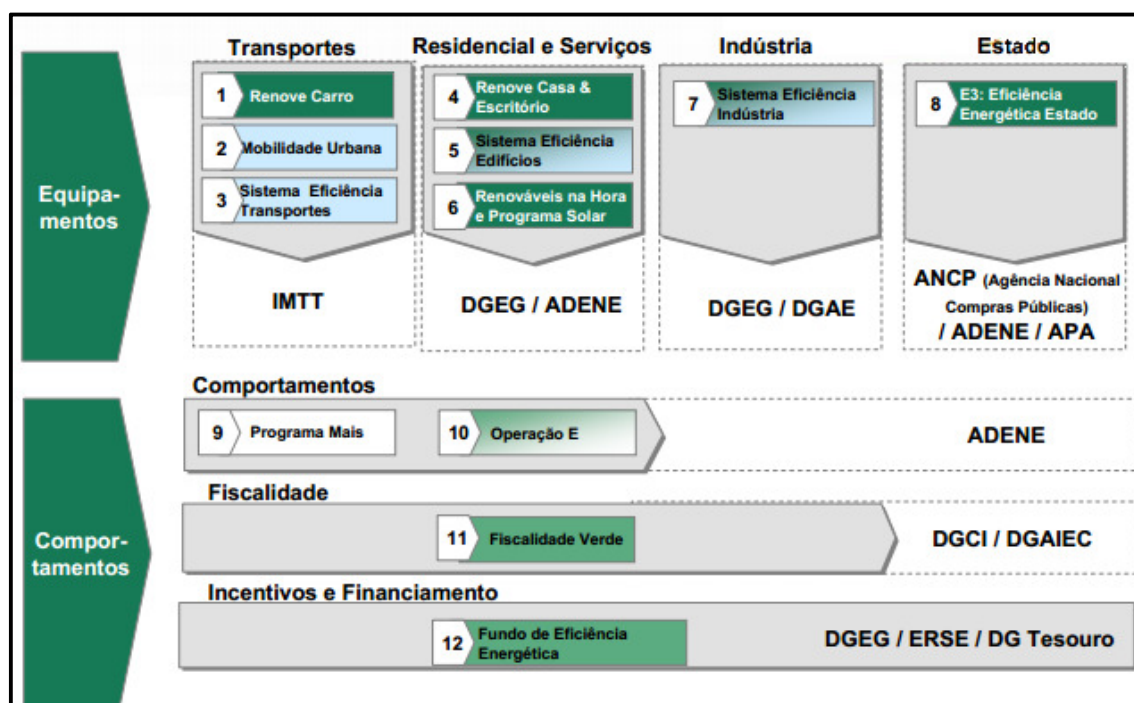


Figura 4 – Programas do Portugal Eficiência 2015 - PNAEE. [19]

A área Residencial e Serviços integram três grandes programas de eficiência energética:

- Programa Renove Casa & Escritório, no qual são definidas várias medidas relacionadas com eficiência energética na iluminação, electrodomésticos, electrónica de consumo e reabilitação de espaços;
- Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios, que agrupa as medidas que resultam do processo de certificação energética nos edifícios, num programa que inclui diversas medidas de eficiência energética nos edifícios, nomeadamente isolamentos, melhoria de vãos envidraçados e sistemas energéticos;
- Programa Renováveis na Hora, que é orientado para o aumento da penetração de energias endógenas nos sectores residencial e serviços. [20]

Caso seja cumprido, o PNAEE, as medidas nele previstas irão permitir alcançar 10% de eficiência energética até 2015, ao invés dos 8% previstos na Directiva 2006/32/CE dos Serviços Energéticos, permitindo mitigar o crescimento da factura energética em 1% por ano até 2015. [19]

Em paralelo com o PNAEE, decorre o SCE, o qual será abordado no capítulo seguinte e que veio corresponder à necessidade de Portugal cumprir a directiva EPBD.

# 3 Legislação

A necessidade de implementação da Directiva Europeia, publicada a 4 de Janeiro de 2003, relativa ao desempenho energético dos edifícios – 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002, também designada por EPBD – “Energy Performance of Buildings Directive”, forçou em Portugal o arranque do funcionamento do Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, DL 78/2006 de 4 de Abril, que integra a nova regulamentação energética de edifícios portuguesa.

No âmbito desta nova regulamentação foram criados os novos regulamentos para os sistemas energéticos e de climatização nos edifícios (RSECE), e para as características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE), os quais estão integrados no sistema de certificação energética e qualidade do ar interior dos edifícios (SCE).

Com esta medida, o Governo Português pretendeu impor regras de eficiência energética aos sistemas energéticos e de climatização existentes nos edifícios. Regras estas que permitam melhorar o seu desempenho energético efectivo e garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior, quer a nível do projecto, quer a nível da sua construção, quer durante o seu funcionamento, através de uma manutenção dos equipamentos e uma gestão dos consumos energéticos adequadas. [21]

### **3.1 Sistema de certificação energética e qualidade do ar interior dos edifícios (SCE)**

Conforme referido anteriormente o Sistema de certificação energética e qualidade do ar interior dos edifícios, subentende o RCCTE e o RSECE para diferentes âmbitos de aplicação.

Assim, o RCCTE aplica-se a:

- Edifícios residenciais com sistemas de climatização com potência instalada inferior a 25 kW ou sem sistema de climatização (HsC);
- Pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados ou com sistemas de potência instalada inferior a 25 kW (PESsC);

Enquanto o RSECE aplica-se a:

- Grandes edifícios ou fracções autónomas de serviços, existentes e novos com área útil superior a 1.000 m<sup>2</sup>, ou no caso de edifícios com tipologia de centros comerciais, supermercados, hipermercados e piscinas aquecidas cobertas, com área superior a 500 m<sup>2</sup> (GES);
- Pequenos edifícios ou fracções autónomas de serviços, novos e existentes, com sistemas de climatização com potência instalada superior a 25 kW (PEScC);
- Novos edifícios de habitação ou cada uma das suas fracções autónomas com sistemas de climatização com potência instalada superior a 25 kW (HcC);
- Novos sistemas de climatização a instalar em edifícios ou fracções autónomas existentes, de serviços ou de habitação, com potência instalada igual ou superior a 25 kW em qualquer tipologia de edifícios;
- Grandes intervenções de reabilitações relacionadas com a envolvente, com as instalações mecânicas de climatização ou com os demais sistemas energéticos dos edifícios de serviços;
- Zonas de ampliações dos edifícios existentes em que essa intervenção não atinja o limiar definido para ser considerada uma grande intervenção de reabilitação.

[23]

## **3.2 RSECE**

Num processo de emissão de um certificado energético de um edifício ao abrigo do RSECE, podemos identificar dois grupos fundamentais de análise:

- Energia;
- Qualidade do Ar Interior (QAI).

Ambos pertencentes ao DL79/2006.

### **3.2.1 RSECE energia**

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) veio definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos relacionados com a envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrange também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, impondo a realização de auditorias energéticas periódicas aos edifícios de serviços.

De forma geral o RSECE energia obriga à determinação do consumo nominal específico dos grandes edifícios de serviços a construir (nº1 do Artigo 8º do DL79/2006), e no âmbito da realização das auditorias periódicas aos grandes edifícios, o RSECE também obriga à determinação do índice de eficiência energética (IEE) nominal ou real, o qual terá que ser comparado com valores de referência (Artigo 7º do mesmo DL), não os podendo ultrapassar.

Conforme consta no nº1 do Artigo 8º do DL79/2006, para efectuar a determinação do IEE e dos consumos nominais do edifício o RSECE impõe ainda a obrigatoriedade de recorrer às simulações dinâmicas para efectuar a verificação dos requisitos energéticos.

### **3.2.2 RSECE QAI**

As preocupações relacionadas com os efeitos da qualidade do ar na saúde pública têm vulgarmente em conta a poluição atmosférica, no exterior dos edifícios. No entanto, as pessoas passam a maior parte dos seus dias em ambientes interiores: nas suas casas, em transportes, nos locais de trabalho, em zonas comerciais e de lazer no interior de edifícios, e outros.

Por estas razões, tem-se verificado uma atenção crescente para os problemas da qualidade do ar interior, não se tratando apenas da existência (e concentração) de poluentes (dióxido de carbono, monóxido de carbono, partículas, compostos orgânicos voláteis, radão, entre muito outros), mas também do nível de conforto (humidade relativa e temperatura) e da percepção que cada um faz da qualidade do ar que se respira. Os níveis de humidade relativa, temperatura e mesmo a presença de certos compostos orgânicos voláteis (perfumes) podem ser considerados “confortáveis” para alguns ocupantes, e “desconfortáveis” para outros.

O RSECE QAI, veio assim permitir a monitorização da QAI nos edifícios de serviços durante o seu funcionamento normal.

Durante as auditorias à QAI devem ser efectuadas avaliações relativas ao estado higio-sanitário do sistema de climatização e um conjunto de avaliações ambientais tais como:

- Inspeção do Sistema AVAC;
- Inspeção Visual e Gravimétrica das Condutas do Sistema;
- Avaliação de Partículas em Suspensão;
- Avaliação de Dióxido de Carbono;
- Avaliação de Monóxido de Carbono;
- Avaliação de Ozono;
- Avaliação de Formaldeído;
- Avaliação de Compostos Orgânicos Voláteis Totais;
- Avaliação da Temperatura e Humidade Relativa;
- Avaliação Microbiológica do Ar;
- Ensaio de Legionella pneumophila;
- Ensaio de Radão.

Encontram-se ainda tabeladas as concentrações máximas de referência recomendadas pelo RSECE:

Tipo	Poluentes	Concentração máxima de referência	
		<i>mg/m<sup>3</sup></i>	<i>ppm</i>
Físico-Químicos	Partículas suspensas no ar (PM10)	0,15	-
	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	1800	984
	Monóxido de Carbono (CO)	12,5	10,7
	Ozono (O <sub>3</sub> )	0,2	0,10
	Formaldeído (CHOH)	0,1	0,08
	Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV <sub>totais</sub> )	0,6	0,26 (isobutileno) 0,16 (tolueno)
	Radão	400 Bq/m <sup>3</sup>	
Microbiológicos	Microrganismos (Bactérias)	500 UFC/m <sup>3</sup>	
	Microrganismos (Fungos)	500 UFC/m <sup>3</sup>	
	Legionella pneumophila	100 UFC/L água	

**Tabela 1 – Valores máximos de referência de acordo com a nota técnica NT-SCE-02.**

As regras e orientações metodológicas definidas na Nota Técnica NT-SCE-02 podem também ser aplicadas, com as devidas adaptações, em contexto específico de verificação dos requisitos QAI previstos no RSECE para os restantes edifícios de serviços existentes.

### 3.2.3 Cálculo classificação energética

No âmbito do RCCTE, a classe energética para os edifícios ou fracções autónomas é determinada através da razão  $R=N_{tc}/N_t$ . Onde  $N_{tc}$  corresponde ao valor das necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e águas quentes sanitárias, e  $N_t$  corresponde ao valor limite máximo regulamentar para as necessidades anuais globais de energia primária para climatização e águas quentes. [22]

A classificação do edifício segue uma escala pré-definida de 7+2 classes (A<sup>+</sup>, A, B, B<sup>-</sup>, C, D, E, F e G), em que a classe A<sup>+</sup> corresponde a um edifício com óptimo desempenho energético e a classe G corresponde a um edifício com pior desempenho. Para um edifício novo, o mínimo regulamentar é B<sup>-</sup>.

Classe Energética	Valor de R
A+ .....	$R \leq 0,25$
A .....	$0,25 < R \leq 0,50$
B .....	$0,50 < R \leq 0,75$
B- .....	$0,75 < R \leq 1,00$
C .....	$1,00 < R \leq 1,50$
D .....	$1,50 < R \leq 2,00$
E .....	$2,00 < R \leq 2,50$
F .....	$2,50 < R \leq 3,00$
G .....	$R > 3,00$

**Tabela 2 – Escala da classificação energética segundo RCCTE. [22]**

Já a classe energética para edifícios ou fracções autónomas de edifícios, tanto novos como existentes, ao abrigo do RSECE é determinada com base nas seguintes variáveis:

- Valor do indicador de eficiência energética obtido na base dos padrões nominais de utilização definidos no Anexo XV do Decreto – Lei 79/2006 de 4 de Abril (IEE<sub>nom</sub>) e calculado de acordo com o previsto no anexo IX do mesmo decreto;
- Valor do indicador de eficiência energética de referência para edifícios novos (IEE<sub>ref, novos</sub>), conforme definido no Anexo XI do Decreto -Lei 79/2006 de 4 de Abril;
- Valor do parâmetro S. [24]

O IEE (Índice de Eficiência Energética) quantifica os consumos nominais de um edifício de serviços (em  $\text{kgep/m}^2$ ) valor este que não poderá ultrapassar determinado valor em função do tipo de edifício e da sua utilização ( $\text{IEE}_{\text{nom}} < \text{IEE}_{\text{referência}}$ )

Para calcular o IEE existem então varias formas, consoante o objectivo. Para edifícios já existentes, podemos obter o valor de  $\text{IEE}_{\text{real facturas}}$ , calculando a razão entre a energia consumida e a área de pavimento. Com este valor sabemos se é cumprido o requisito energético em edifícios já existentes e ainda se há a necessidade de implementação de um PRE (Plano de Racionalização de Energia), não permitindo, no entanto, uma classificação energética. Para tal, é necessário calcular o valor por simulação dinâmica com perfis de utilização nominais com correcção climática,  $\text{IEE}_{\text{nom}}$ , mas aplicado a edifícios novos. Novamente, para edifícios já existentes, realiza-se  $\text{IEE}_{\text{real simulação}}$ , que consiste numa simulação dinâmica em condições reais de utilização. Neste caso, tem de se verificar que os consumos de energia calculados apresentam um desvio inferior a 10% em relação aos consumos observados.

Na tabela 3 é possível resumir os vários tipos de IEE, como se determinam e qual a sua aplicação.

Tipo IEE	Designação	Como se determina?	Para que serve?
IEE <sub>real, facturas</sub>	IEE real obtido pelas facturas	Por análise simples das facturas energéticas (últimos 3 anos de registos), sem correcção climática	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificação simplificada do cumprimento do requisito energético em edifícios existentes e da necessidade ou não de um PRE</li> </ul>
IEE <sub>real, simulação</sub>	IEE real obtido por simulação	Por simulação dinâmica, utilizando os perfis reais previstos ou determinados em auditoria, com correcção climática	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para efeitos da 1ª auditoria de edifícios novos (ao fim do terceiro ano de funcionamento)</li> <li>Verificação detalhada do cumprimento do requisito energético em edifícios existentes e da necessidade ou não de um PRE</li> </ul>
IEE <sub>nom</sub>	IEE nominal	Por simulação dinâmica, utilizando os perfis padrão do Anexo XV, com correcção climática	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificação do cumprimento do requisito energético em edifícios novos</li> <li>Classificação energética do edifício (tanto novos como existentes)</li> <li>Verificação detalhada do cumprimento do requisito energético em edifícios existentes e da necessidade ou não de um PRE</li> </ul>
IEE <sub>ref, novo</sub>	IEE de referência limite para edifícios novos	Definido no Anexo XI	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificação do cumprimento do requisito energético em edifícios novos</li> <li>Referência para classificação energética</li> </ul>
IEE <sub>ref, exist</sub>	IEE de referência limite para edif. existentes	Definido no Anexo X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificação simplificada e detalhada do cumprimento do requisito energético em edifícios existentes e da necessidade ou não de um PRE</li> </ul>

Tabela 3 – Vários tipos de IEE. [25]

Relativamente ao IEE<sub>nom</sub>, é calculado a partir da quantidade de energia consumida pelo edifício (necessidades nominais de energia) durante um ano, convertidos para uma base de energia primária (kgep/m<sup>2</sup>.ano), segundo a seguinte fórmula de cálculo:

$$IEE = IEE_I + IEE_V + \frac{Q_{out}}{A_p}$$

Em que:

IEE<sub>I</sub>– Indicador de eficiência energética de aquecimento (kgep/m<sup>2</sup>.ano);

IEE<sub>V</sub>– Indicador de eficiência energética de arrefecimento (kgep/m<sup>2</sup>.ano);

Q<sub>out</sub> – consumo de energia não ligado aos processos de aquecimento (kgep/ano);

A<sub>p</sub> – Área útil de pavimento (m<sup>2</sup>).

Por sua vez:

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_p} \times F_{CI}$$

$$IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_p} \times F_{CV}$$

Em que:

$Q_{aq}$  – Consumo de energia de aquecimento (kgep/ano);

$F_{CI}$  – Factor de correcção do consumo de energia de aquecimento;

$Q_{arr}$  – Consumo de energia de arrefecimento (kgep/ano);

$F_{CV}$  – Factor de correcção do consumo de energia de arrefecimento.

Para o cálculo dos factores de correcção climática  $F_{CI}$  e  $F_{CV}$ , é utilizada uma região climática de referência I1-V1N, a qual, por definição tem as seguintes características:

1000 “Graus-dias” de aquecimento e 160 dias de duração da estação de aquecimento.

Os valores dos factores de correcção climática  $F_{CI}$  e  $F_{CV}$  têm em conta as diferenças de necessidades de aquecimento ou de arrefecimento devidas à severidade do clima. As quais são corrigidas pelo grau de exigência na qualidade da envolvente aplicável a cada zona climática, mesmo que o edifício não esteja sujeito às exigências do RCCTE. [23]

Os factores são calculados então:

$$F_{CI} = \frac{N_{I1}}{N_{Ii}}$$

$$F_{CV} = \frac{N_{V1}}{N_{Vi}}$$

Em que:

$N_{I1}$  – Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1 (kWh/m<sup>2</sup>.ano);

$N_{Ii}$  – Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizado o edifício (kWh/m<sup>2</sup>.ano);

$N_{V1}$  – Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1- V1 (kWh/m<sup>2</sup>.ano);

$N_{Vi}$ – Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizado o edifício ( $kWh/m^2.ano$ ).

Uma vez impostas ao edifício as condições nominais de funcionamento, tal como referido, é possível atribuir uma classificação energética conforme a tabela 4.

Classe Energética	Condição a verificar
A +	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref.novos} - 0,75 \times S$
A	$IEE_{ref.novos} - 0,75 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref.novos} - 0,50 \times S$
B	$IEE_{ref.novos} - 0,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref.novos} - 0,25 \times S$
B -	$IEE_{ref.novos} - 0,25 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref.novos}$
C	$IEE_{ref.novos} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref.novos} + 0,50 \times S$
D	$IEE_{ref.novos} + 0,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref.novos} + 1,00 \times S$
E	$IEE_{ref.novos} + 1,00 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref.novos} + 1,50 \times S$
F	$IEE_{ref.novos} + 1,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref.novos} + 2,00 \times S$
G	$IEE_{ref.novos} + 2,00 \times S < IEE_{nom}$

Tabela 4 – Escala da classificação energética segundo RSECE. [25]

### 3.3 Simulação dinâmica ao abrigo da norma ASHRAE 140-2004

Conforme referido anteriormente, a simulação dinâmica é um método de análise computacional do perfil e consumos energéticos do edifício prevista no RSECE como forma de efectuar a verificação dos requisitos energéticos dos edifícios.

A simulação dinâmica deve então ser entendida como método de previsão das necessidades de energia para o funcionamento de um edifício nas condições de conforto térmico, e prever igualmente as necessidades de energia dos restantes sistemas energéticos, tendo em conta a evolução de todos os parâmetros relevantes com a precisão adequada, numa base pelo menos horária, ao longo de todo um ano de funcionamento normal, ou típico. O anexo VIII do RSECE define os aspectos que este tipo de modelo computacional deve incluir, nomeadamente as características da envolvente do edifício, o ficheiro climático de acordo com a zona, sistemas de climatização, ventilação iluminação entre outros.

Posteriormente, este modelo será utilizado para calcular o Indicador de Eficiência Energética (IEE) para efeitos de classificação energética regulamentar.

De acordo com o Decreto-Lei 79/2006 de 4 de Abril (RSECE), os programas de simulação devem ser acreditados pela norma ASHRAE 140-2004. A presente norma resultou de um projecto desenvolvido pela International Energy Agency (IEA) cujo objectivo era desenvolver um procedimento de verificação analítica, empírica e de comparação entre programas de simulação dinâmica. [27]

A ASHRAE implementou um programa rigoroso de testes e validação de resultados obtidos através dos diversos programas, de modo a avaliar a precisão de cada um, identificando diferenças nos resultados obtidos resultantes dos diferentes algoritmos envolvidos, limitações e erros de código. Na sequência deste programa de testes e validação de resultados, surgiu a lista de programas acreditados que se apresenta na tabela 5.

Programas	Organizações Responsáveis
<i>Blast</i>	<i>CERL- U.S.Army Construction Engineering Research Laboratories, USA</i>
<i>DOE-2</i>	<i>LANL- Los Alamos National Laboratory, USA LBNL- Lawrence Berkeley National Laboratory, USA James J. Hirsch &amp; Associates, USA</i>
<i>ESP</i>	<i>Strathclyde University, GB</i>
<i>SRES/SUN</i>	<i>NREL- National Renewable Energy Laboratory, USA Ecotope, USA</i>
<i>SRES/BRE</i>	<i>NREL- National Renewable Energy Laboratory, USA BRE - Building Research Establishment, GB</i>
<i>S3PAS</i>	<i>Universidade de Sevilha, Espanha</i>
<i>TASE</i>	<i>Tampere University, Finlândia</i>
<i>TRNSYS</i>	<i>University of Wisconsin, USA</i>
<i>TRNSYS/TUD</i>	<i>University of Wisconsin, USA Technische Universität Dresden, Alemanha</i>
<i>CA-SIS</i>	<i>Electricité de France, França</i>
<i>CLIM2000</i>	<i>Electricité de France, França</i>
<i>ENERGYPLUS</i>	<i>LBNL - Lawrence Berkeley National Laboratory, USA UIUC - University of Illinois Urbana/ Champaign, USA CERL- U.S.Army Construction Engineering Research Laboratories, USA OSU-Oklahoma State University, USA GARD Analytics, USA FSEC - University of Central Florida, Florida Solar Energy Center, USA DOE-OBT Department of Energy, Office of Building Technology, USA</i>

**Tabela 5 – Programas de simulação dinâmica acreditados pela norma ASHRAE 140-2004. [25]**

Posteriormente, os programas Trace 700, HAP4.31 e VisualDOE4.1 foram também acreditados no âmbito da norma referida.

Ambos os programas em estudo encontram-se assim acreditados no âmbito da ASHRAE 140-2004, e são portanto válidos para o presente estudo.

### 3.4 Programas de simulação utilizados

No seguinte capítulo irão ser abordados de forma resumida os dois programas de simulação utilizados para o presente estudo e no final, será feita uma comparação dos mesmos.

#### 3.4.1 VE-Pro

O VE-Pro é um programa que engloba um conjunto de ferramentas de simulação e de avaliação do desempenho de edifícios. Usado principalmente por especialistas em *design* sustentável, permite compreender os impactos das diferentes estratégias de *design* no consumo energético do edifício e também, no seu índice de eficiência energética.

O programa encontra-se dividido em vários módulos conforme representado na figura 5.



Figura 5 – Vários módulos do VE-Pro. [28]

O ModellT, é o módulo que permite ao utilizador gerar a geometria do edifício. Aqui é possível criar e editar a geometria de um ou vários edifícios construídos de raiz ou através da junção de vários ficheiros. São ainda permitidos vários níveis de detalhe conforme as intenções do utilizador.

O módulo SunCast permite a análise do impacto dos ganhos solares no edifício. Permite que o utilizador visualize a radiação solar na fachada e nas superfícies interiores, bem como, avaliar a eficácia do sombreamento. Estes impactos para além de quantificados em termos de calor ganho, são quantificados em consumo de energia para ajudar a otimizar o projecto de sombreamento uma vez integrado com o módulo ApacheSim.

O ApacheSim é o módulo de simulação térmica do VE-Pro. Modela as interacções dinâmicas entre o edifício como o clima externo, as cargas internas e os processos e os sistemas mecânicos do edifício. Permite a integração com outros módulos de forma completar a sua análise, através dos ganhos solares, ventilação e o desempenho do sistema de climatização.

Relativamente ao módulo Flucs DL, permite calcular ponto por ponto, iluminação e factores de luz do dia, em qualquer superfície do edifício ou em especificados planos de trabalho como por exemplo, uma mesa. Permite ainda através da execução de várias simulações, comparar a quantidade de luz disponível com ou sem os sombreamentos.

O Radiance é sobretudo um módulo visual que permite realizar *renderings* fotorealistas. As imagens produzidas pelo Radiance são *renderings* detalhadas mas também contém dados sobre a quantidade de luz e pode até mesmo ser utilizado para prever se o brilho será problemático num determinado espaço.

O módulo MacroFlo permite definir janelas operáveis e avaliar como a ventilação natural terá impacto sobre um determinado espaço, e assim contabilizar a circulação do ar devido ao vento e aos efeitos de flutuação na simulação térmica.

O MicroFlo analisa o movimento do ar em maior detalhe usando um modelo de dinâmica de fluidos computacional (CFD). Os CFD produzem efeitos visuais importantes para avaliar os padrões de ar complexos e as distribuições de temperatura num determinado espaço.

Finalmente, o ApacheHVAC oferece uma grande flexibilidade na definição de equipamentos de climatização e sistemas de controlo. O utilizador pode começar com uma configuração do sistema pré-definida ou criar sistemas customizados, reunindo uma série de componentes e especificando as estratégias de controlo. Os dados de desempenho, incluindo a capacidade de carga parcial e curvas de correcção de eficiência podem em seguida, ser aplicados para os equipamentos customizados. O ApacheHVAC é totalmente integrado com os outros módulos resultando em representações muito eficazes de interacções complexas entre o edifício, clima, cargas internas, e os sistemas de AVAC. [27]

Para o presente estudo, apenas foram consideradas as ferramentas ModelIT, para a construção do edifício, o SunCast, para o cálculo dos sombreamentos e o Apache para o cálculo das cargas térmicas e energia necessária para a climatização. Ponderou-se usar o módulo ApacheHVAC, no entanto, por falta de dados técnicos para o dimensionamento completo do sistema de climatização optou-se por fazer uma simulação menos detalhada e mais próxima do que encontramos no Trace 700.

### **3.4.2 Trace 700**

Trane Air Conditioning Economics ou TRACE, foi apresentado pela primeira vez em 1972, e teve desde então como principal objectivo permitir aos projectistas de AVAC estimar as cargas máximas de um edifício e as zonas onde ocorriam dentro do mesmo em fase de projecto. Outra das suas principais ferramentas mais importantes, é o cálculo da análise económica e dos custos envolvidos com a instalação ao longo da sua vida útil de operação.

Ao contrário do VE-PRO, é um programa de interface intuitiva e de fácil interacção com o utilizador.

O Trace 700 pode ser dividido em cinco menus ou fases principais, cada que devem ser estudadas em conjunto de modo a fornecer ao utilizador uma análise energética e financeira o mais correcta possível.

Assim, em primeiro lugar e necessário realizar os cálculos das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento (Load Phase), tendo em conta a envolvente opaca e vãos envidraçados definidos pelo utilizador, horários de funcionamento, densidades de

iluminação e equipamento bem como a orientação das zonas e a zona climática em que se encontra o edifício.

Posteriormente é feito o cálculo de cargas para as condições de projecto (Design Phase), sendo necessários os dados referentes aos sistemas de climatização que se pretendem utilizar e os dados já anteriormente mencionados para a fase anterior. O programa realiza o cálculo das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento nas condições de projecto. O programa possui já incluída muita informação técnica do fabricante TRANE, relativa aos sistemas de climatização, os restantes podem ser adicionados e configurados pelo utilizador.

De seguida, (Air Side System Simulation Phase) tem como função traduzir os ganhos térmicos do edifício e as perdas nos equipamentos de AVAC, no funcionamento geral do sistema de climatização e tratamento de ar. O resultado final da fase de simulação do sistema é a carga horária dos equipamentos por cada sistema de tratamento de ar.

As cargas horárias resultantes dos equipamentos associados para cada sistema de tratamento de ar são cedidas ao módulo de simulação dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento (Equipment Simulation Phase). Nesta fase são traduzidas as cargas dos equipamentos em consumo energético por fonte, é então necessário caracterizar estes equipamentos escolhendo o tipo de centrais de produção de energia térmica, bombas circulação, entre outros.

A última fase consiste na análise económica. São necessários os dados dos custos de instalação, manutenção, períodos de amortização, entre outros, permitindo ao utilizador comparar diversas alternativas e otimizar o sistema a ser instalado.

### **3.4.3 Análise comparativa dos programas de simulação**

Analisando os *inputs* de ambos os programas, existe uma grande diferença à partida, que diz respeito à visualização do modelo criado, uma vez que ao contrário do VE-Pro, o Trace 700 não permite a visualização 3D do modelo criado, sendo toda a geometria criada com base na definição do valor das áreas e orientação das mesmas.

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

- Ocupação;
- Iluminação;
- Equipamento;
- Horários.

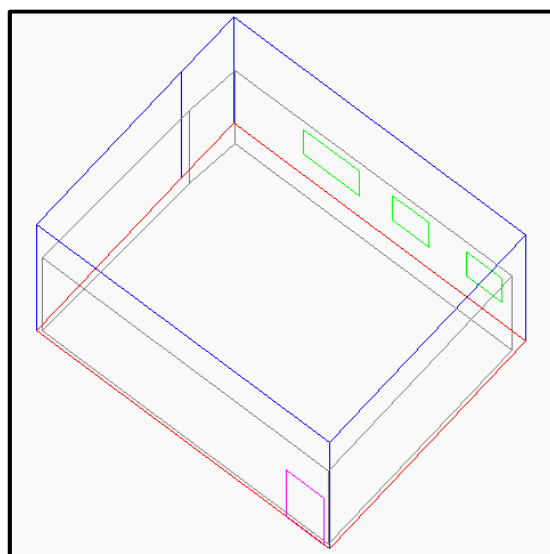
Relativamente aos parâmetros acima referidos, a grande diferença na utilização dos programas é de facto o interface gráfico, sendo o VE-Pro pouco intuitivo nestes campos.

#### 3.4.3.1 *Envolvente*

Quanto à envolvente, existem algumas diferenças que podem provocar alterações, principalmente no cálculo da área útil.

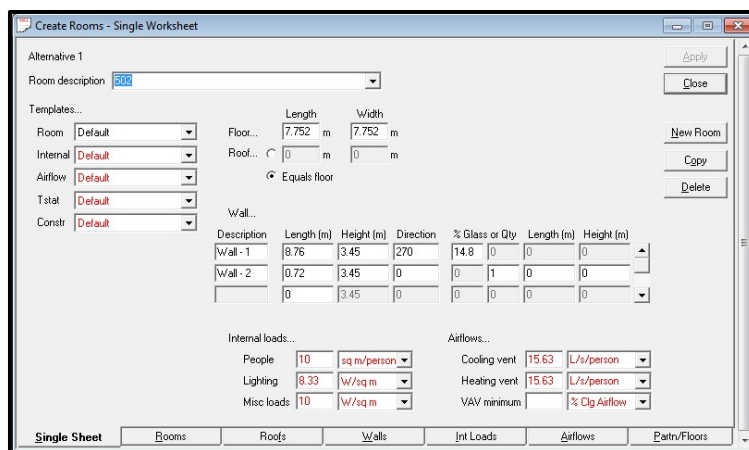
O Modell T prevê que no desenho das paredes interiores, a linha representativa das referidas paredes seja traçada pelo meio, sendo extrudida posteriormente, enquanto as paredes exteriores devem ser traçadas pelo exterior, sendo posteriormente extrudidas para o interior.

Neste processo existe a necessidade do utilizador ter em atenção a escala da grelha. Visto que se este não for rigoroso e não fechando as paredes no sítio correcto, corre o risco de criar espaços de ar, tornando paredes interiores em exteriores, aumentando a área de perdas pela envolvente. É certo que o VE-Pro desenvolveu algumas ferramentas para corrigir esta lacuna, no entanto, continua a exigir a máxima atenção do utilizador.



**Figura 6 – Vista para introdução das envolventes no VE-Pro na sala 502.**

Os *inputs* no Trace 700, consideram a introdução das áreas úteis de pavimento, áreas das várias envolventes e envidraçados, obtidas através de um software CAD, bem como as respectivas orientações e/ou inclinações.



**Figura 7 – Vista para introdução das envolventes no Trace 700 na sala 502.**

Relativamente às orientações, importa referir que o VE-Pro torna-se mais expedito, uma vez que ao desenhar o edifício no e depois de definida a orientação Norte, o programa calcula automaticamente as restantes orientações.

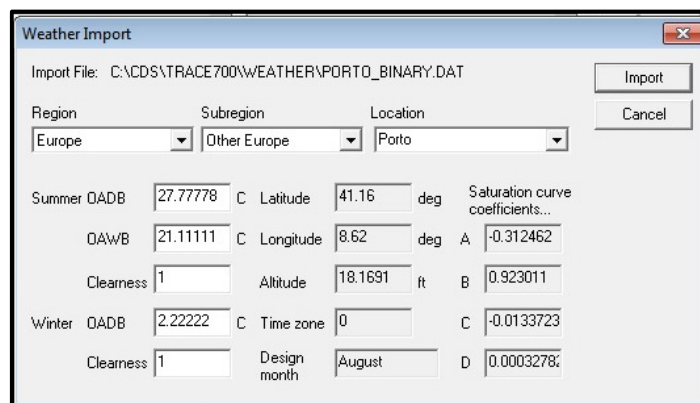
### 3.4.3.2 *Dados climáticos*

Os indicadores de eficiência energética de referência definidos pelo RSECE foram obtidos utilizando a base de dados climática do programa Solterm. Estes dados climáticos devem assim utilizados nos programas de simulação tanto para efeitos de verificação regulamentar, como de certificação.

O VE-Pro permite, após conversão para um formato de extensão .fwt, a utilização directa dos dados climáticos obtidos através do Solterm, para o concelho em que o edifício se insere. Estes dados incluem entre outros, a temperatura de bolbo seco e húmido, humidade relativa, pressão atmosférica e velocidade do vento, para todas as horas do ano.

No Trace 700 é necessário ter especial atenção a este tópico uma vez que para efeitos de cálculo de cargas os ficheiros climáticos apenas contêm dados para 24 h de um dia típico por mês, o que resulta na perda de rigor dos valores calculados ao longo do ano. No entanto, foi possível importar os ficheiros climáticos com dados para as 8760 horas do ano

através do Solterm, bastando para isso mudar o nome do ficheiro para .INETI.DAT, e importar directamente no programa.



**Figura 8 – Janela para importação de dados no Trace 700.**

Mais uma diferença prede-se com o facto de o Trace não incluir na sua simulação com a velocidade do vento.

### 3.4.3.3 *Tratamento de zonas não úteis*

Mais uma vez existem diferenças a este nível nos dois programas. Através da interface do VE-Pro, é possível criar toda a geometria do edifício através de plantas de arquitectura, definindo as partições de acordo com critérios que podem ir desde separar zonas climatizadas de zonas não climatizadas até à separação de zonas com perfis de utilização distintos e consequentemente horários diferentes.

Assim, o VE-Pro, permite definir de forma rigorosa as condições de adjacência entre zonas climatizadas e zonas não climatizadas, o que permite simular a influência de um espaço não útil quando adjacente a um espaço útil e assim contabilizar efeitos de diferenças de temperaturas entre ambos.

Relativamente ao Trace 700, o utilizador ao criar uma zona útil, apenas tem a possibilidade de definir a área da envolvente (paredes, coberturas e pavimentos) em contacto com uma zona não útil, e definir a evolução da temperatura das zonas adjacentes não úteis. Ao utilizador são dadas as seguintes opções:

- *Constant;*
- *Sinefit;*

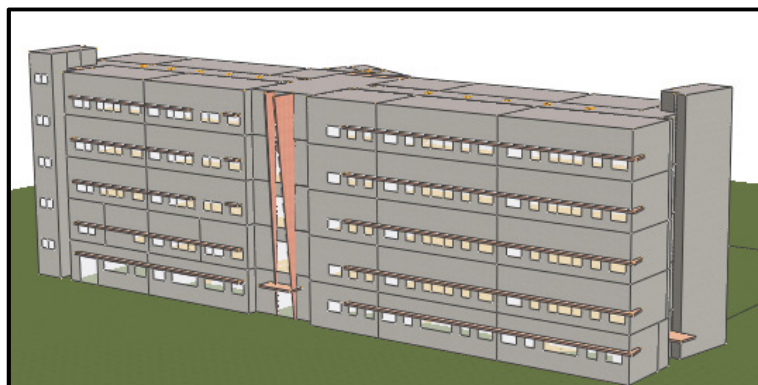
- *Prorated;*
- *Hourly OADB;*
- *Ground;*
- *Interior Mass.*

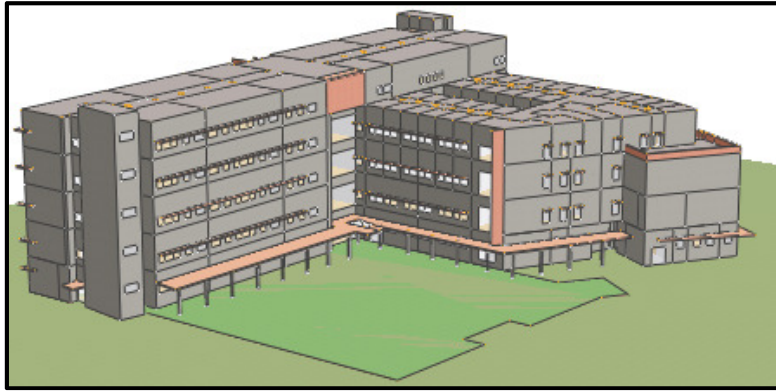
De forma resumida, a opção *constant* define a temperatura da zona não climatizada como igual à temperatura de arrefecimento e aquecimento dependendo do período, definidas pelo utilizador. Na opção *sinefit* é feito um ajuste através de uma curva sinusoidal cujos máximos e mínimos correspondem às temperaturas definidas pelo utilizador. A opção *prorated* ajusta a temperatura da zona adjacente não climatizada aos valores da temperatura de bolbo seco e bolbo húmido através de uma relação directamente proporcional. Se o utilizador optar pela opção *HourlyOADB*, a temperatura da zona adjacente será igual à temperatura exterior de bolbo seco em cada instante, de acordo com a informação do ficheiro climático.

Estas são as opções mais usuais, sendo que, para o caso em estudo optou-se por seleccionar a opção *sinefit*. Para o cálculo das temperaturas dos espaços não úteis foi necessário recorrer às temperaturas exteriores de projecto, anexo A, e afectar essas temperaturas dos respectivos Taus.

#### **3.4.3.4 Sombreamentos**

No que diz respeito aos sombreamentos, os dois programas apresentam algumas diferenças na parametrização, desde logo porque no VE-Pro, ao desenhar o edifício, o utilizador deve também desenhar as palas verticais e/ou horizontais bem como outras obstruções provocadas por edifícios adjacentes, árvores entre outros.

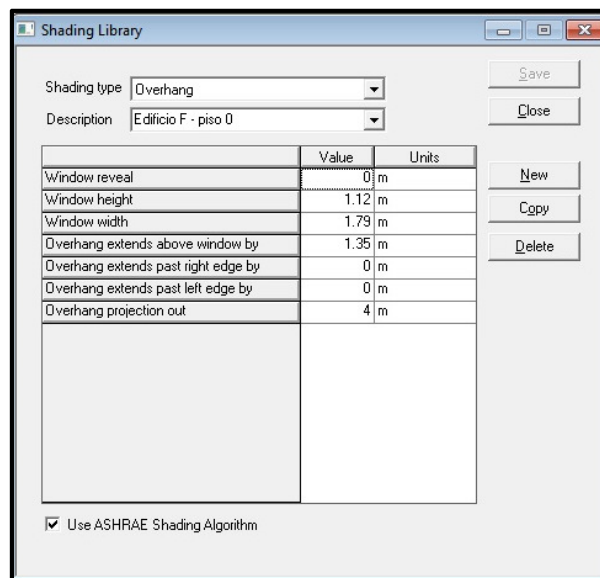




**Figura 9 – Sombreamentos dos vários pisos através do VE-Pro.**

Já no caso do Trace 700, o utilizador possui um menu, onde deve introduzir as distancias dos edifícios adjacentes e/ou comprimentos das palas, o menu encontra-se dividido em quatro, *Horizontal Overhangs*, *Vertical Fins*, *Adjacent Buildings* e *Combined Horizontal and Vertical Fins* respectivamente.

Este processo pode tornar-se assim bem mais moroso no Trace, caso o edifício possua uma geometria complexa com bastantes obstruções.



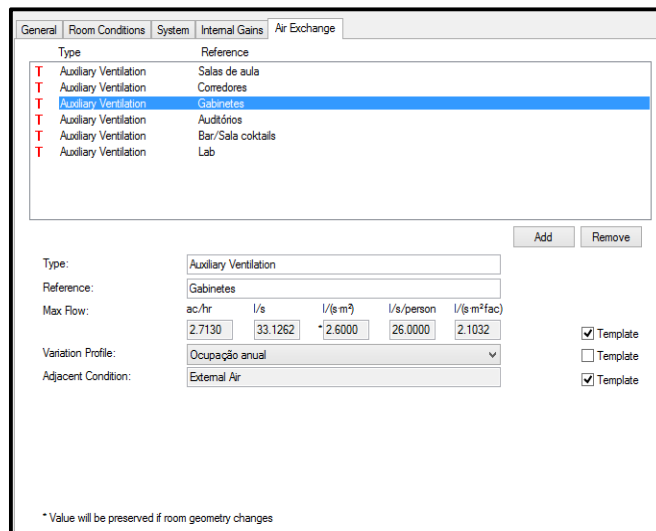
**Figura 10 – Parametrização do sombreamento das palas horizontais do piso 0 no Trace 700.**

### 3.4.3.5 Caudais de ar novo

Relativamente aos caudais de ar novo existe uma diferença na introdução dos dados nos dois programas que beneficia o Trace 700.

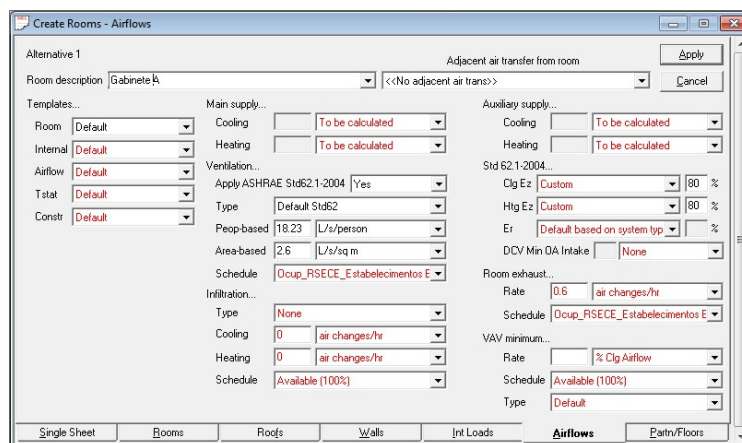
No anexo VI do RSECE existem espaços em que os caudais mínimos de ar novo surgem tanto em função da ocupação, como da área útil do espaço.

Nestes casos no VE-Pro, é necessário previamente calcular a ocupação nominal, e comparar os caudais em função da ocupação e da área e optar pela situação mais gravosa para introduzir no programa.



**Figura 11 – Caudais de ar novo para a zona de gabinetes no VE-Pro.**

Pelo contrário, o Trace 700, permite aplicar a ASHRAE std62.1-2004/2007, e assim fornecer ao programa os dados para calcular os caudais de ar novo com as duas opções e deixar a escolha da solução mais gravosa para o Trace.



**Figura 12 – Caudais de ar novo para a zona de gabinetes no Trace 700.**

### 3.4.3.6 Equipamentos de climatização

Mais uma vez, existem diferenças ao nível do grafismo dos programas. Utilizando o ApacheHVAC, o utilizador pode parametrizar, com grande rigor, toda a estrutura do seu sistema de climatização. Desde o comprimento da tubagem, às características de bombas, válvulas entre outros, tudo num esquema bidimensional que por vezes se pode tornar bastante confuso, dependendo do detalhe e da quantidade de equipamentos, conforme representado na figura 13.

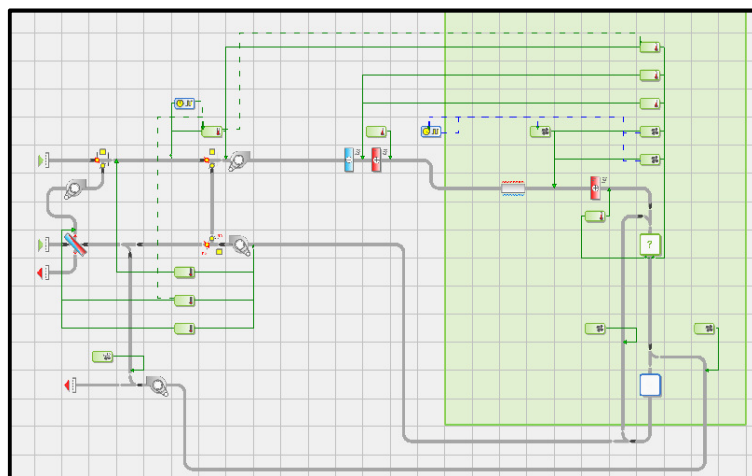


Figura 13 – Exemplo de sistema caracterizado no apacheAVAC.

O Trace 700, apesar de apresentar um esquema do sistema de climatização, não permite trabalhar sobre ele. Todas as informações são introduzidas como nas envolventes, apenas respondendo aos *inputs* do programa. Apesar de permitir detalhar as características dos vários equipamentos presentes no sistema de AVAC, não permite ao utilizador modelar os sistemas com a mesma liberdade do ApacheHVAC.

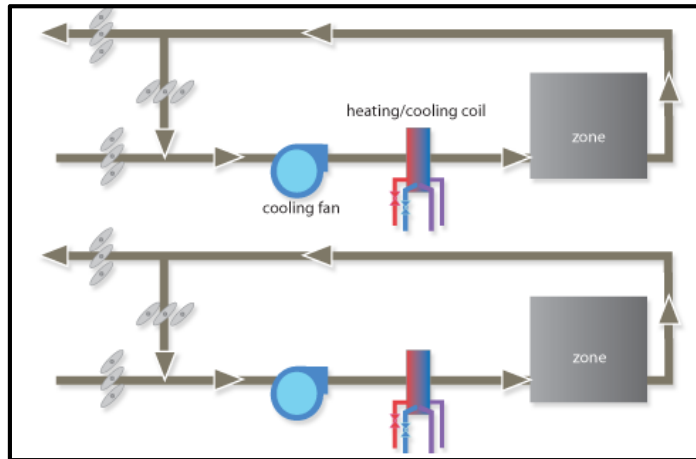


Figura 14 – Esquema de climatização usado para ventiloconvectores no Trace 700.

Para o edifício em estudo, ponderou-se usar o ApacheHVAC. No entanto, por falta de dados técnicos para o dimensionamento completo do sistema de climatização, e porque também não se conhece o como são controlados os equipamentos, optou-se por fazer uma simulação menos detalhada no ApacheSim, mais próxima do que encontramos no Trace 700.

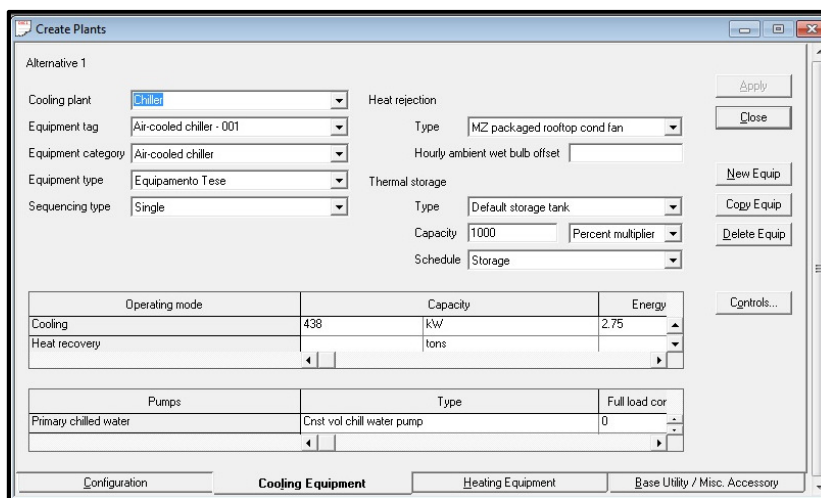
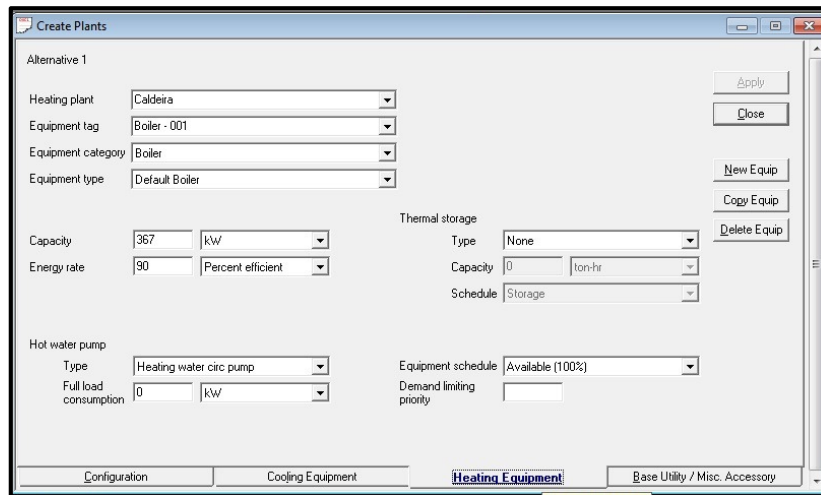
The figure shows two screenshots of the VE-Pro software interface. The left screenshot shows the configuration of a boiler (VC's) with fuel set to natural gas. The right screenshot shows the configuration of a chiller (VC's) with fuel set to electricity.

Parameter	Value
Generator: Fuel	Natural gas
Is it a heat pump?*	<input type="checkbox"/>
Seasonal efficiency	0.9000
Delivery efficiency	1.0000
SCoP kW/kW	0.9000
Generator size kW	0.00
Heat recovery: Vent. heat recovery effectiveness	0.0000
Vent. heat recovery return air temp °C	20.00
CH(C)P: Is this heat source used in conjunction with CHP?	<input type="checkbox"/>
What ranking does this heat source have after the CH(C)P plant?	1

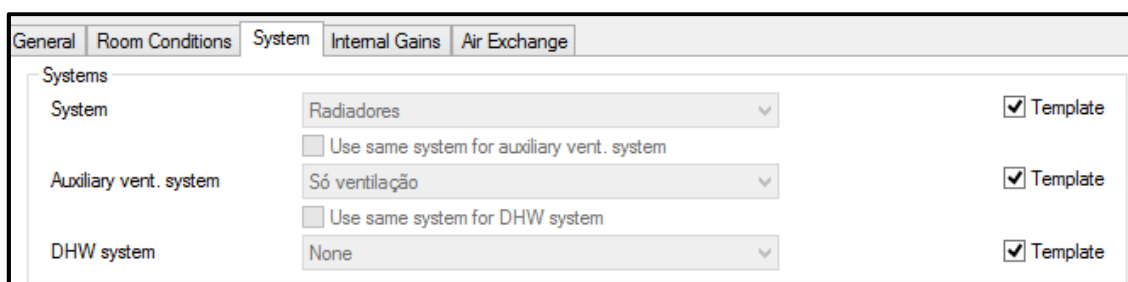
Parameter	Value
Generator: Cooling/ventilation mechanism	Air conditioning
Fuel	Electricity
Nominal EER* kW/kW	2.7500
Seasonal EER kW/kW	2.7500
Delivery efficiency	0.1655
SSEER kW/kW	0.3310
Generator size kW	0.00
Absorption chiller	<input type="checkbox"/>
Operation: Changeover mixed mode free cooling*	Mechanical ventilation
Heat rejection: Pump & fan power (% of rejected heat)	10.0

Figura 15 – Dimensionamento do chiller e da caldeira usado no VE-Pro.



**Figura 16 – Dimensionamento do *chiller* e da caldeira usado no Trace 700.**

Depois de criados os sistemas, é necessário atribuir a cada espaço um sistema de climatização. Enquanto no VE-Pro, o utilizador deve fazer a alteração do sistema de climatização na área característica de cada espaço, no Trace o utilizador possui um menu onde associa a cada sistema de climatização um espaço, conforme representado nas figuras seguintes.



**Figura 17 – Exemplo associação sistemas climatização a salas de aula no VE-Pro.**

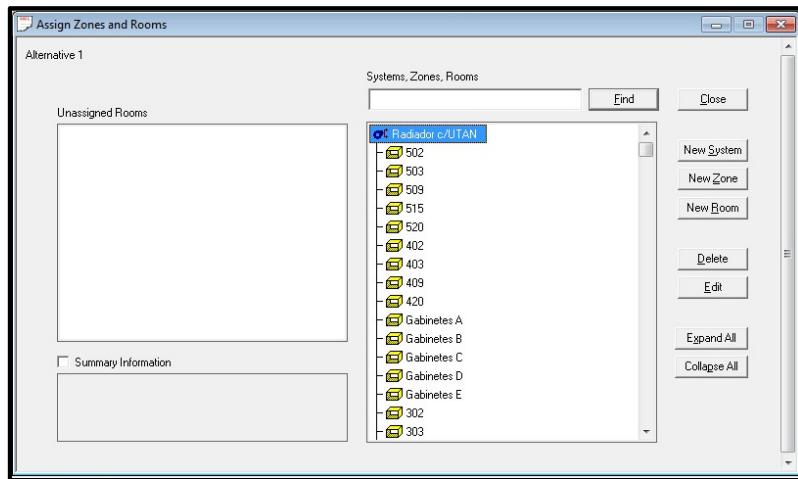


Figura 18 – Exemplo associação sistemas climatização a salas de aula no Trace 700.

# 4 Auditoria energética

No processo de auditoria energética visa identificar todos os equipamentos, iluminação, pé direito, características das envolventes e medições quer ao nível da energia quer da qualidade do ar interior.

Para tal é necessário analisar todos os espaços do edifício e verificar se existem equipamentos associados e registar esses equipamentos e a respectiva potência, bem como as armaduras de iluminação existentes nesse espaço e a respectiva potência. Esta etapa é bastante importante uma vez que daqui surgem as densidades reais de equipamentos ( $\text{W/m}^2$ ) e iluminação ( $\text{W/m}^2$ ) que serão introduzidas no programa de simulação dinâmica.

Relativamente às envolventes do edifício, paredes, coberturas e pavimentos (interiores e exteriores) devem ser analisadas através dos pormenores construtivos, ou caso não existam, através da Nota Técnica, NT-SCE-01, de forma a que seja possível calcular os coeficientes de transmissão térmica ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ).

A metodologia que foi seguida ao longo da auditoria baseou-se nos termos de referência na Nota Técnica, NT-SCE-01, relativa ao método de cálculo para a certificação energética de edifícios existentes no âmbito do RCCTE e do RSECE.

## **4.1 Identificação e caracterização do edifício**

### **4.1.1 Identificação**

**Morada:** Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431.

**Proprietário:** Instituto Superior de Engenharia do Porto.

**Tipologia:** Fração de serviços com tipologia de “estabelecimentos de ensino superior” e “restaurantes”.

### **4.1.2 Descrição sumária do edifício**

Edifício de serviços localiza-se na zona urbana da cidade do Porto, zona climática I2 V1-N, a uma altitude de 115m e uma distância à costa marítima superior a 5 km, ventos predominantes no quadrante Noroeste. O edifício apresenta cinco pisos para dois departamentos, engenharia mecânica e engenharia electrotécnica. O primeiro piso é dedicado a laboratórios de engenharia mecânica, sendo os restantes constituídos por salas de aulas, auditórios, gabinetes de professores, salas administrativas, um restaurante com cozinha, e instalações sanitárias.

O edifício em análise possui os seguintes espaços complementares: cozinha (26,72 m<sup>2</sup>), estacionamento (2700m<sup>2</sup>).

O edifício possui um sistema ventilação para renovação por meio de duas Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN). Para aquecimento ambiente são utilizadas unidades terminais do tipo radiadores. A alimentação das baterias de água quente das unidades de tratamento de ar novo será feita através de grupos produtores de água quente do tipo caldeiras de condensação, enquanto as baterias de água fria são alimentadas por um *chiller* colocado na cobertura.

### **4.1.3 Localização**

O edifício localiza-se na Rua Dr. António Bernardino de Almeida, Porto. Está localizado numa zona pouco exposta a uma altitude de aproximadamente 115 m e a mais de 5 km de distância à costa.

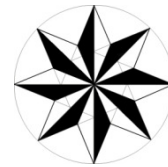


Figura 19 – Aérea do edifício, retirada do Google Earth.

**Latitude** → 41.179089°

**Longitude** → -8.607967°

**Altitude** → 115 m



As exigências do RSECE aplicam-se apenas aos espaços para os quais se requerem normalmente condições interiores de conforto, designados como espaços úteis. O edifício em causa apresenta uma área útil de aproximadamente 9750 m<sup>2</sup>.

## 4.2 Dados climáticos

### 4.2.1 Zonas climáticas

De acordo com o RCCTE, o País é dividido em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3).

A fracção autónoma em estudo pertencerá à zona climática de Inverno “I2” e à zona climática de Verão “V1-N” (Quadro III.1 do RCCTE).

### 4.2.2 Graus-dias de aquecimento

Os graus-dias de aquecimento (base 20°C, GD<sub>20</sub>) caracterizam a severidade de um clima durante a estação de aquecimento. Este valor é obtido pelo somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base (20°C) e a temperatura do ar exterior durante toda a estação de aquecimento.

As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco).

Para o edifício em estudo, o número de graus-dias de aquecimento correspondente à estação convencional de aquecimento é igual a 1610 °C.dias (Quadro III.1 do RCCTE).

#### 4.2.3 Duração da estação de aquecimento

A estação convencional de aquecimento é o período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C.

A duração da estação de aquecimento para a fracção em estudo é igual a 6,7 meses (Quadro III.I do RCCTE).

#### 4.2.4 Energia solar incidente na Estação de Aquecimento

A fracção autónoma encontra-se na zona climática I2, logo a energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento ( $G_{Sul}$ ) é de 93 kWh/m<sup>2</sup>.mês (Tabela 1 conforme Quadro III.8 do RCCTE).

Zona de Inverno	Energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento		
	$G_{Sul}$ [kWh/m <sup>2</sup> .mês]		
	Continente	Açores	Madeira
I1	108	70	100
I2	93	50	80
I3	90	50	80

Tabela 6 – Quadro III.8 do RCCTE.

#### 4.2.5 Energia Solar Incidente na Estação de Arrefecimento

Para se determinar a intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento do local em estudo é fundamental consultar o Quadro III.9 do RCCTE.

Como o edifício se situa a Norte, na zona climática V1-N, a intensidade da radiação solar é a indicada na tabela 7.

Zona Climática	Intensidade da Radiação Solar – Ir [kWh/m <sup>2</sup> ]								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Horiz.
V <sub>1</sub> – N	200	300	420	430	380	430	420	300	730
V <sub>1</sub> – S	200	310	420	430	380	440	430	320	760
V <sub>2</sub> – N	200	320	450	470	420	470	450	320	790
V <sub>2</sub> – S	200	340	470	460	380	460	470	340	820
V <sub>3</sub> – N	200	320	450	460	400	460	450	320	800
V <sub>3</sub> – S	210	330	460	460	400	470	460	330	820
Açores	190	270	360	370	340	370	360	270	640
Madeira	200	300	380	380	320	370	380	300	700

Tabela 7 – Quadro III.9 do RCCTE.

#### 4.2.6 Temperatura Média Mensal do Ar para a Estação de Arrefecimento

A temperatura média do ar exterior para a estação convencional de arrefecimento é igual a 19°C, pois a fracção em estudo localiza-se na zona climática V1-Norte (Quadro III.9 do RCCTE).

### 4.3 Requisitos energéticos

Para que um edifício cumpra o RCCTE, é necessário que as suas necessidades nominais anuais de energia (N<sub>ic</sub>, N<sub>vc</sub>, N<sub>ac</sub> e N<sub>tc</sub>) não excedam os valores máximos admissíveis, que se designam respectivamente por N<sub>i</sub>, N<sub>v</sub>, N<sub>a</sub> e N<sub>t</sub>.

#### 4.3.1 Necessidades nominais de energia útil para aquecimento – N<sub>i</sub>

Segundo o RCCTE, a fracção autónoma em estudo não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta o aproveitamento dos ganhos solares e internos e de outras formas de energias renováveis, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N<sub>i</sub>).

O valor limite das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N<sub>i</sub>), depende do factor de forma (FF) da fracção autónoma e dos graus-dias (GD) do clima local.

O factor de forma é o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior (A<sub>ext</sub>) e da envolvente interior (A<sub>int</sub>) multiplicado pelo respectivo valor de  $\tau$ , das fracções autónomas com exigências térmicas, e o volume interior (V).

Cálculo do Factor de Forma			
<b>Envolvente Exterior</b>	<b>Área</b>		
Paredes Exteriores	1144.58		
Pavimentos Exteriores	25.76		
Coberturas Exteriores	2045.65		
Envidraçados Exteriores	1523.24		
<b>Envolvente Interior</b>	<b>A</b>	<b>τ</b>	<b>A.τ</b>
Paredes Interiores	621.78	0.27	170.42
Pavimentos Interiores	679.2	0.9	611.28
Coberturas Interiores	0	0	0
Envidraçados Interiores	0	0	0
Somatório áreas equivalentes	5520.92		

**Tabela 8 – Cálculo das áreas equivalentes.**

Após calculado o volume do edifício, o factor de forma obtém-se pela seguinte fórmula:

$$FF = \frac{\text{Área equivalente}}{\text{Volume}} = \frac{5520,92}{35025,46} = 0,16$$

Para o caso em estudo o factor de forma é igual a 0,16, logo inferior a 0,50. Assim as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_i$ ) são calculadas pela seguinte expressão (artigo 15º do RCCTE):

$$N_i = 4,5 + 0,0395 \times GD \quad (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano})$$

#### **4.3.2 Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento – $N_v$**

A fracção autónoma não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta a existência de ganhos solares e internos, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ ).

O valor limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ ) de uma fracção autónoma depende apenas da sua zona climática (artigo 15º do RCCTE):

$$\text{Zona V1-N} \Rightarrow N_v = 16 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

## 4.4 Parâmetros de caracterização térmica

Os parâmetros de qualidade térmica da envolvente dos edifícios a caracterizar são:

- Coeficientes de transmissão térmica através da envolvente opaca  $U$  [ $W/m^2/^\circ C$ ];
- Factores solares dos envidraçados ( $g^\perp$ ).

### 4.4.1 Coeficientes de transmissão térmica – $U$

O coeficiente de transmissão térmica superficial, em zona corrente, de um elemento da envolvente  $U$ , é a quantidade de calor por unidade de tempo (ou o fluxo de calor) que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa.

O RCCTE preconiza valores máximos e de referência para os coeficientes  $U$  da envolvente dos edifícios, em função da zona climática em que se situam. Os valores máximos e de referência para a fracção autónoma em estudo são seguidamente apresentados no quadro seguinte:

Elementos da envolvente em zona corrente		Coeficientes de transmissão térmica $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$	
		Máximo ( $U_{max}$ )	Referência ( $U_{ref}$ )
Elementos exteriores	Opacas Verticais	1.60	0.60
	Opacas Horizontais	1.00	0.45
Elementos interiores em contacto com zonas anexas não úteis	Opacas Verticais	2.00	1.20
	Opacas Horizontais	1.30	0.80
Envidraçados		-	3.30

Tabela 9 – Coeficientes de transmissão térmica máximos e de referência para a zona climática I2.

A demarcação das envolventes encontra-se no anexo B.

#### 4.4.1.1 Paredes exteriores

No presente edifício encontra-se a seguinte solução de envolvente exterior:

- Paredes que separam a fracção do exterior. Por impossibilidade de determinação da constituição da parede exterior aplica-se o disposto na Tabela síntese do ITE54 /

Portal SCE QII3, para paredes de alvenaria simples ou dupla, posteriores a 1960, com uma espessura aproximada de 45 cm, tendo em linha de conta o local da construção, a data e o tipo de construção. Pelo interior esta parede é revestida por reboco de cor clara e pelo exterior é revestida também por reboco de cor clara. Considera-se ainda que foram feitas as correcções das pontes térmicas. Coeficiente de transmissão térmica de  $0,96 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

#### 4.4.1.2 Paredes interiores

Da auditoria foi possível identificar as seguintes soluções para a envolvente interior:

- Parede em contacto com a caixa de escadas. Por impossibilidade de determinação da constituição da parede interior aplica-se o disposto na Tabela síntese do ITE54 / Portal SCE QII3, para paredes de alvenaria simples ou dupla, posteriores a 1960, com uma espessura aproximada de 19 cm, tendo em linha de conta o local da construção, a data e o tipo de construção. Foram ainda corrigidos os valores das resistências térmicas superficiais interior e exterior pelo facto de esta parede separar a fracção de um local não aquecido (CHC). Considera-se ainda que não foram feitas as correcções das pontes térmicas. Coeficiente de transmissão térmica de  $1,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .
- Parede em contacto com a caixa de elevadores. Por impossibilidade de determinação da constituição da parede interior aplica-se o disposto na Tabela síntese do ITE54 / Portal SCE QII3, para paredes de alvenaria simples ou dupla, posteriores a 1960, com uma espessura aproximada de 19 cm, tendo em linha de conta o local da construção, a data e o tipo de construção. Foram ainda corrigidos os valores das resistências térmicas superficiais interior e exterior pelo facto de esta parede separar a fracção de um local não aquecido (caixa de elevadores). Considera-se ainda que não foram feitas as correcções das pontes térmicas. Coeficiente de transmissão térmica de  $1,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .
- Parede em contacto com as *courettes*. Por impossibilidade de determinação da constituição da parede interior aplica-se o disposto na Tabela síntese do ITE54 / Portal SCE QII3, para paredes de alvenaria simples ou dupla, posteriores a 1960, com uma espessura aproximada de 18 cm, tendo em linha de conta o local da construção, a data e o tipo de construção. Foram ainda corrigidos os valores das resistências térmicas superficiais interior e exterior pelo facto de esta parede

separar a fracção de um local não aquecido (*courettes*). Considera-se ainda que não foram feitas as correcções das pontes térmicas. Coeficiente de transmissão térmica de  $1,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

#### 4.4.1.3 *Envidraçados exteriores*

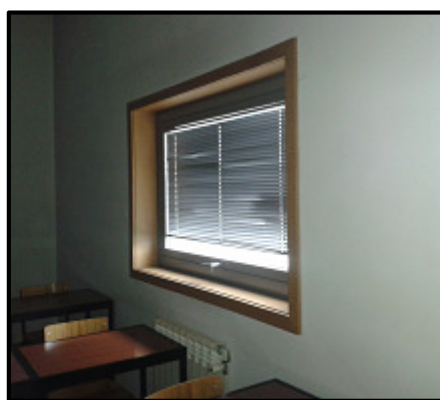
Os factores solares dos envidraçados e das protecções solares são estabelecidos com base nas soluções consideradas e nos valores de referência do Quadro V.4 do Anexo V do RCCTE e quadro III.2 do ITE50.

O edifício em estudo possui as seguintes soluções de envidraçados e factores solares:

- Vãos envidraçados simples, em caixilharia metálica fixa, sem corte térmico, sem classificação de permeabilidade ao ar, vidro duplo incolor corrente de 6+5 mm com factor solar de 0,75, protecção solar interior constituída por estore laminas metálicas de cor média, resultando num coeficiente de transmissão térmica (U) igual a  $3,90 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ , factor solar com protecção 100% activa de 0,59, factor solar de inverno de 0,75 e factor solar de verão de 0,638.
- Vãos envidraçados simples, em caixilharia metálica giratória, sem corte térmico, sem classificação de permeabilidade ao ar, vidro duplo incolor corrente de 6+5 mm com factor solar de 0,75, protecção solar interior constituída por estore laminas metálicas de cor média, resultando num coeficiente de transmissão térmica igual a  $4,30 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ , factor solar com protecção 100% activa de 0,59, factor solar de inverno de 0,75 e factor solar de verão de 0,638.
- Vãos envidraçados simples, em caixilharia metálica fixa, sem corte térmico, sem classificação de permeabilidade ao ar, vidro duplo incolor corrente de 6+5 mm com factor solar de 0,75, sem protecção solar, resultando num coeficiente de transmissão térmica igual a  $3,90 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ , factor solar de 0,75, factor solar de inverno de 0,75 e factor solar de verão de 0,75.
- Vãos envidraçados simples, em caixilharia metálica giratória, sem corte térmico, sem classificação de permeabilidade ao ar, vidro duplo incolor corrente de 6+5 mm com factor solar de 0,75, sem protecção solar, resultando num coeficiente de transmissão térmica igual a  $3,90 \text{ W/(m}^2\text{C)}$ , factor solar de 0,75, factor solar de inverno de 0,75 e factor solar de verão de 0,75.



**Figura 20 – Exemplo de um vão envidraçado presente no edifício.**



**Figura 21 – Exemplo de um vão envidraçado presente no edifício.**



**Figura 22 – Exemplo de um vão envidraçado presente no edifício.**

#### **4.4.1.4 Cobertura exterior**

Por impossibilidade de determinação da constituição da cobertura exterior, aplica-se o disposto na Tabela síntese do ITE54 / Portal SCE QIII para coberturas pesadas horizontais. Coeficiente de transmissão térmica de  $U_{asc.solução} = 2,60 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

#### **4.4.1.5 Pavimento interior**

Pavimento sobre garagem. Por impossibilidade de determinação da constituição do pavimento interior, aplica-se o disposto na Tabela síntese do ITE54 / Portal SCE QIII para pavimentos pesados. Coeficiente de transmissão térmica de  $U_{desc.solução} = 2,21 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

#### **4.4.1.6 Pontes térmicas planas**

Uma ponte térmica plana é uma heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente, como pode ser o caso de certos pilares e talões de viga.

Segundo o RCCTE, para edifícios novos as zonas de pontes térmicas planas não podem ter um valor de U superior ao dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitando sempre os valores máximos.

A determinação da localização e dimensão destes elementos estruturais, uma vez que não se encontram disponíveis elementos de projecto, é bastante complexa, sendo impraticável no âmbito da certificação energética de edifícios existentes.

No âmbito do cálculo das perdas de calor previstas no Decreto-Lei n.º 80/2006, por zonas não correntes da envolvente (zonas de ponte térmica plana associadas a pilares, vigas e caixas de estore), por elementos em contacto com o solo podem aplicar-se as regras de simplificação indicadas no Quadro III da nota técnica NT-SCE-01.

Assim, como a solução construtiva não garante a ausência de pontes térmicas planas, poder-se-á ignorar a determinação das áreas das pontes térmicas planas, considerando a área correspondente inserida na secção corrente e aplicando um coeficiente de majoração de 35%, ao coeficiente de transmissão térmica superficial correspondente.

#### **4.4.1.7 Pontes térmicas Lineares**

As pontes térmicas lineares, ou mais propriamente as perdas unitárias que ocorrem em toda a envolvente exterior do edifício são estabelecidas com base nas soluções construtivas adoptadas, e com base nas tabelas IV.2 e IV.3 do anexo IV do RCCTE.

Face à reduzida influência das pontes térmicas lineares no balanço energético global do edifício e uma vez que existem frequentemente limitações práticas significativas à parametrização deste tipo de perdas, nos modelos de simulação dinâmica detalhada, foi

considerado apenas um acréscimo de 5 % nos consumos de energia de aquecimento ( $Q_{aq}$ ) para compensar as perdas térmicas devidas às pontes térmicas lineares, no cálculo do  $IEE_{nom}$ . [24]

#### 4.4.1.8 Coeficiente de redução de perdas – $\tau$

Para fins regulamentares, o valor de  $\tau$  encontra-se definido em função do tipo de espaço não útil e da razão entre a área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil ( $A_i$ ) e a área que separa o espaço não útil do ambiente exterior adjacente ( $A_u$ ) e é utilizado para o cálculo das perdas térmicas superficiais da fracção autónoma com espaços não aquecidos. O valor do coeficiente de redução de perdas calculado para os espaços não úteis anteriormente enunciados assume o valor ponderado de 0,27 para as fachadas e 0,90 para os pavimentos.

Elementos interiores em contacto com zonas anexas não úteis		Coeficiente de redução de perdas [ $\tau$ ]
Envolventes opacas verticais	Armazéns	0,7
	Armazéns	0,95
	CHC	0,5
	Caixa de elevadores	0,3
	Garagem colectiva	0,9
Envolventes opacas horizontais	Garagem Colectiva	0,9

Tabela 10 – Coeficientes de redução de perdas.

## 4.5 Inércia térmica

A inércia térmica interior de uma fracção autónoma é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção.

Uma vez que não existem informações sobre os elementos construtivos do edifício recorreu-se ao procedimento apresentado no Anexo VI da nota técnica NT-SCE-01, e considerar assim uma classe térmica forte para a inércia, uma vez que o edifício verifica cumulativamente os requisitos para esta classe.

## 4.6 Iluminação, ocupação e equipamentos eléctricos

### 4.6.1 Iluminação

A instalação e utilização incorrecta da iluminação originam aumentos significativos e desnecessários dos consumos eléctricos, contribuindo para o mau estar dos utilizadores e condicionando a sua eficiência no trabalho.

A iluminação de um edifício com este tipo de tipologia representa na maioria dos casos 30 a 40% dos seus consumos energéticos, apresentando-se como um elemento de especial relevo no que diz respeito à gestão eficiente da energia consumida no edifício.

Com uma Auditoria Energética, é possível conseguir uma redução no consumo de energia de iluminação significativo, sem prejudicar o conforto dos ocupantes nas actividades desenvolvidas no local.

De acordo com a actividade desenvolvida em cada espaço, e de forma a manter o conforto luminoso, são requeridos diversos níveis de iluminação.

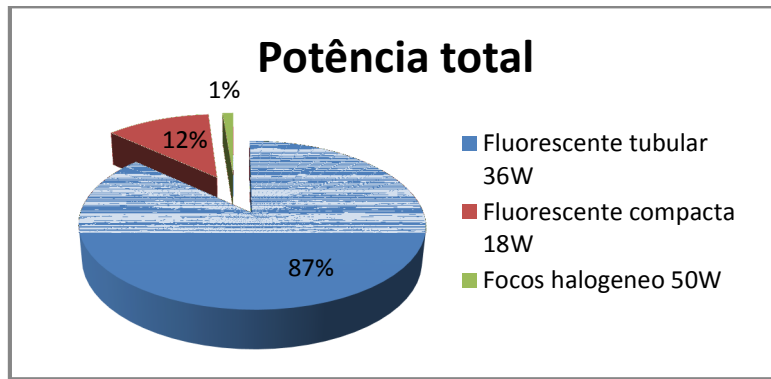
Após auditoria ao edifício recolheu-se os dados de iluminação referentes ao número de luminárias e respectiva potência apresentados na tabela 11. No entanto, no anexo C é possível encontrar os dados referentes às luminárias desagregados pelos vários espaços.

<b>Tipo de solução</b>	<b>Número de luminárias</b>	<b>Potência total [kW]</b>
Fluorescente tubular 36W	1950	70,20
Fluorescente compacta 18W	536	9,65
Focos de halogéneo 50W	20	1,00

**Tabela 11 – Quantificação do número de luminárias.**

O que se traduz numa potência total de 80,85 kW. Considerando uma área útil de 9700 m<sup>2</sup> medida em planta obtém-se um rácio de 8,33 W/m<sup>2</sup>. Foram utilizados os perfis de iluminação de estabelecimentos de ensino superior e restaurantes, conforme consta no anexo D.

É possível verificar graficamente as percentagens de cada tipo de luminária instaladas no edifício.



**Gráfico 10 – Distribuição das várias luminárias no edifício.**

Em seguida são apresentadas algumas fotografias das várias soluções presentes no edifício.



**Figura 23 – Fotografia da armadura de iluminação de 36W.**



**Figura 24 – Fotografia da armadura de iluminação de 18W.**



**Figura 25 – Fotografia da armadura de iluminação de 50W.**

Foi ainda considerada a iluminação presente nas garagens e nas CHC, uma vez que representam um grande consumo anual de energia eléctrica devido aos longos períodos e funcionamento.

As garagens possuem um horário de funcionamento das 8h às 24h, período no qual a iluminação se encontra sempre ligada. Foram contabilizadas 88 luminárias do tipo fluorescente tubular com potência unitária de 36 W, resultando numa potência instalada de 3,17 kW.

Nas CHC, contabilizaram-se 36 lâmpadas de halogéneo de potência unitária 150 W, resultando numa potencia instalada de 5,4 kW, com um período de funcionamento anual das 20h às 8h.

#### **4.6.2 Ocupação**

É sabido que os ocupantes do mesmo emitem calor. Isto deve-se às diversas actividades, nomeadamente a respiração e transpiração, entre outros. O calor emitido tem duas componentes: a sensível e a latente. A sensível tem influência na temperatura do ar de bolbo seco. A latente, por sua vez, caracteriza o volume de troca de calor oculto, que acontece sem alteração de temperatura.

Os valores tabelados para o ganho de calor ocupantes encontram-se a partir de várias referências, no entanto, neste estudo utilizou-se os valores da tabela 1, Capítulo 18,4 da ASHRAE Handbook-Fundamentals (SI). [29]

Activity	Space	Sensible heat rate (W)
Seated at theater	Theater, matinee	65
Seated at theater, night	Theater, night	70
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	70
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	75
Standing, light work; walking	Department store; retail store	75
Walking, standing	Drug store, bank	75
Sedentary work	Restaurant	80
Light bench work	Factory	80
Moderate dancing	Dance hall	90
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	110
Bowling	Bowling alley	170
Heavy work	Factory	170
Heavy machining work; lifting	Factory	185
Athletics	Gynasium	210

**Tabela 12 – Valores tabelados para o ganho de calor ocupantes. [29]**

Considerou-se uma actividade “*seated, very light work*”, relativo ao espaço de escritórios, visto ser o que mais se assemelha à actividade de uma escola. Apresentando assim um ganho térmico de 70 W/ocupante.

Relativamente às densidades de ocupação e respectivos perfis de ocupação nominais, utilizaram-se os valores referenciados no anexo XV do RSECE relativos a estabelecimentos de ensino superior.

Assim, a densidade utilizada foi de 10 m<sup>2</sup>/ocupante para o perfil de estabelecimentos de ensino superior, e 5 m<sup>2</sup>/ocupante para o perfil de restaurantes. Ambos os perfis encontram-se no anexo E.

#### **4.6.3 Equipamentos eléctricos**

Para além da carga térmica provocada pela iluminação e pela actividade dos ocupantes do edifício, é necessário analisar a carga térmica provocada pelos equipamentos eléctricos como motores eléctricos, computadores, televisores entre outros.

Neste edifício a contribuição para o consumo de electricidade é principalmente devido aos computadores, impressoras, fotocopiadoras e projectores existentes nas salas de aula e

gabinetes, maquinaria existente na zona das oficinas e equipamentos de cozinha existentes no bar do edifício.



**Figura 26 – Fotografia de um projector presente nas salas de aula.**



**Figura 27 – Fotografia de um projector presente nas salas de aula.**

Relativamente às densidades de equipamentos e respectivos perfis nominais de funcionamento, utilizaram-se os valores referenciados no anexo XV do RSECE relativos a estabelecimentos de ensino superior.

Assim, a densidade utilizada foi de  $10 \text{ W/m}^2$  para o perfil de estabelecimentos de ensino superior, e  $5 \text{ W/m}^2$  para o perfil de restaurantes. Ambos os perfis encontram-se no anexo F.

#### **4.6.4 Outros equipamentos**

Foram ainda considerados outros equipamentos que não dependem dos perfis nominais, nomeadamente os elevadores.

Para o cálculo do consumo de elevadores foram considerados apenas 4 dos 7 elevadores existentes, uma vez que apenas estes 4 se encontram em funcionamento. Mais uma vez, como não foi possível obter informação dos motores utilizados, contactou-se o fabricante que indicou uma potência de 2,7 kW para os motores, considerando um elevador para 4 pessoas/320 kg.

Para o cálculo da energia consumida durante um ano considerou-se que os elevadores trabalham em média três horas por dia, tendo em atenção o período de funcionamento do edifício. Estimou-se um funcionamento 726 horas por ano e por elevador. Resultando num consumo anual de energia no valor de 7840,80 kWh.

## **4.7 Sistema de climatização**

Os sistemas de climatização encontram-se divididos em sistemas centralizados, onde são descritos os produtores de energia térmica, e sistemas locais, que permitem o tratamento mais refinado por parte dos utilizadores.

### **4.7.1 Sistemas centralizados**

Os sistemas energéticos centralizados de preparação de água quente e de distribuição de água quente e de água refrigerada, estabelecem-se na central térmica localizada no R/C.

A água quente é produzida numa caldeira modular alimentada a gás natural composta por 3 módulos, com uma potência térmica de 367 kW e eficiência de 90 %. A caldeira encontra-se interligada aos vários radiadores, distribuídos pelos vários espaços que compõem o edifício, através de tubagens de cobre isoladas, sendo o fluido de transporte a água e controlado através de válvulas termostáticas. Posteriormente a água é acumulada num depósito de 2,5 m<sup>3</sup>.



**Figura 28 – Fotografia do sistema de aquecimento.**

Por outro lado, a água refrigerada é produzida num *chiller*, arrefecido a ar, situado na cobertura do piso 4, ala lateral, com potência útil total de 438 kW. Os quatro condensadores são arrefecidos a ar, por ventiladores axiais para circulação forçada do ar. Para determinação da eficiência do *chiller* consultou-se o anexo VIII da nota técnica NT-SCE-01 para os valores de eficiências de sistemas de climatização e produção de águas quentes sanitárias, e para um equipamento com idade entre 10 e 19 anos, resulta uma eficiência de 2,75.

Posteriormente, o fluido frigorígeno é acumulado em dois depósitos de 1m<sup>3</sup>, localizados no R/C.



Figura 29 – Fotografia do *chiller* responsável pelo arrefecimento.

## 4.7.2 Sistemas locais de tratamento ambiental

São abordados os vários tipos de espaços presentes no edifício.

### 4.7.2.1 Circulações

O edifício dispõe de um sistema centralizado de ventilação com insuflação de ar novo pré-tratado e extracção de ar “viciado”, constituído por duas unidades do tipo UTAN implantadas na cobertura do piso 5, e constituídas pelos módulos de filtragem, ventilação, recuperação de calor (permutador de placas com fluxos cruzados) e aquecimento/arrefecimento.

Os corredores inserem-se neste sistema de ventilação referido, enquanto as portarias dispõem de aquecimento por radiadores.

#### ***4.7.2.2 Oficinas e laboratórios de ensaio***

Estes espaços de elevado pé direito são aquecidos por aerotermos, que igualmente asseguram a introdução e tratamento de ar de renovação, sendo a extracção assegurada por sobrepressão.

#### ***4.7.2.3 Gabinetes e salas de aula***

Os diversos gabinetes e salas de aulas são aquecidos e dispõem de uma insuflação de ar novo estruturada com base na sua ocupação prevista.

O aquecimento ambiente destes espaços é assegurado por radiadores. O ar tratado é insuflado no espaço mediante uma grelha difusora montada na parede sobre a porta de entrada. A extracção do ar é efectuada para o tecto suspenso do corredor.

#### ***4.7.2.4 Restaurante***

No restaurante o tratamento ambiente é assegurado por uma unidade do tipo armário vertical com apenas uma bateria de aquecimento.

A renovação de ar é assegurada mediante uma tomada directa de ar exterior sendo a regulação do ar novo função da qualidade do ar ambiente que actua os registos associados.

#### ***4.7.2.5 Anfiteatros***

Os dois anfiteatros são climatizados por uma unidade de tratamento de ar, UTA, instalada na cobertura do piso 4, composta por unidades de filtragem, aquecimento/arrefecimento e renovação do ar. O ar é insuflado via difusores de tecto e a extracção é feita ao longo do ressalto do tecto falso junto à parede de fundo.

### **4.8 Cálculo consumo AQS**

O consumo das águas quentes sanitárias diz respeito apenas ao restaurante, e para o cálculo foi considerada a metodologia prevista no RCCTE.

Assim, foram tidas as seguintes considerações:

- Consumo diário de 10 lts/refeição;
- 100 Ocupantes (refeições);
- Estabelecimento encerrado 2 dias por semana;
- Eficiência da caldeira de 90%.

Prevê-se assim um consumo diário de 1000 lts, resultando numa energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS de 13660,09 kWh/ano, conforme apresentado no cálculo seguinte:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{360000} = \frac{1000 \times 4187 \times 45 \times 261}{360000} = 13660,09 \text{ kWh/ano}$$

Em que:

$M_{AQS}$  – Consumo médio diário, em lts;

$\Delta T$  – Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS, em °C;

$n_d$  – Número de dias de consumo.

Introduzindo a eficiência da caldeira chega-se ao consumo anual estimado para AQS de 15177,88 kWh/ano.

#### **4.9 Caudais de ar novo**

Os caudais de ar novo constantes no anexo VI do RSECE dizem respeito aos valores mínimos aceitáveis foram calculados para cada espaço em função da sua utilização e do tipo de fontes poluentes nele existentes.

Relativamente ao edifício em estudo utilizaram-se os caudais de ar novo constantes na tabela 13, respeitando os caudais mínimos de ar novo impostos pelo RSECE com o agravamento de 50% devido à possibilidade da presença de materiais não ecologicamente limpos, conforme consta nas perguntas e respostas do RSECE energia. [24] Foi ainda utilizada uma eficiência de ventilação de 80%, tendo em conta o posicionamento das grelhas de ventilação, conforme a fórmula e tabela 13.

$$Q = \frac{Q_{nominal} \times 1,5}{\varepsilon_{ventilação}}$$

Tipo de actividade	Caudais de ar novo	
	l/s/pessoa	l/s/m <sup>2</sup>
Auditórios	15,63	-
Bares/salas de cocktail	18,23	18,23
Corredores/átrios	-	2,6
Gabinetes	18,23	2,6
Laboratórios	18,23	-
Salas de aula	15,63	-

**Tabela 13 – Caudais de ar novo nominais em função do tipo de actividade.**

Importa referir que ambos os programas trabalham com as unidades em l/s/pessoa ou l/s/m<sup>2</sup>.

Tratando-se de uma simulação nominal, a todos os espaços úteis foram associados caudais de ar novo dependendo do tipo de actividade.

No anexo G, encontra-se a tabela com o modelo utilizado para o cálculo dos caudais de ar novo do edifício.

#### **4.10 Apresentação de resultados**

Após efectuadas as simulações em ambos os programas, foi então possível analisar os resultados obtidos por ambos.

Importa referir que a apresentação de resultados difere em ambos os programas, sendo que o VE-Pro permite ao utilizador uma maior flexibilidade na análise zona a zona, tal não sendo possível no Trace 700, que apenas disponibiliza resultados dos consumos de energia de iluminação e equipamento para o global das zonas, ventilação por tipo de sistema de tratamento de ar, ou seja, por grupos de zonas, e por último resultados térmicos totais para todas as zonas.

Em seguida, apresenta-se as tabelas emitidas pelas dois programas que mais informações permitem retirar para o cálculo do IEE.



	Boilers energy (MWh)	Chillers energy (MWh)	Ap Sys aux + DHW/solar pumps energy (MWh)	Ap Sys heat rej fans/pumps energy (MWh)	Total system energy (MWh)
	edificio f.aps	edificio f.aps	edificio f.aps	edificio f.aps	edificio f.aps
Date					
Jan 01-31	39.6384	0.0000	5.6671	0.0000	45.3055
Feb 01-28	26.1108	0.0000	4.8943	0.0000	31.0051
Mar 01-31	16.4815	0.0000	5.1519	0.0000	21.6334
Apr 01-30	11.8314	0.0449	5.1519	0.0168	17.0451
May 01-31	3.1106	0.0662	5.6671	0.0248	8.8687
Jun 01-30	0.0917	9.0208	4.8943	3.3828	17.3896
Jul 01-31	0.0033	15.0821	5.9247	5.6558	26.6659
Aug 01-31	0.0025	16.0244	5.4095	6.0092	27.4456
Sep 01-30	0.0213	12.4624	5.4095	4.6734	22.5665
Oct 01-31	2.4398	1.3253	5.9247	0.4970	10.1867
Nov 01-30	15.8015	0.0012	5.4095	0.0004	21.2127
Dec 01-31	32.0714	0.0000	5.4095	0.0000	37.4809
Summed total	147.6042	54.0272	64.9139	20.2602	286.8055

Tabela 14 – Output energia mensal VE-Pro.



	Total lights energy (MWh)	Total equip energy (MWh)
	edificio f.aps	edificio f.aps
Date		
Jan 01-31	16.1646	19.0656
Feb 01-28	13.9959	16.4937
Mar 01-31	14.7774	17.3968
Apr 01-30	14.7452	17.3727
May 01-31	16.1646	19.0656
Jun 01-30	14.0545	16.5395
Jul 01-31	16.8610	19.9012
Aug 01-31	15.4739	18.2324
Sep 01-30	15.4417	18.2083
Oct 01-31	16.8610	19.9012
Nov 01-30	15.4474	18.2107
Dec 01-31	15.4681	18.2300
Summed total	185.4551	218.6176

Tabela 15 – Output iluminação e equipamentos mensal VE-Pro.

Project Name:				
City:		Weather Data: Porto Inef		
Note: The percentage displayed for the "Proposed/ Base %" column of the base case is actually the percentage of the total energy consumption.  * Denotes the base alternative for the ECB study.		* Alt-1 Edifício F		
		Energy 10 <sup>3</sup> kWh/yr	Proposed / Base %	Peak kW
Lighting - Conditioned	Electricity	181.0	26.9	80
Lighting - Unconditioned	Electricity	2.3	0.3	1
Space Heating	Electricity	5.3	0.8	2
	Gas	140.5	20.9	342
Space Cooling	Electricity	69.4	10.3	258
Heat Rejection	Electricity	3.6	0.5	12
Fans - Conditioned	Electricity	53.8	8.0	28
Fans - Unconditioned	Electricity	2.8	0.4	1
Receptacles - Conditioned	Electricity	211.5	31.4	95
Receptacles - Unconditioned	Electricity	2.8	0.4	1
<b>Total Building Consumption</b>		<b>672.8</b>		

Tabela 16 – Tabela com os *output* do Trace anual [MWh].

#### 4.10.1 Simulação com dados nominais

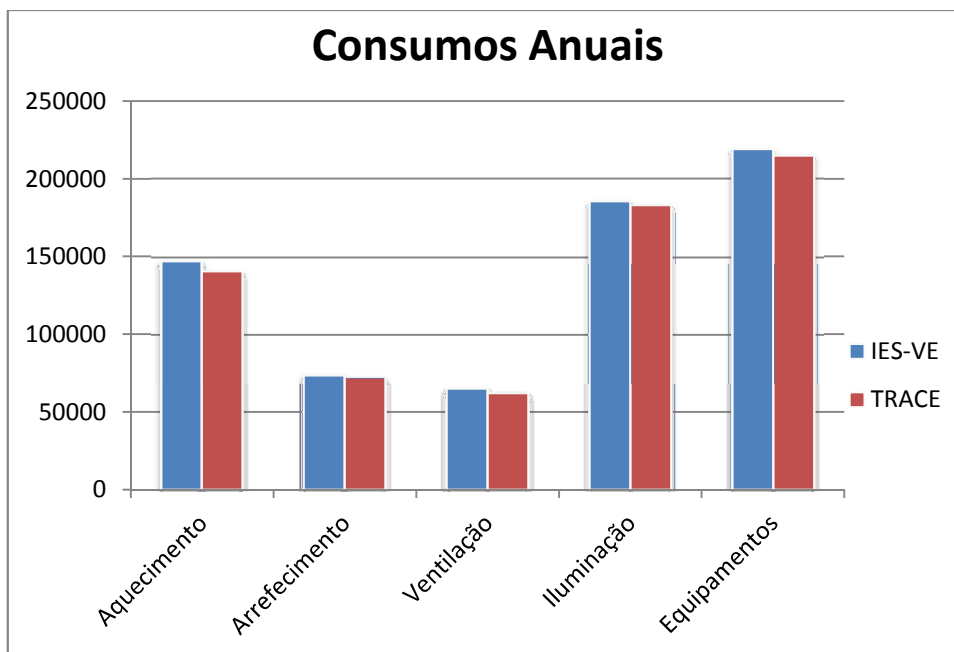
A análise comparativa entre os resultados simulados em cada um dos programas incidiu em nos totais anuais.

Na tabela que se segue, é possível verificar por tipo de consumos as diferenças encontradas em cada programa.

Fonte de consumo	Programa		Desvio
	VE-Pro	Trace 700	
Aquecimento	147604	140500	4,81%
Arrefecimento	74287	73000	1,73%
Ventilação	64914	61900	4,64%
Iluminação	185455	183300	1,16%
Equipamentos	218617	214400	1,93%

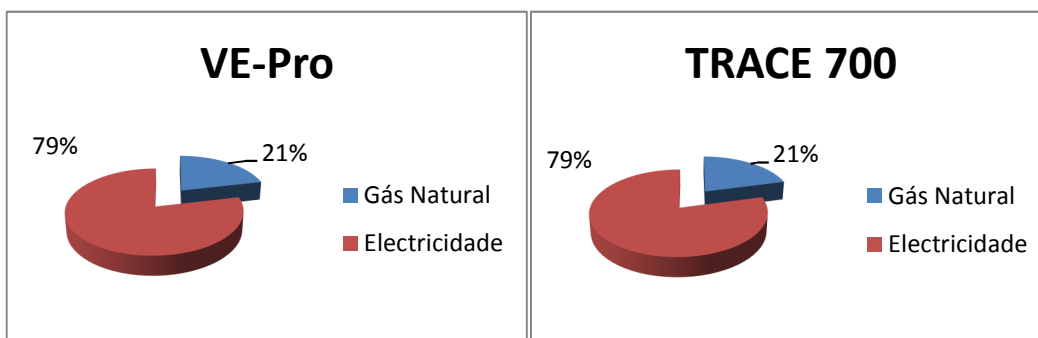
Tabela 17 – Consumos anuais simulados no VE-Pro e no Trace 700 em MWh.

No gráfico que seguinte é possível verificar visualmente as diferenças encontradas nas duas simulações.

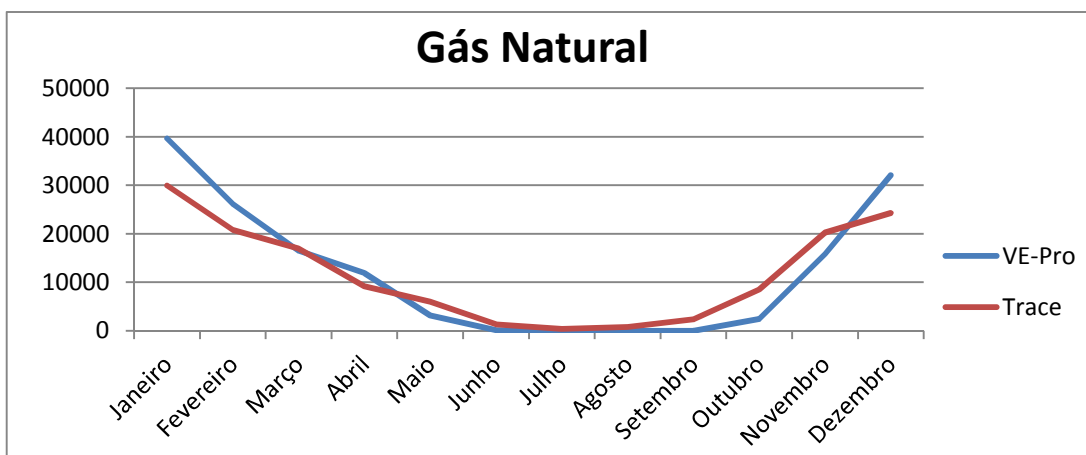


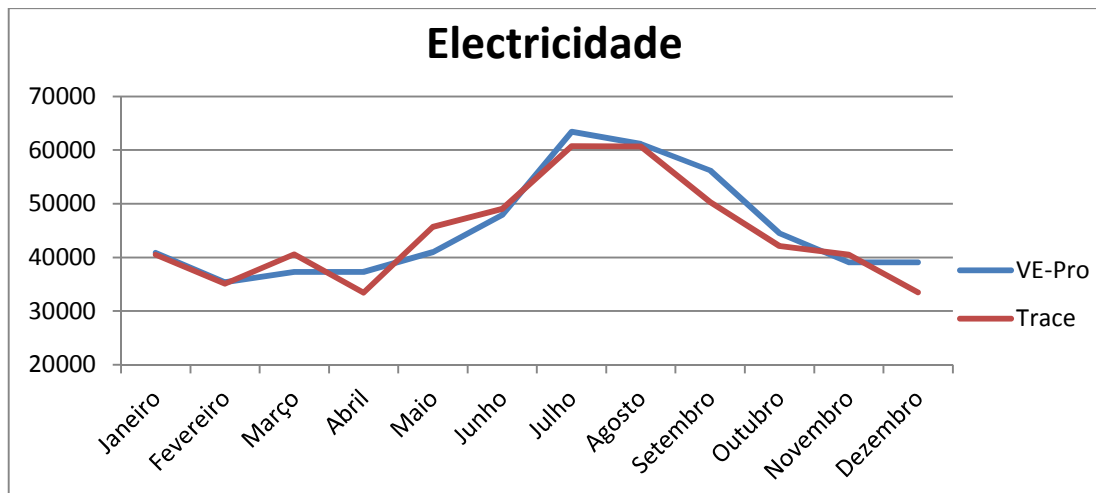
**Gráfico 11 – Consumos anuais simulados no VE-Pro e no Trace 700.**

É possível ainda estabelecer uma comparação em função da fonte de combustível.



**Gráfico 12 – Consumos anuais de electricidade e gás natural no VE-Pro e no Trace 700.**





**Gráfico 13 – Variação mensal por fonte de consumo para cada programa.**

É possível verificar graficamente pequenas variações mensais nos consumos das duas fontes, no entanto, os gráficos tendem a seguir a mesma variação.

No que diz respeito aos consumos de iluminação e equipamentos, e tal como seria de esperar, as diferenças encontradas entre os programas são pouco significativas. Estas podem ficar a dever-se ao facto das áreas úteis serem um pouco diferentes, tendo em conta as limitações do VE-Pro, referidas no ponto 3.4.3.1.

Já no que respeita ao sistema de climatização em si, foram utilizados os mesmos parâmetros nos dois programas. Quer para as eficiências de recuperação de ar novo, quer nas potências das baterias. Assim, apesar de não terem sido estudados os modelos de cálculo por trás de ambos os programas, as diferenças a esse nível não parecem influenciar, em grande medida, os resultados finais das simulações.

Pois, conforme é possível verificar, os desvios encontrados em todas as fontes de consumos de energia são inferiores a 10%, o que permite concluir que as diferenças encontradas na parametrização dos dados nos dois programas não introduzem um erro significativo, quer no VE-Pro, quer no Trace 700.

Assim, conforme garantido pela norma ASHRAE 140-2004 e pelos resultados referidos em cima, ambos os programas geram resultados semelhantes.

# 5 Certificação energética

Conforme referido anteriormente, a classificação do edifício segue uma escala pré-definida de 7+2 classes (A+, A, B, B-, C, D, E, F e G), em que a classe A<sup>+</sup> corresponde a um edifício com óptimo desempenho energético e a classe G corresponde a um edifício com pior desempenho. Para um edifício novo, o mínimo regulamentar é B<sup>-</sup>.

O modelo de cálculo utilizado é o seguinte:

Edifícios existentes	Edifício novos	Classe energética	IEE <sub>nom</sub> (kgep/m <sup>2</sup> .ano)
		A+	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,75.S$
A	$IEE_{ref} - 0,75.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,50.S$		
B	$IEE_{ref} - 0,50.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,25.S$		
B <sup>-</sup>	$IEE_{ref} - 0,25.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref}$		
C	$IEE_{ref} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 0,5.S$		
D	$IEE_{ref} + 0,5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + S$		
E	$IEE_{ref} + S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 1,5.S$		
F	$IEE_{ref} + 1,5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 2.S$		
G	$IEE_{ref} + 2.S < IEE_{nom}$		

Tabela 18 – Escala de classificação energética.

Para classificar o edifício é necessário calcular o  $IEE_{nominal}$ , baseado nos resultados do modelo de simulação dinâmica, mas aplicando agora os perfis de funcionamento nominais do RSECE para edifícios da mesma tipologia.

No caso do presente estudo precede-se um processo de certificação energética, seria necessário obter por parte do proprietário os seguintes documentos:

- Projecto de arquitectura/térmica do edifício, projecto de AVAC e ou projecto de electricidade;
- Caderneta predial e registo predial na conservatória;
- Plano de manutenção preventiva.

Os projectos de arquitectura, têm como finalidade compreender a geometria do edifício, permitir o calculo das áreas úteis, analisar a envolvente de forma a que seja possível calcular os coeficientes de transmissão térmica. O projecto de AVAC para além de permitirem obter informações sobre os equipamentos instalados tem uma grande utilidade na auditoria à QAI. O projecto de electricidade apesar de não ser decisivo apresenta relativa importância de modo a facilitar a recolha de informação sobre as luminárias durante o processo de auditoria energética.

A caderneta predial é um documento emitido pelo serviço de finanças, que comprova a inscrição do imóvel na matriz através de um artigo matricial e identifica a localização do imóvel, a sua composição, área, proprietário e o valor patrimonial tributável. Enquanto o registo predial se destina a publicitar a situação jurídica dos imóveis, tendo em vista a segurança do comércio jurídico imobiliário.

O proprietário deverá ainda entregar o plano de manutenção preventiva. Tem como requisito garantir o funcionamento optimizado dos sistemas AVAC instalados, visando estabelecer e manter os objectivos pretendidos de conforto ambiental, de qualidade do ar interior QAI e de eficiência energética.

O PMP estabelecerá claramente as tarefas de manutenção previstas, tendo em consideração a boa prática da profissão, as instruções dos fabricantes e a regulamentação existente, para cada tipo de equipamento constituinte da instalação. Deverá ser elaborado e mantido permanentemente actualizado sob a responsabilidade de um Técnico Responsável pela Manutenção, TRF, com as qualificações e competências definidas no Artº21 do RSECE.

Nas zonas técnicas principais deverão estar afixados os esquemas de princípio das instalações.

Do PMP devem constar:

- Identificação do edifício
- Localização
- Identificação e contactos do Proprietário
- Identificação e contactos do Técnico Responsável
- Tipo de actividade
- Número médio de utilizadores fixos e ocasionais
- Área climatizada
- Potências térmicas totais
- Inventário e codificação das instalações
- Famílias de equipamentos
- Registos de consumos energéticos e de funcionamento

As fichas técnicas dos equipamentos devem possuir, como mínimo, os seguintes dados:

- Identificação do equipamento em cada sistema e a função a que se destina;
- Dados e características técnicas de cada elemento;
- Componentes simples que o completam;
- Frequência de revisões recomendadas pelo fabricante;
- Características do estado em que se encontram;
- Informação sobre sobresselentes recomendados pelo fabricante;
- Fichas técnicas de funcionamento, comparativas dos dados actuais com os de comissionamento.

## **5.1 Cálculo do IEE**

Através do Excel foi desenvolvida uma folha de cálculo que, permite de forma automática, obter a classe energética do edifício, através do modelo de cálculo previsto no RSECE, bastando para isso introduzir todos dados referentes aos consumos. As folhas de cálculo para os dois programas encontram-se nos anexos M e N.

As fórmulas de cálculo consideradas para obtenção dos resultados na folha de cálculo do Excel encontram-se descritas anteriormente no ponto 3.2.3. Assim, em seguida são

apresentados os vários passos para o cálculo do IEE, através dos dados fornecidos pelo VE-Pro e pelo Trace 700. Importa referir que no caso do IEE de aquecimento, foi considerado um acréscimo de 5 % relativo às pontes térmicas lineares, conforme referido anteriormente.

O IEE de aquecimento, foi então calculado da seguinte forma:

$$F_{CI} = \frac{N_{I1}}{N_{Ii}} = \frac{44}{68,10} = 0,6$$

$$IEE_{I_{TRACE\ 700}} = \frac{Q_{aq}}{A_p} \times F_{CI} = \frac{12687,20}{12448,37} \times 0,6 = 0,63$$

$$IEE_{I_{VE-Pro}} = \frac{Q_{aq}}{A_p} \times F_{CI} = \frac{13328,70}{12691,48} \times 0,6 = 0,65$$

E da folha de cálculo retira-se:

Aquecimento TRACE 700				
IEEi =	0.63	kgep/m <sup>2</sup> .ano		
Q electrico	0.0	Kwh	0.0	kgep/ano
Q gás	147525.0	Kwh	12687.2	kgep/ano
Total Aquecimento			12687.2	kgep/ano

Aquecimento VE-Pro				
IEEi =	0.65	kgep/m <sup>2</sup> .ano		
Q electrico	0.0	Kwh	0.0	kgep/ano
Q gás	154984.4	Kwh	13328.7	kgep/ano
Total Aquecimento			13328.7	kgep/ano

Tabela 19 – Cálculo do IEE de aquecimento.

Relativamente ao arrefecimento:

$$F_{CV} = \frac{N_{V1}}{N_{Vi}} = \frac{16}{16} = 1$$

$$IEE_{V_{TRACE\ 700}} = \frac{Q_{arr}}{A_p} \times F_{CV} = \frac{21170,00}{12448,37} \times 1 = 1,70$$

$$IEE_{V_{VE-Pro}} = \frac{Q_{arr}}{A_p} \times F_{CV} = \frac{21543,30}{12691,48} \times 1 = 1,70$$

Resultando na tabela 20.

Arrefecimento TRACE 700				
IEEv =	1.70	kgep/m <sup>2</sup> .ano		
Q electrico	73000.0	Kwh	21170.0	kgep/ano
Q gás	0.0	Kwh	0.0	kgep/ano
Total Arrefecimento			21170.0	kgep/ano

Arrefecimento VE-Pro				
IEEv =	1.70	kgep/m <sup>2</sup> .ano		
Q electrico	74287.4	Kwh	21543.3	kgep/ano
Q gás	0.0	Kwh	0.0	kgep/ano
Total Arrefecimento			21543.3	kgep/ano

Tabela 20 – Cálculo do IEE de arrefecimento.

Relativamente à energia não ligada a aquecimento ao arrefecimento, foram apurados os valores totais de energia consumida, convertidos para a unidade kgep/ano pelos factores de conversão 0,29 e 0,086 para energia eléctrica e combustível respectivamente, e posteriormente divididos pela área conforme representado em seguida.

$$IEE_{outTRACE\ 700} = \frac{Q_{out}}{A_p} = \frac{177519,84}{12448,37} = 14,26$$

$$IEE_{outVE-Pro} = \frac{Q_{out}}{A_p} = \frac{180270,96}{12691,48} = 14,20$$

Energia não ligada aquecimento e arrefecimento TRACE 700						
Qout	Qilum	elect	197586.42	Kwh	57300.06	kgep/ano
	Qequip eléct	elect	224720.80	Kwh	65169.03	kgep/ano
	Qvent	elect	157273.47	Kwh	45609.31	kgep/ano
	Qilum ext	elect	5037.00	Kwh	1460.73	kgep/ano
	QAQS	elect	15177.88	Kwh	4401.58	kgep/ano
	Qsolar	elect	-0.00	Kwh	0.00	kgep/ano
	Qoutros	elect	7840.80	Kwh	2273.83	kgep/ano
	QAQS	gás	15177.88	Kwh	1305.30	kgep/ano
	Qsolar	gás	-0.00	Kwh	0.00	kgep/ano
	Qoutros	gás	0.00	Kwh	0.00	kgep/ano
Qout =	14.26		kgep/m <sup>2</sup> .ano			

Energia não ligada aquecimento e arrefecimento VE-Pro						
Qout	Qilum	elect	199741.52	Kwh	57925.04	kgep/ano
	Qequip eléct	elect	229038.40	Kwh	66421.14	kgep/ano
	Qvent	elect	160287.37	Kwh	46483.34	kgep/ano
	Qilum ext	elect	5037.00	Kwh	1460.73	kgep/ano
	QAQS	elect	15177.88	Kwh	4401.58	kgep/ano
	Qsolar	elect	-0.00	Kwh	0.00	kgep/ano
	Qoutros	elect	7840.80	Kwh	2273.83	kgep/ano
	QAQS	gás	15177.88	Kwh	1305.30	kgep/ano
	Qsolar	gás	-0.00	Kwh	0.00	kgep/ano
Qoutros	gás	0.00	Kwh	0.00	kgep/ano	
Qout =	14.20					kgep/m <sup>2</sup> .ano

Tabela 21 – Cálculo do IEE não ligado a aquecimento e arrefecimento.

Somando os valores dos vários IEE calculados anteriormente obtém o IEE<sub>nom</sub>:

$$IEE_{nom_{TRACE\ 700}} = IEE_I + IEE_V + IEE_{out} = 0,63 + 1,70 + 14,26 = 16,59$$

$$IEE_{nom_{VE-Pro}} = IEE_I + IEE_V + IEE_{out} = 0,65 + 1,70 + 14,20 = 16,55$$

Conforme é possível verificar, as diferenças no valor do IEE, introduzidas pelas diferenças no consumo simulado pelos dois programas são reduzidas, cerca de apenas 0,25%.

## 5.2 Cálculo da classificação energética

Somando as várias parcelas de cálculo do IEE, obtém-se o valor final do IEE<sub>nominal</sub>, que comparado com o IEE<sub>ref</sub> permite obter a classificação energética, conforme consta na tabela 22.

$$IEE_{ref\ exist} = \frac{IEE_{Rest} \times A_{Rest} + IEE_{Est.ensino} \times A_{Est.ensino} + IEE_{Estac\ 10h\ Seg\ a\ Sex} \times A_{Estac\ 10h\ Seg\ a\ Sex} + IEE_{Cozinhas\ 6h\ Seg\ a\ Sex} \times A_{Cozinhas\ 6h\ Seg\ a\ Sex} + IEE_{Armazéns\ 7h\ TD} \times A_{Armazéns\ 7h\ TD}}{Área\ total}$$

$$= \frac{120 \times 273,56 + 15 \times 9290,67 + 12 \times 2700 + 121 \times 26,72 + 15 \times 157,42}{12476,72}$$

$$= 16,88$$

Classificação TRACE 700			Classificação VE-Pro		
IEE NOMINAL	16.59	kgep/m <sup>2</sup> .ano	IEE Nominal	16.55	kgep/m <sup>2</sup> .ano
IEE ref novo =	16.88	kgep/m <sup>2</sup> .ano	IEE ref novo	16.85	kgep/m <sup>2</sup> .ano
S =	9.19		S	9.21	
CE =	B-		CE	B-	

Tabela 22 – Comparação dos valores do IEE.

Mais uma vez se verifica que as diferenças são reduzidas. E em ambos os programas a classificação energética obtida é B-.

Cálculo IEE Trace 700				Cálculo IEE VE-Pro			
Classe Energética	Condições a verificar			Classe Energético	Condições a verificar		
	Lim. Inf.	IEEnom	Lim. sup.		Lim. Inf.	IEEnom	Lim. sup.
A+		16,59	9,98	A+		16,55	9,98
A	9,98	16,59	12,28	A	9,98	16,55	12,28
B	12,28	16,59	14,58	B	12,28	16,55	14,58
B-	14,58	16,59	16,88	B-	14,58	16,55	16,88
C	16,88	16,59	21,48	C	16,88	16,55	21,48
D	21,48	16,59	26,08	D	21,48	16,55	26,08
E	26,08	16,59	30,68	E	26,08	16,55	30,68
F	30,68	16,59	35,28	F	30,68	16,55	35,28
G	35,28	16,59		G	35,28	16,55	

Tabela 23 – Verificação dos IEE para obtenção da classificação.

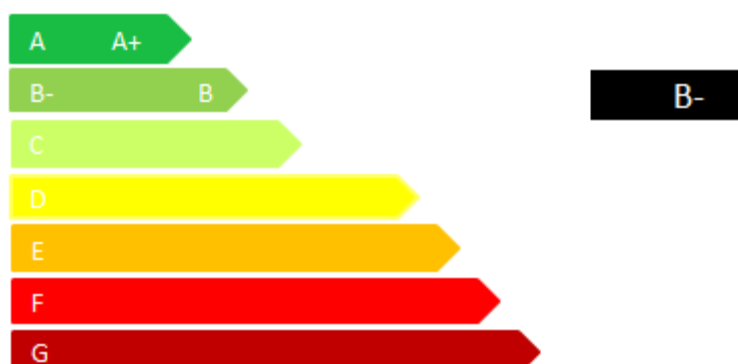


Figura 30 – Etiqueta de Eficiência Energética.

# 6 Estudo de medidas de melhoria

## 6.1 Medidas de racionalização de energia

Perante o observado durante a auditoria ao edifício, foi possível identificar um conjunto de aspectos que demonstram desconformidades face ao considerado como boas práticas de utilização de energia.

Em termos de hierarquização, as medidas de melhoria e de redução de consumos energéticos propostas para o edifício, foram divididas consoante os objectivos imediatos nelas contidos e a viabilidade económica das mesmas. Com este propósito, refira-se que se aproveitou a oportunidade para não só se proporem medidas com influência directa nos indicadores de consumos apurados, como também sugerir outras medidas julgadas imprescindíveis a uma melhor gestão desses mesmos consumos. Por outro lado, e onde aplicável, para a previsão de prazos de retorno dos investimentos a realizar considerou-se os preços constantes de implementação das medidas propostas, expurgados de eventuais sobretaxas financeiras e em alguns casos com desajustes por excesso, devido à falta de informação orçamental precisa. Assim, ao longo dos pontos seguintes, apresenta-se um conjunto de medidas que foram classificadas como:

- Medidas Obrigatórias – Medidas de execução obrigatória para cumprimento no disposto no RSECE Decreto-Lei n.º 79/2006, com incidência nos consumos específicos, e cujos períodos de retorno de investimentos podem ultrapassar o mínimo aceitável;
- Medidas de Tipo 1 – Medidas de Intervenção Estrutural, cuja implementação afecta directamente o consumo energético do edifício, por incidência nos consumos específicos, e cujo período de retorno do investimento, agregado, não ultrapassa o aceitável (8 anos);
- Medidas de Tipo 2 – Medidas de Intervenção Estrutural, cuja implementação não afecta directamente o consumo energético do edifício mas que são imprescindíveis à boa gestão de qualquer plano de racionalização e/ou potenciadoras de futuras reduções de indicadores de consumos específicos.

São indicadas como sendo de Boa Prática, desde medidas sem investimento inicial, a medidas sem estabelecimento do respectivo período de retorno do investimento.

### **6.1.1 Medidas obrigatórias**

Com base na informação disponibilizada e evidenciada aquando a visita, o edifício apresenta actualmente, impedimentos legais que impossibilitam na vertente de energia a emissão de um certificado energético por um perito qualificado no âmbito do SCE tais como:

- Existência de técnico responsável pelo funcionamento (TRF);
- Existência do plano de manutenção preventiva (PMP), realizado pelo técnico responsável pelo funcionamento (TRF);
- Existência de técnico de instalação e manutenção (TIM) que execute as tarefas previstas no PMP;

Existência de relatórios relativos à inspecção de caldeiras e sistemas de ar-condicionado efectuadas no âmbito do disposto no Artigo 20.º do DL 79/2006.

## 6.1.2 Medidas tipo 1

### 6.1.2.1 Substituição das soluções de iluminação existentes por soluções do tipo LED

A iluminação nos postos de trabalho e nas zonas de circulação é na sua maioria do tipo fluorescente. O sistema de iluminação artificial já existente no edifício é constituído por lâmpadas fluorescentes tubulares de 36W com balastos ferro magnéticos.

Com o objectivo de reduzir os consumos de energia devidos à iluminação artificial sugere-se a substituição das soluções de iluminação existentes por soluções do tipo LED.

Solução existente			Solução a considerar		
Descrição da solução	Número de luminárias	Potência total [kW]	Descrição da solução	Potência total [kW]	Custo unitário [€]
Fluorescente tubular 36W	1950	70,20	Tubo de iluminação 18W	35,10	8,02
Fluorescente compacta 18W	536	9,65	Lâmpada EPISTAR 7W	3,75	8,41
Focos de halogéneo 50W	20	1,00	Lâmpada Epistar 38º 5W	0,1	7,68
Fluorescente tubular 36W garagens	88	3,17	Tubo de iluminação 18W	1,58	8,02

**Tabela 24 – Tabela de comparação de soluções de iluminação.**

Com a aplicação desta medida prevê-se uma redução do consumo energético de 87,70 MWh/ano em electricidade, e uma redução da factura energética no valor de aproximadamente 12300€.

O custo associado à implementação desta medida foi estimado em 21000€, no entanto, os valores obtidos são de referência, podendo assim ser renegociado para a elevada quantidade de lâmpadas prevista. Prevê-se assim um retorno do investimento inferior a dois anos.

Importa referir, que para os cálculos usados foram considerados os perfis nominais, ou seja, este período de retorno depende de um perfil de iluminação real semelhante ao nominal.

No anexo K, é possível verificar as características das luminárias consideradas.

### 6.1.3 Medidas tipo 2

#### 6.1.3.1 Instalação de um sistema solar térmico para AQS

Atendendo aos consumidores de AQS do edifício foram traçados os perfis de consumo, com base no consumo médio diário calculado anteriormente.

Perfis de consumo [l]	
Hora	Consumo [l]
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	50
12	50
13	100
14	200
15	100
16	50
17	50
18	
19	
20	200
21	200
22	
23	
24	

Tabela 25 – Perfil de consumo de AQS, em litros.

Atendendo então ao perfil de consumo acima mencionado, promove-se a instalação de um sistema solar térmico individual, para produção de AQS, composto por 6 colectores solares modelo Sonnenkraft GK5, perfazendo uma área total aproximada de 28 m<sup>2</sup>, instalados na cobertura plana com azimute sul e inclinação de 33°. O sistema fará ligação a um depósito solar com capacidade para 3000 lts e permutador de calor em camisa, de eficiência 55%.

Os colectores solares deverão possuir certificação “Solar Keymark”, instalados por um instalador acreditado pela DGGE e existir um contrato de manutenção do sistema válido por um período mínimo de 6 anos.

O custo de investimento estimado para esta medida de melhoria será de 11200 €, para uma redução anual de energia no valor de aproximadamente 1150€, o que se traduz num período de retorno de 9,75 anos.

No anexo H, é possível encontrar o relatório do Solterm relacionado com esta medida.

### 6.1.3.2 Instalação de sistema solar fotovoltaico

Instalação de sistema solar fotovoltaico para microprodução, instalado na cobertura plana, composto por 72 módulos fotovoltaicos monocristalinos, LG255S1C da LG Electronics Inc, com dimensões 1632mm x 986mm, perfazendo uma área de 1,61m<sup>2</sup> por painel e uma área total de 1125,92m<sup>2</sup>.

Considerou-se uma montagem a Sul, com uma estrutura de inclinação a 30° na cobertura do piso 5. Foram estudados os sombreamentos provocados pelos painéis de forma as fileiras não provocassem efeito de sombreamento entre si. A separação entre linhas de colectores estabelece-se de tal forma que às 12.00h solares do dia mais desfavorável (altura solar mínima no solstício de Dezembro) a sombra da aresta superior duma fila tem que projectar-se, no máximo, sobre a aresta inferior da fila seguinte. Neste dia, a altura mínima do sol às 12.00h solares tem o seguinte valor: [30]

$$h_o = (90^\circ - \text{Latitude do lugar}) - 23,5^\circ = (90^\circ - 41,179089^\circ) - 23,5^\circ \cong 25,32^\circ$$

$h_o$  = altura solar

Na figura 31 vemos que a distância mínima,  $d$ , entre filas de colectores vale:

$$d = d_1 + d_2 = \frac{z}{\tan h_o} + \frac{z}{\tan \alpha} = \frac{1,64 \times \sin 30^\circ}{\tan 25,32^\circ} + \frac{1,64 \times \sin 30^\circ}{\tan 30^\circ} \cong 3,15$$

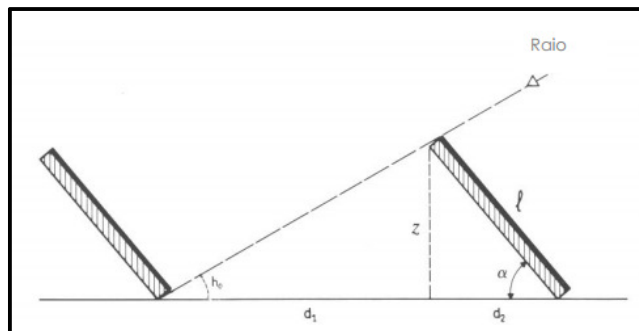


Figura 31 – Distância entre painéis. [30]

Para o sombreamento provocado pelas restantes obstruções o raciocínio utilizado foi o mesmo.

Foi então realizado um estudo de implantação que se encontra no anexo I, justificando assim o número de unidades a considerar. No mesmo anexo ainda possível encontrar o relatório emitido pelo programa de cálculo Sunny Design 3.

O sistema apresenta uma potência nominal de 15,60 kW, e de pico no valor de 18,36 kWp, a uma tensão de 230 V.

Foram ainda considerados dois inversores, um SMC 11000TLRP com potência de pico 12,24 kWp e potência máxima de CC de 11,40 kW. E um SB 5000TL-21 com potência de pico 6,12 kWp e potência máxima de CC de 5,25 kW

O custo estimado da instalação é 35000 € (0,72 €/W) e a energia eléctrica produzida pelo sistema 26679 kWh/ano, representando uma remuneração anual de aproximadamente 4028 €, considerando uma tarifa de venda da electricidade produzida de 0,151 €/kWh conforme previsto no art.11.º, do Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de Março.

No anexo J, é possível encontrar o relatório do SunnyDesign relacionado com esta medida.

### **6.1.3.3 Substituição do chiller existente**

Segundo o disposto no Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, ficou acordado que em 2010 foi realizado o corte total no fornecimento ao mercado, e até 2015 poder-se-á apenas utilizar fluido reciclado, pois a partir de 1 de Janeiro de 2015 vai ser proibida a sua utilização. De acordo com a legislação referida deverá ser feita uma substituição gradual dos equipamentos com gás R22.

Considerou-se um *chiller* 30XA da Carrier, ar/água com compressores de parafuso, capacidade nominal para arrefecimento de 438 kW e consumo de 142 kW, resultando numa eficiência de aproximadamente de 3,08.

Para execução desta medida prevê-se um investimento de aproximadamente 68000€, com um retorno anual de 1050€. Resultando assim, num período de retorno de aproximadamente 65 anos.

Atendendo ao elevado período de retorno desta medida, sugere-se em alternativa a reconversão do equipamento para o funcionamento com gás R410. A reconversão envolve custos e perda de eficiência do equipamento, no entanto, uma vez que a substituição/reconversão dos equipamentos é obrigatória, talvez seja a melhor opção.

No anexo L, encontra-se as características técnicas do *chiller* sugerido para esta medida.

## **6.1.4 Medidas de boa gestão energética e de recursos**

### **6.1.4.1 Limpeza de filtros**

Os filtros devem ser limpos regularmente (a melhoria da eficiência pode chegar aos 5%). O ar condicionado é dos aparelhos que mais electricidade gasta quando está a funcionar. O entupimento dos filtros leva a que a eficiência de ventilação baixe, que corresponde a uma degradação da qualidade do ar interior e a um aumento do consumo de energia por parte das unidades exteriores, que, de modo a poderem vencer as perdas de cargas impostas pelos filtros entupidos, irão trabalhar durante um período de tempo maior, aumentando assim o consumo energético.

### **6.1.4.2 Instalação de sensores de presença nas garagens**

Uma vez que os consumos associados à iluminação das garagens é bastante elevado, devido ao longo período no qual se encontram ligadas. Promove-se a instalação de um sistema de controlo automático da iluminação, através da instalação de um sensor de presença à entrada das garagens.

Apesar de não ser possível estimar o período de retorno desta medida, prevê-se uma redução bastante significativa deste consumo tendo em conta que, durante longos períodos de tempo, não entra nem sai qualquer viatura.

De forma a contabilizar a poupança anual consideraram-se os seguintes pressupostos:

- Lotação do parque: 176 viaturas;
- Sensores ligam 5min por cada entrada/saída.

Foi então possível estimar um período de funcionamento de 14h conforme a fórmula de cálculo apresentada em seguida, ao invés das 16h actuais.

$$\text{Horário} = 176 \times 5\text{min} = 14\text{h}$$

Importa referir que não foram consideradas as utilizações simultâneas. Assim, resulta uma poupança anual de 1,65 kWh/ano, aproximadamente 230 €/ano.

#### 6.1.4.3 Instalação de um economizador de gases de combustão

Instalação de um economizador de gases de combustão para caldeira a gás natural, na chaminé permitindo um aumento da eficiência da caldeira em cerca de 4 %\*, composto por um cartucho removível montado na caixa traseira de fumos da caldeira.

Considerando um consumo de 144400 kWh/ano de gás natural, prevê-se uma poupança anual de 5776€.

\*Segundo informação do fabricante, o valor da eficiência variará consoante o período de utilização anual da caldeira.

## 6.2 Resumo das medidas de melhoria consideradas

Agrupando todas as medidas numa tabela, é possível analisar sob o ponto de investimento, retorno e Payback time quais as medidas mais vantajosas.

Medida	Investimento inicial	Retorno anual	PayBack time
Instalação de um sistema solar térmico para AQS	€ 11 200.00	€ 1 150.00	9.74
Instalação de sistema solar fotovoltaico	€ 35 000.00	€ 4 028.00	8.69
Instalação de sensores de presença nas garagens	€ 1 500.00	€ 230.00	6.52
Substituição das soluções de iluminação existentes por soluções do tipo LED	€ 21 000.00	€ 12 300.00	1.71
Instalação de um economizador de gases de combustão	€ -	€ 5 776.00	-
Substituição do <i>chiller</i> existente	€ 68 000.00	€ 1 064.00	63.91

Tabela 26 – Tabela comparativa das medidas de melhoria.

## 6.3 Classe energética após implementação das medidas de melhoria

A nova classe energética após a implementação das medidas de melhorias passaria a ser:

Classificação TRACE 700			Classificação VE-Pro		
IEE NOMINAL	12.93	kgep/m <sup>2</sup> .ano	IEE Nominal	12.65	kgep/m <sup>2</sup> .ano
IEE ref novo =	16.88	kgep/m <sup>2</sup> .ano	IEE ref novo	16.85	kgep/m <sup>2</sup> .ano
S =	9.19		S	9.21	
CE =	B		CE	B	

**Tabela 27 – Classificação do edifício depois de implementadas as medidas.**

Como se pode verificar as medidas de melhoria representam uma subida de classe para B.

# 7 Conclusões

Esta dissertação pretendia verificar uma das problemáticas associadas ao processo de certificação energética, procurando demonstrar se é ou não indiferente o programa de cálculo que o projectista ou perito qualificado escolhe para efectuar a simulação dinâmica do edifício. Para tal, optou-se por uma abordagem prática, onde verificando o desempenho energético e a classe energética de um edifício escolar existente a funcionar em pleno, se pretendia efectuar uma análise de sensibilidade relativamente ao grau de variação dos resultados obtidos através da aplicação de dois programas de cálculo térmico e energético tendo em conta a legislação em vigor. Para o estudo, foram assim usados os programas VE-Pro e Trace 700, ambos acreditados pela norma ASHRAE 140-2004.

Este estudo em si, iniciou-se com uma auditoria energética ao edifício onde se tentou obter toda a informação possível quanto a equipamentos, iluminação existente, materiais construtivos e perfis de funcionamento. Durante a realização da auditoria sentiram-se algumas dificuldades para aceder a alguns espaços, (gabinetes, salas técnicas, entre outros), e documentos como as facturas energéticas ou até mesmo listagens de consumos do edifício.

Apesar de ter sido possível aceder ao projecto de AVAC em planta, não foram encontradas as listagens de equipamentos de AVAC instalados, ou das soluções adoptadas. Assim, optou-se por usar as aproximações sugeridas pelas notas técnicas. Usaram-se ainda alguns dados de bombas e ventiladores, que podem não corresponder ao instalado, uma vez que mais uma vez, não existem dados suficientes. No entanto, os dados utilizados serviram de *inputs* para os dois programas, permitindo assim a comparação em circunstâncias idênticas. De notar ainda, a não existência de qualquer PMP.

Após a auditoria, o modelo do edifício em estudo foi então recriado e parametrizado no VE-Pro e no Trace 700. Foram utilizados os dados retirados da auditoria relativamente às envolventes, áreas, iluminação, no entanto, foram utilizados os perfis nominais do RSECE para a ocupação, equipamentos eléctricos e caudais de ar novo, para as tipologias “estabelecimentos de ensino superior” e “restaurantes”.

A geometria do edifício, a definição dos elementos de sombreamento, bem como o sistema de AVAC e tratamento de ar, representam os grandes desafios na definição de um modelo de simulação. Uma vez que se afiguram muitas vezes como os mais difíceis de reproduzir nos programas de simulação, e qualquer erro associado, pode por vezes trazer grandes desvios de consumos.

Enquanto no Trace 700 a introdução dos dados é feita apenas através da introdução de valores, no VE-Pro é utilizado o Modell T, que conforme referido anteriormente não se encontra ainda muito desenvolvido. De forma a facilitar a correcta introdução das envolventes, é necessário que o utilizador previamente marque as linhas orientadoras num programa CAD, importe os dados para o Modell T e marque então as envolventes. O Modell T prevê que no desenho das paredes interiores, a linha representativa das referidas paredes seja traçada pelo meio, sendo extrudida posteriormente, enquanto as paredes exteriores devem ser traçadas pelo exterior, sendo posteriormente extrudidas para o interior, o que pode provocar desde logo uma variação dos resultados de área útil face ao Trace 700.

A introdução de dados relativos a ganhos internos com iluminação, equipamento, e cargas térmicas são bastante próximos.

Uma vez que não existia toda a informação relativamente aos equipamentos de AVAC, foi utilizada a ferramenta de cálculo ApacheSim, e não o ApacheHVAC, que permite um nível de detalhe no sistema de AVAC bastante maior. Contudo, importa referir que o tratamento de dados utilizado no Apache foi semelhante ao realizado no Trace 700. Assim, este procedimento revelou-se idêntico em ambos os programas, tendo sido obtidos resultados idênticos em ambas as simulações.

Verificou-se, então, que os desvios encontrados em todas as fontes de consumos de energia são inferiores a 10%. Usando os resultados obtidos para o cálculo do IEE, foi então possível concluir que as diferenças encontradas na parametrização dos dados nos dois programas não introduzem um erro significativo quer no VE-Pro, quer no Trace 700, resultando uma classificação semelhante em ambos, conforme garantido pela norma ASHRAE 140-2004.

Relativamente aos programas, e à sua facilidade de utilização, conclui-se que o Trace 700, talvez por não ter um ambiente gráfico, se torne mais prático, sobretudo para a análise de edifícios existentes beneficiando ainda da ligação comercial ao mercado de equipamentos de climatização, nomeadamente à Trane. Enquanto o VE-Pro, ainda com pouca divulgação no mercado, e com alguns pontos a melhorar, nomeadamente as ferramentas do Modell T, revela-se mais útil para a fase de projecto. Uma vez que possui vários módulos como o Radiance, MicroFlow, MacroFlow, que permitem analisar o edifício numa fase inicial e sob o ponto de vista da colocação de luminárias, ou colocação de grelhas de insuflação. Para além disso, devido à sua interacção gráfica, permite ao utilizador, através do seu ambiente gráfico, conceber soluções de sombreamento que se adaptem da melhor forma à sua futura utilização.

Em termos de sensibilidade de resultados, a diferença apresentada pelos modelos é reduzida, inferior a 5% nos resultados dos consumos de energia, e inferior a 2% no que diz respeito ao cálculo do IEE. No entanto, importa referir que, as características relativas a cada programa, as diferentes opções que cada um tem, podem influenciar o resultado final, em função da experiência do utilizador. Isto nota-se sobretudo, conforme já foi referido anteriormente, na definição dos sistemas de AVAC mediante a sua complexidade.

Relativamente à análise da classificação do edifício, em ambos os programas a classificação obtida foi de B<sup>-</sup>. Apesar de alto, acaba por ser uma classificação ligeiramente

acima da realidade nacional, onde a classe energética C representa a grande fatia das classificações energéticas dos edifícios existentes. [31]

Esta classificação pode ser explicada pelo facto do edifício apresentar um espaço de restauração no seu interior, que possui um  $IEE_{ref}$  bastante elevado, acabando por fazer subir a classificação energética.

De forma a reduzir os consumos, e alertar para a problemática energética vivida no ISEP, foram consideradas várias medidas de eficiência e de redução energética. Tendo em vista as principais fontes de consumo, para além das soluções de energias renováveis.

Foram então sugeridas medidas relativas à iluminação, que representa uma grande parte dos consumos do edifício, alterações aos equipamentos de AVAC, prevendo-se a substituição regular dos filtros nos equipamentos de ventilação, substituição do *chiller*, para produção de água fria e um economizador de gases de combustão para a caldeira.

Foram ainda consideradas medidas relativas a energias sustentáveis, que foram abordadas em várias disciplinas ao longo do mestrado onde se enquadra a presente tese. Destacando a aplicação dos colectores solares para o aquecimento das águas quentes sanitárias e o sistema solar fotovoltaico para venda de energia á rede, ambos com períodos de retorno inferiores a 10 anos.

# 8 Bibliografia

- [1] Desenvolvimento Sustentável: II - Recursos Naturais; [http://revolucaoedemocracia.blogspot.pt/2013\\_08\\_01\\_archive.html](http://revolucaoedemocracia.blogspot.pt/2013_08_01_archive.html).
- [2] IEA Energy Statistics; <http://www.iea.org/statistics>.
- [3] Consumo de energia primária: total e por tipo de fonte de energia – Portugal; <http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+primaria+total+e+por+tipo+d+e+fonte+de+energia-1130>.
- [4] AIE. Agencia Internacional da Energia, Oil market, 2007; <http://www.oilmarket.org/>.
- [5] Petróleo bruto Brent Preço Mensal - Euro por Barril; <http://www.indexmundi.com/pt/pre%E7os-de-mercado/?mercadoria=petr%C3%B3leo-bruto-brent&meses=120&moeda=eur>.
- [6] Portugal Eficiência 2015; <http://www.adene.pt/pt-pt/PNAEE/Documents/PortugalEficincia2015Implementaoem2008.pdf>; 2008.
- [7] MONTEIRO, A. *Da Serra do Pilar com vista para o aquecimento global*. UPorto - Revista dos Antigos Alunos da Universidade do Porto 16. p. 22-25, 2005.
- [8] SILVA, Pedro. *Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE*. p. 18. Janeiro de 2006.
- [9] Consumo Energético nos Edifícios; [http://myldc.pt/noticias/noticia.php?t=consumo-energetico-nos-edificios&noticia\\_myldc=1](http://myldc.pt/noticias/noticia.php?t=consumo-energetico-nos-edificios&noticia_myldc=1).
- [10] Página inicial»Áreas Setoriais»Eficiência Energética»Edifícios; <http://www.dgeg.pt>.
- [11] RORIZ, L., & GONÇALVES, A. *Os problemas da utilização de métodos de simulação de cargas térmicas e consumo energético na auditoria energética para*

- verificação dos Requisitos Energéticos dos edifícios*; <http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/>; 2003.
- [12] ASHRAE Handbook - Fundamentals - SI Units, American Society of Heating, Refrigerating, and Air- Conditioning Engineers (ASHRAE).
- [13] Fontes de Energia; [http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/alteracoes climaticas/saibamais/Pages/FontesdeEnergia.aspx](http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/alteracoes_climaticas/saibamais/Pages/FontesdeEnergia.aspx).
- [14] Certificação Energética e ar Interior Edifícios; [http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Introducao/Documents/SCE\\_Geral3.pdf](http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Introducao/Documents/SCE_Geral3.pdf).
- [15] GOODHEW, S.; GRIFFITHS, G. *Sustainable earth walls to meet the building regulations, Energy and Building* 37. p. 451-459, 2005.
- [16] Consumo português de energia eléctrica aumentou 50% em 10 anos; [http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Consumo\\_portugu%C3%AAs\\_de\\_energia\\_el%C3%A9ctrica\\_aumentou\\_50%25\\_em\\_10\\_anos](http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Consumo_portugu%C3%AAs_de_energia_el%C3%A9ctrica_aumentou_50%25_em_10_anos).
- [17] Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008; <http://dre.pt/pdf1sdip/2008/05/09700/0282402865.PDF>; Diário da República, 1.ª série — N.º 97 — 20 de Maio de 2008.
- [18] Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE); <http://www.adene.pt/pt-pt/pnaee/paginas/pnaee.aspx>.
- [19] Portugal Eficiência 2015, Resumo - Versão para Consulta Pública; [http://www.ploran.com/artigos/portugal\\_eficiencia\\_2015.pdf](http://www.ploran.com/artigos/portugal_eficiencia_2015.pdf), Fevereiro 2008.
- [20] Ministério da Economia e da Inovação. Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE): [Versão Electrónica], 2008.
- [21] Direcção Geral de Energia e Geologia. Áreas Sectoriais; <http://www.dgeg.pt>; 2011.
- [22] ADENE. Perguntas e Respostas RSECE QAI. D.L.79/2006 de 4 de Abril. [Versão Electrónica], 2006.
- [23] Sistema de Certificação Energética (SCE). *Modelo dos Certificados de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior*, Diário da República, 2ª série - N° 69 - 8 de Abril de 2008 [Versão Electrónica], 2008.
- [24] Despacho n.º 10250/2008; <http://www.adene.pt/pt-pt/legislacao/em-casa/Paginas/Despacho-102502008.aspx>.
- [25] Perguntas e Respostas RSECE. D.L.79/2006 de 4 de Abril. [Versão Electrónica]; Versão 1.2, Novembro 2008.
- [26] Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), Diário da Republica nº 79/2006 série I - A de 4 de Abril de 2006; Abril 2006.
- [27] JUDKOFF, R., & NEYMARK, J. *International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method*. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 1995.
- [28] Virtual Environment. Module Tutorial. IES Headquarters. Helix Building, West of Scotland Science Park, Glasgow.
- [29] ASHRAE Handbook—Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 2009.
- [30] Manual de projectista de sistemas de energia solar térmica; Instituto de soldadura e qualidade.

[31] Catálogo de Estudos de mercado; <http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/ParceriasSCE/Documents/Catlogo6.pdf>.



## Anexo A. Temperaturas exteriores de projecto

Quadro I.A - 1

TEMPERATURAS EXTERIORES DE PROJECTO DE INVERNO  
(PROBABILIDADES ACUMULADAS DE OCORRÊNCIA DE 1, 2.5, 5 e 10%)

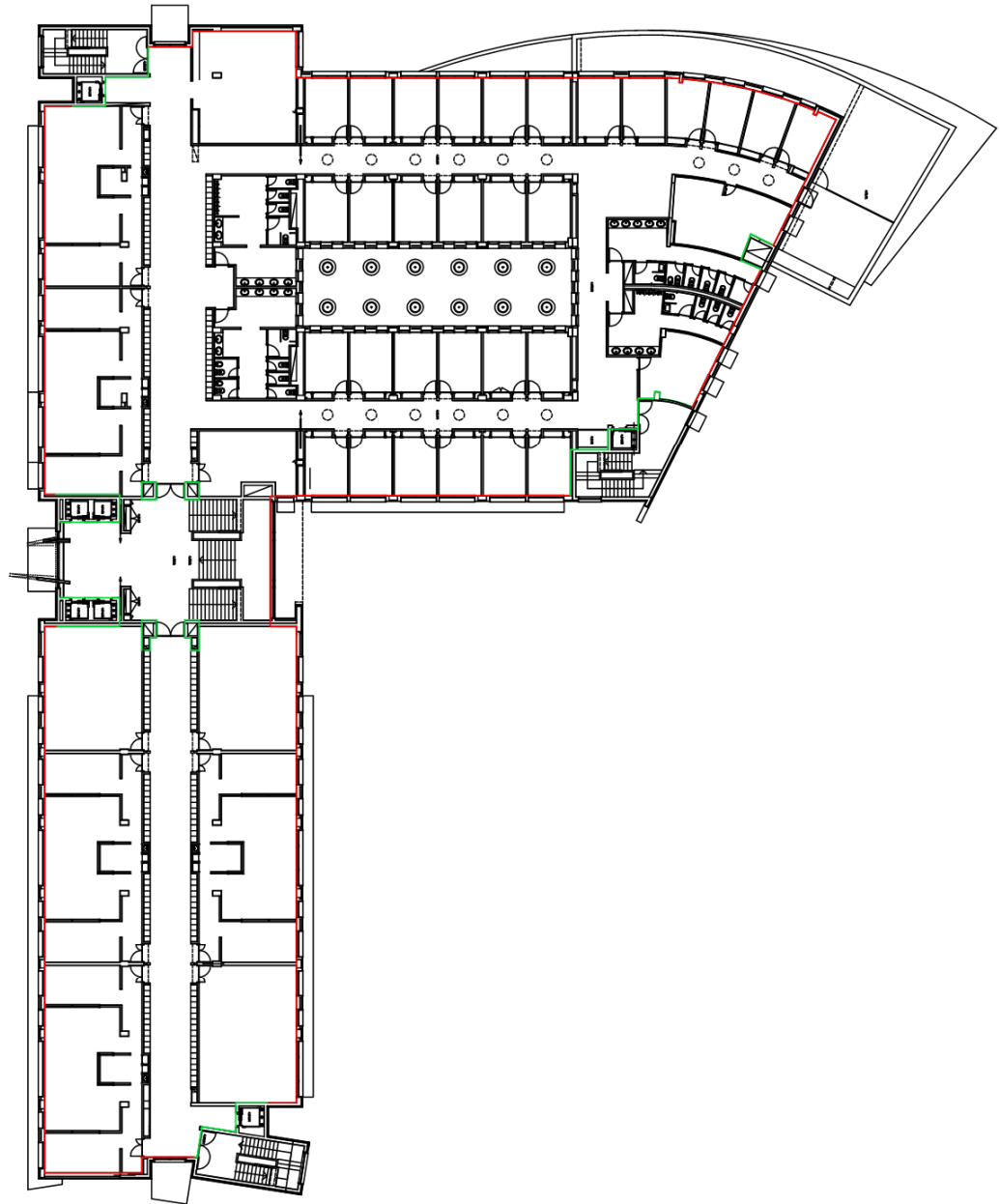
REGIAO	NUMERO DE ORDEM	LOCAL	PROB.(%)			
			1.0	2.5	5.0	10.0
CONTINENTE	1	MONTALEGRE	-4.8	-3.2	-1.9	-0.6
	2	BRAGANCA	-4.6	-3.2	-2.2	-0.7
	3	VIANA DO CASTELO	-0.3	0.8	2.0	3.6
	4	CHAVES	-5.2	-3.5	-2.3	-0.7
	5	BRAGA	-1.0	0.2	1.3	2.9
	6	PEDRAS SALGADAS	-3.2	-1.8	-0.7	0.7
	7	MIRANDELA	-4.5	-3.1	-2.0	-0.4
	8	MIRANDA DO DOURO	-5.6	-3.8	-2.5	-1.0
	9	SANTO TIRESU	-2.0	-0.8	0.5	2.4
	10	VILA REAL	-2.3	-1.2	0.0	1.3
	11	PACOS DE FERREIRA	-2.2	-1.0	0.1	1.6
	12	PORTO/P. RUBRAS	0.8	1.9	3.0	4.5
	13	REGUA	-1.5	-0.4	0.9	2.4
	14	PINHAO/S. BARBARA	-2.2	-1.0	0.3	1.9
	15	PORTO/S. DO PILAR	0.1	1.3	2.3	4.0
	16	BIGORNE	-5.2	-3.9	-2.5	-0.9
	17	FIGUEIRA C. RODRIGO	-6.4	-4.9	-3.4	-1.6
	18	SERRA DA MUNA	-1.7	-0.1	0.8	2.0
	19	UISEU	-3.0	-1.8	-0.5	1.1
	20	S. JACINTO/B. AEREA	2.3	3.3	4.3	5.7
	21	CARAMULO	-1.3	-0.1	0.9	2.0
	22	GUARDA	-4.4	-2.9	-1.6	-0.3
	23	DUNAS DE MIRA	-2.8	-1.3	0.1	2.2
	24	ANADIA	-1.4	-0.1	1.1	3.0
	25	PENHAS DOURADAS	-6.0	-4.5	-2.8	-1.3
	26	LAGOA COMPRIDA	-7.3	-5.8	-4.5	-3.0
	27	PENHAS DA SAUDE	-7.3	-5.8	-4.5	-3.1
	28	COIMBRA/BENCANTA	-1.2	0.1	1.4	3.3
	29	COIMBRA/GEOFISICO	0.5	1.9	3.3	4.8



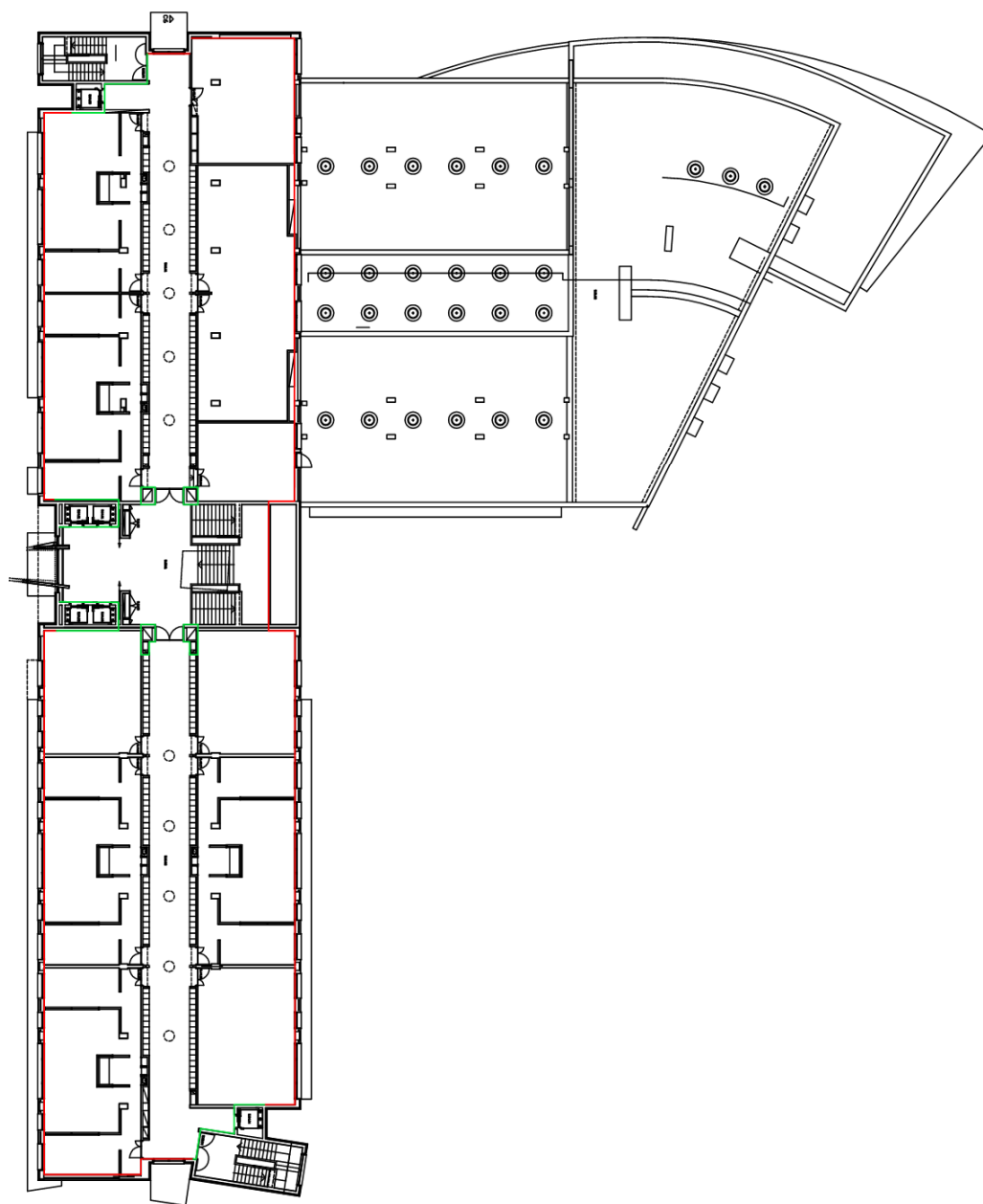




*Planta do piso 3*



*Planta do piso 4*



## Anexo C. Listagem de luminárias interiores

Zona	Tipo iluminação	Potência	Quantidade	Potência total
F502	Fluorescente tubular	36	22	792
F503	Fluorescente tubular	36	22	792
F504	Fluorescente tubular	36	38	1368
F505	Fluorescente tubular	36	38	1368
F508	Fluorescente tubular	36	38	1368
F509	Fluorescente tubular	36	26	936
F516	Fluorescente tubular	36	16	576
F513	Fluorescente tubular	36	6	216
F515	Fluorescente tubular	36	42	1512
F519	Fluorescente tubular	36	22	792
F520	Fluorescente tubular	36	20	720
Corredor	Fluorescente tubular	36	42	1892
	Fluorescente compacta	18	10	
	Focos	50	4	
F402	Fluorescente tubular	36	22	792
F403	Fluorescente tubular	36	22	792
F404	Fluorescente tubular	36	38	1368
F405	Fluorescente tubular	36	38	1368
F408	Fluorescente tubular	36	38	1368
F409	Fluorescente tubular	36	26	936
F413	Fluorescente tubular	36	6	216
wc	Fluorescente compacta	18	52	1008
	Fluorescente tubular	36	2	
F418	Fluorescente tubular	36	22	792
F420	Fluorescente tubular	36	20	720
F416	Fluorescente tubular	36	16	576
Corredor	Fluorescente tubular	36	42	3440
	Fluorescente tubular	36	40	
	Fluorescente compacta	18	16	
	Focos	50	4	
Gabinetes A	Fluorescente tubular	36	32	1152
Gabinetes B	Fluorescente tubular	36	24	864
Gabinetes C	Fluorescente tubular	36	24	864
Gabinetes D	Fluorescente tubular	36	24	864
Gabinetes E	Fluorescente tubular	36	16	576
wc prof3	Fluorescente tubular	36	2	864
	Fluorescente compacta	18	44	
Sala prof	Fluorescente compacta	18	6	108
Sala DEE	Fluorescente tubular	36	4	144
F302	Fluorescente tubular	36	22	792
F303	Fluorescente tubular	36	22	792
F304	Fluorescente tubular	36	38	1368
F305	Fluorescente tubular	36	38	1368
F308	Fluorescente tubular	36	38	1368
F309	Fluorescente tubular	36	26	936
F313	Fluorescente tubular	36	6	216
F322	Fluorescente tubular	36	20	720
F318	Fluorescente tubular	36	22	792
F317	Fluorescente tubular	36	42	1512
F314	Fluorescente tubular	36	16	576
Corredor	Fluorescente tubular	36	42	3332
	Fluorescente tubular	36	40	
	Fluorescente compacta	18	10	
	Focos	50	4	
Gabinetes A2	Fluorescente tubular	36	24	864
Gabientes B2	Fluorescente tubular	36	24	864
Gabientes C2	Fluorescente tubular	36	24	864
Gabientes D2	Fluorescente tubular	36	24	864
F343	Fluorescente tubular	36	4	144

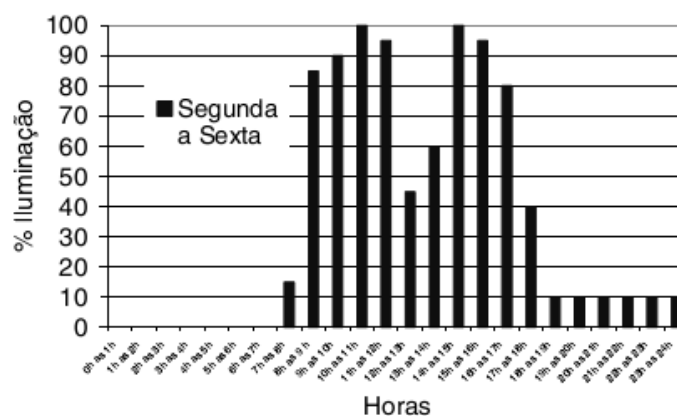
wc prof2	Fluorescente tubular	36	2	792
	Fluorescente compacta	18	36	
	Fluorescente tubular	18	4	
E	Fluorescente tubular	36	4	144
F342	Fluorescente compacta	18	60	1080
F341	Fluorescente compacta	18	60	1080
F202	Fluorescente tubular	36	22	792
F203	Fluorescente tubular	36	22	792
F204	Fluorescente tubular	36	38	1368
F205	Fluorescente tubular	36	38	1368
F208	Fluorescente tubular	36	38	1368
F209	Fluorescente tubular	36	26	936
F213	Fluorescente tubular	36	6	216
F221	Fluorescente tubular	36	20	720
F218	Fluorescente tubular	36	22	792
F214	Fluorescente tubular	36	16	576
WC	Fluorescente tubular	36	2	720
	Fluorescente compacta	18	36	
Corredor piso 1	Fluorescente tubular	36	42	2324
	Fluorescente tubular	36	12	
	Fluorescente compacta	18	10	
	Focos	50	4	
F225	Fluorescente compacta	18	7	630
	Fluorescente tubular	36	14	
F223	Fluorescente tubular	36	14	576
	Fluorescente compacta	18	4	
F226	Fluorescente compacta	18	7	630
	Fluorescente tubular	36	14	
F224	Fluorescente tubular	36	14	576
	Fluorescente compacta	18	4	
Restaurante	Fluorescente compacta	18	62	1116
WC prof piso 1	Fluorescente tubular	36	2	864
	Fluorescente tubular	18	4	
	Fluorescente compacta	18	40	
E piso 1	Fluorescente tubular	36	4	144
G	Fluorescente tubular	36	4	144
F102	Fluorescente tubular	36	22	792
F103	Fluorescente tubular	36	22	792
F104	Fluorescente tubular	36	38	1368
F105	Fluorescente tubular	36	38	1368
F108	Fluorescente tubular	36	38	1368
F109	Fluorescente tubular	36	26	936
Corredor RC	Fluorescente tubular	36	58	2648
	Fluorescente compacta	18	20	
	Focos	50	4	
F114	Fluorescente tubular	36	10	360
F115	Fluorescente tubular	36	10	360
F116	Fluorescente tubular	36	10	360
F117	Fluorescente tubular	36	10	360
F119	Fluorescente tubular	36	10	360
F120	Fluorescente tubular	36	10	360
Gabinetes oficinas	Fluorescente tubular	36	4	144
Balneários	Fluorescente tubular	36	2	864
	Fluorescente tubular	18	4	
	Fluorescente compacta	18	40	
7	Fluorescente tubular	36	4	144
$\Sigma$				80848
Fluorescente tubular 36W			1950	70,20
Fluorescente compacta 18W			536	9,65
Focos de halógeno 50W			20	1,00

Zona	Tipo iluminação	Potência	Quantidade	Potência total
Garagens	Fluorescente tubular	36	88	3168
CHC	Halógeno	50	36	1800

# Anexo D. Perfil iluminação

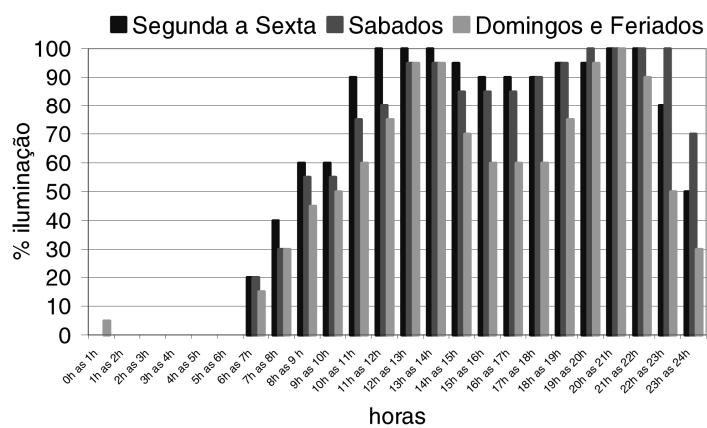
*Tipologia de Estabelecimentos de ensino superior*

horas	% de iluminação		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h as 1h	0	0	0
1h as 2h	0	0	0
2h as 3h	0	0	0
3h as 4h	0	0	0
4h as 5h	0	0	0
5h as 6h	0	0	0
6h as 7h	0	0	0
7h as 8h	15	0	0
8h as 9 h	85	0	0
9h as 10h	90	0	0
10h as 11h	100	0	0
11h as 12h	95	0	0
12h as 13h	45	0	0
13h as 14h	60	0	0
14h as 15h	100	0	0
15h as 16h	95	0	0
16h as 17h	80	0	0
17h as 18h	40	0	0
18h as 19h	10	0	0
19h as 20h	10	0	0
20h as 21h	10	0	0
21h as 22h	10	0	0
22h as 23h	10	0	0
23h as 24h	10	0	0



## Tipologia de Restaurantes

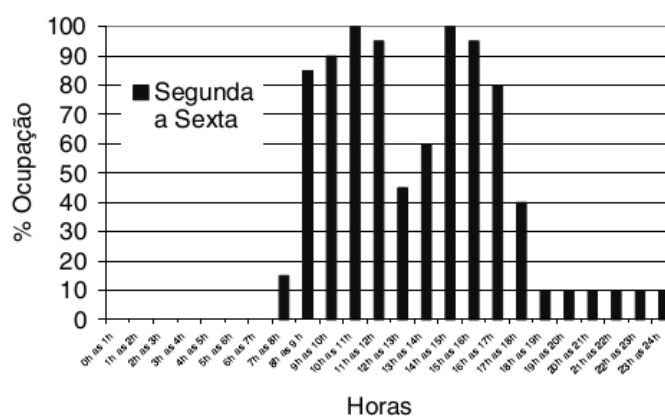
horas	% de iluminação		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h as 1h	0	0	5
1h as 2h	0	0	0
2h as 3h	0	0	0
3h as 4h	0	0	0
4h as 5h	0	0	0
5h as 6h	0	0	0
6h as 7h	20	20	15
7h as 8h	40	30	30
8h as 9 h	60	55	45
9h as 10h	60	55	50
10h as 11h	90	75	60
11h as 12h	100	80	75
12h as 13h	100	95	95
13h as 14h	100	95	95
14h as 15h	95	85	70
15h as 16h	90	85	60
16h as 17h	90	85	60
17h as 18h	90	90	60
18h as 19h	95	95	75
19h as 20h	95	100	95
20h as 21h	100	100	100
21h as 22h	100	100	90
22h as 23h	80	100	50
23h as 24h	50	70	30



# Anexo E. Perfis de Ocupação

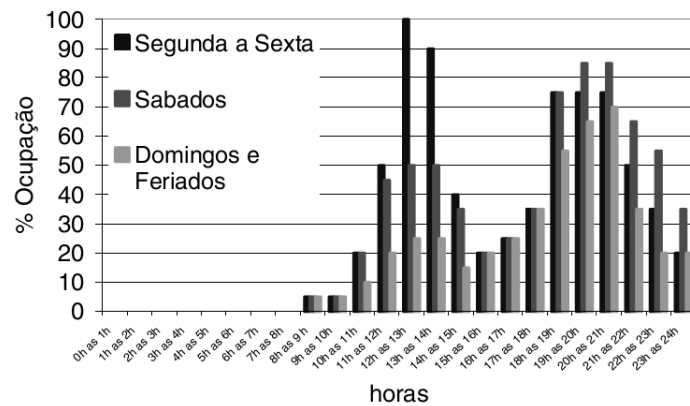
*Tipologia de Estabelecimentos de ensino superior*

horas	% de Ocupação		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h as 1h	0	0	0
1h as 2h	0	0	0
2h as 3h	0	0	0
3h as 4h	0	0	0
4h as 5h	0	0	0
5h as 6h	0	0	0
6h as 7h	0	0	0
7h as 8h	5	0	0
8h as 9 h	80	0	0
9h as 10h	85	0	0
10h as 11h	100	0	0
11h as 12h	95	0	0
12h as 13h	45	0	0
13h as 14h	70	0	0
14h as 15h	95	0	0
15h as 16h	100	0	0
16h as 17h	90	0	0
17h as 18h	50	0	0
18h as 19h	10	0	0
19h as 20h	10	0	0
20h as 21h	10	0	0
21h as 22h	10	0	0
22h as 23h	10	0	0
23h as 24h	10	0	0



## Tipologia de Restaurantes

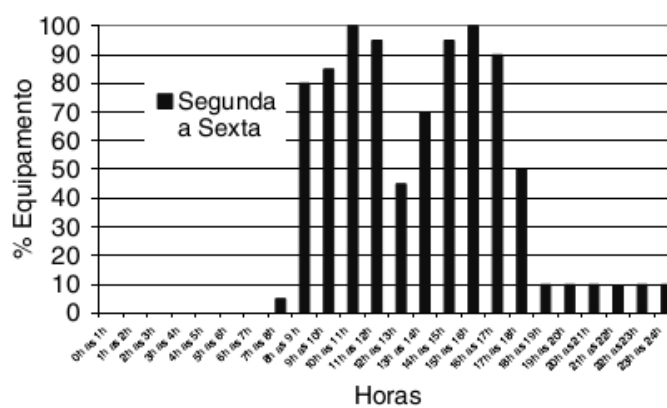
horas	% de Ocupação		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h as 1h	0	0	0
1h as 2h	0	0	0
2h as 3h	0	0	0
3h as 4h	0	0	0
4h as 5h	0	0	0
5h as 6h	0	0	0
6h as 7h	0	0	0
7h as 8h	0	0	0
8h as 9 h	5	5	5
9h as 10h	5	5	5
10h as 11h	20	20	10
11h as 12h	50	45	20
12h as 13h	100	50	25
13h as 14h	90	50	25
14h as 15h	40	35	15
15h as 16h	20	20	20
16h as 17h	25	25	25
17h as 18h	35	35	35
18h as 19h	75	75	55
19h as 20h	75	85	65
20h as 21h	75	85	70
21h as 22h	50	65	35
22h as 23h	35	55	20
23h as 24h	20	35	20



## Anexo F. Perfis de equipamentos

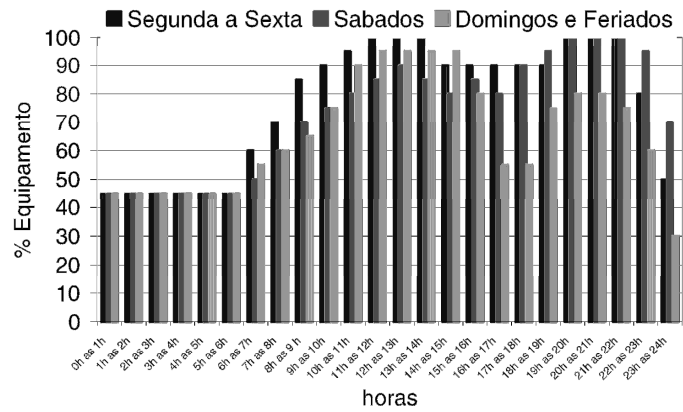
*Tipologia de Estabelecimentos de ensino superior.*

horas	% de equipamento		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h as 1h	0	0	0
1h as 2h	0	0	0
2h as 3h	0	0	0
3h as 4h	0	0	0
4h as 5h	0	0	0
5h as 6h	0	0	0
6h as 7h	0	0	0
7h as 8h	15	0	0
8h as 9 h	85	0	0
9h as 10h	90	0	0
10h as 11h	100	0	0
11h as 12h	95	0	0
12h as 13h	45	0	0
13h as 14h	60	0	0
14h as 15h	100	0	0
15h as 16h	95	0	0
16h as 17h	80	0	0
17h as 18h	40	0	0
18h as 19h	10	0	0
19h as 20h	10	0	0
20h as 21h	10	0	0
21h as 22h	10	0	0
22h as 23h	10	0	0
23h as 24h	10	0	0



## Tipologia de Restaurantes

horas	% de equipamento		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h as 1h	45	45	45
1h as 2h	45	45	45
2h as 3h	45	45	45
3h as 4h	45	45	45
4h as 5h	45	45	45
5h as 6h	45	45	45
6h as 7h	60	50	55
7h as 8h	70	60	60
8h as 9h	85	70	65
9h as 10h	90	75	75
10h as 11h	95	80	90
11h as 12h	100	85	95
12h as 13h	100	90	95
13h as 14h	100	85	95
14h as 15h	90	80	95
15h as 16h	90	85	80
16h as 17h	90	80	55
17h as 18h	90	90	55
18h as 19h	90	95	75
19h as 20h	100	100	80
20h as 21h	100	100	80
21h as 22h	100	100	75
22h as 23h	80	95	60
23h as 24h	50	70	30



## Anexo G. Cálculo dos caudais de ar novo

Usando a tabela dos caudais mínimos de ar novo do RSECE, representada em seguida, calcularam-se os caudais de ar por tipo de actividade, em l/s/pessoa ou l/s/m<sup>2</sup>.

Tipo de actividade		Caudais mínimos de ar novo	
		[m <sup>3</sup> /(h.ocupante)]	[m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )]
Residencial .....	Salas de estar e quartos .....	30	
Comercial .....	Salas de espera .....	30	
	Lojas de comércio .....		5
	Áreas de armazenamento .....		5
	Vestiários .....		10
	Supermercados .....	30	5
Serviços de refeições .....	Salas de refeições .....	35	
	Cafetarias .....	35	35
	Bares, salas de <i>cocktail</i> .....	35	35
	Sala de preparação de refeições .....	30	
Empreendimentos turísticos .....	Quartos/suites .....	30	
	Corredores/átrios .....		5
Entretenimento .....	Corredores/átrios .....		5
	Auditório .....	30	
	Zona do palco, estúdios .....	30	
	Café/ <i>foyer</i> .....	35	35
	Piscinas .....		10
Serviços .....	Ginásio .....	35	
	Gabinetes .....	35	5
	Salas de conferências .....	35	20
	Salas de assembleia .....	30	20
	Salas de desenho .....	30	
	Consultórios médicos .....	35	
	Salas de recepção .....	30	15
	Salas de computador .....	30	
Elevadores .....		15	
Escolas .....	Salas de aula .....	30	
	Laboratórios .....	35	
	Auditórios .....	30	
	Bibliotecas .....	30	
	Bares .....	35	
Hospitais .....	Quartos .....	45	
	Áreas de recuperação .....	30	
	Áreas de terapia .....	30	

Inputs	Auditórios	Bares/Salas de cocktail	Bares/Salas de cocktail	Corredores/átrios	Gabinetes	Gabinetes	Gabinetes	Laboratórios	Salas de aula
Actividade	Audatório	Bares, salas de cocktails	Bares, salas de cocktails	Corredores, átrios	Gabinetes	Gabinetes	Gabinetes	Salas de aula	Laboratórios
m <sup>3</sup> /(h.ocupante) ou m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup> /(h.ocupante)	m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup> /(h.ocupante)	m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup> /(h.ocupante)	m <sup>3</sup> /(h.ocupante)	m <sup>3</sup> /(h.ocupante)	m <sup>3</sup> /(h.ocupante)
Caudal de ar RSECE	30	35	35	5	35	5	5	35	30
Materiais ecologicamente limpos ou zona fumadores?	MENL	MENL	MENL	MENL	MENL	MENL	MENL	MENL	MENL
Eficiência do sistema de ventilação:	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Caudal final	56.25	65.63	65.63	9.38	65.63	9.38	65.63	65.63	56.25
Caudal U/(s.occup) ou U/(s.m <sup>2</sup> )	15.63	18.23	18.23	2.60	18.23	2.60	18.23	18.23	15.63



Desempenho\_Porto\_6x\_Sonnenkraft\_GK5\_com\_15001

Um conjunto depósito/permutador

-----  
-  
Tubagens

-----  
-  
Comprimento total: 40,0 m  
Percurso no exterior: 9,2 m com protecção mecânica  
Diâmetro interno: 51,0 mm  
Espessura do tubo metálico: 1,5 mm  
Espessura do isolamento: 33,0 mm  
Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K  
Condutividade térmica do isolamento: 0,030 W/m/K

-----  
-  
Carga térmica: segunda a sexta

-----  
-  
ISEP

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez											
11	11	12	12	13	15	16	17	17	16	15	13

Perfis de consumo (1)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez											
01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08											

Desempenho\_Porto\_6x\_Sonnenkraft\_GK5\_com\_15001

09											
10											
11	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
12	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
14	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
17	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
18											
19											
20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
21	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
22											
23											
24											
diário	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

-----  
 - Carga térmica: fim-de-semana  
 -----  
 -

ISEP

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez	11	12	12	13	15	16	17	17	16	15	13

Perfis de consumo (1)

Desempenho_Porto_6x_Sonnenkraft_GK5_com_15001											
hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Dez											
01											
02											
03											
04											
05											
06											
07											
08											
09											
10											
11	50	50	50	50	50	50	50		50	50	50
50											
12	50	50	50	50	50	50	50		50	50	50
50											
13	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100
100											
14	200	200	200	200	200	200	200		200	200	200
200											
15	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100
100											
16	50	50	50	50	50	50	50		50	50	50
50											
17	50	50	50	50	50	50	50		50	50	50
50											
18											
19											
20	200	200	200	200	200	200	200		200	200	200
200											
21	200	200	200	200	200	200	200		200	200	200
200											
22											
23											
24											
diário	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		1000	1000	1000
1000											

Desempenho\_Porto\_6x\_Sonnenkraft\_GK5\_com\_15001

-----  
 -  
 Localização, posição e envolvente do sistema  
 -----

-  
 Concelho de Porto  
 Coordenadas nominais: 41,2°N, 8,6°W  
 TRY para RCCTE/STE e SOLTERM ( LNEG(2009) www.lneg.pt  
 solterm.suporte@lneg.pt)

Obstruções do horizonte: por defeito

Orientação do painel: inclinação 33° - azimute 0°

-----  
 -  
 Balanço energético mensal e anual  
 -----

	Rad.Horiz. kWh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kWh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	51	80	,	851	1752	902
Fevereiro	69	99	,	1006	1574	568
Março	105	128	,	1230	1713	483
Abril	144	157	6,	1393	1629	236
Maió	173	171	9,	1423	1639	216
Junho	185	176	14,	1385	1537	152
Julho	205	199	45,	1484	1554	70
Agosto	183	192	,	0	0	0
Setembro	129	153	19,	1385	1528	143
Outubro	95	129	,	1318	1631	312
Novembro	60	94	,	984	1652	668
Dezembro	48	82	,	887	1749	862
Anual	1447	1658	94,	13345	17957	4612

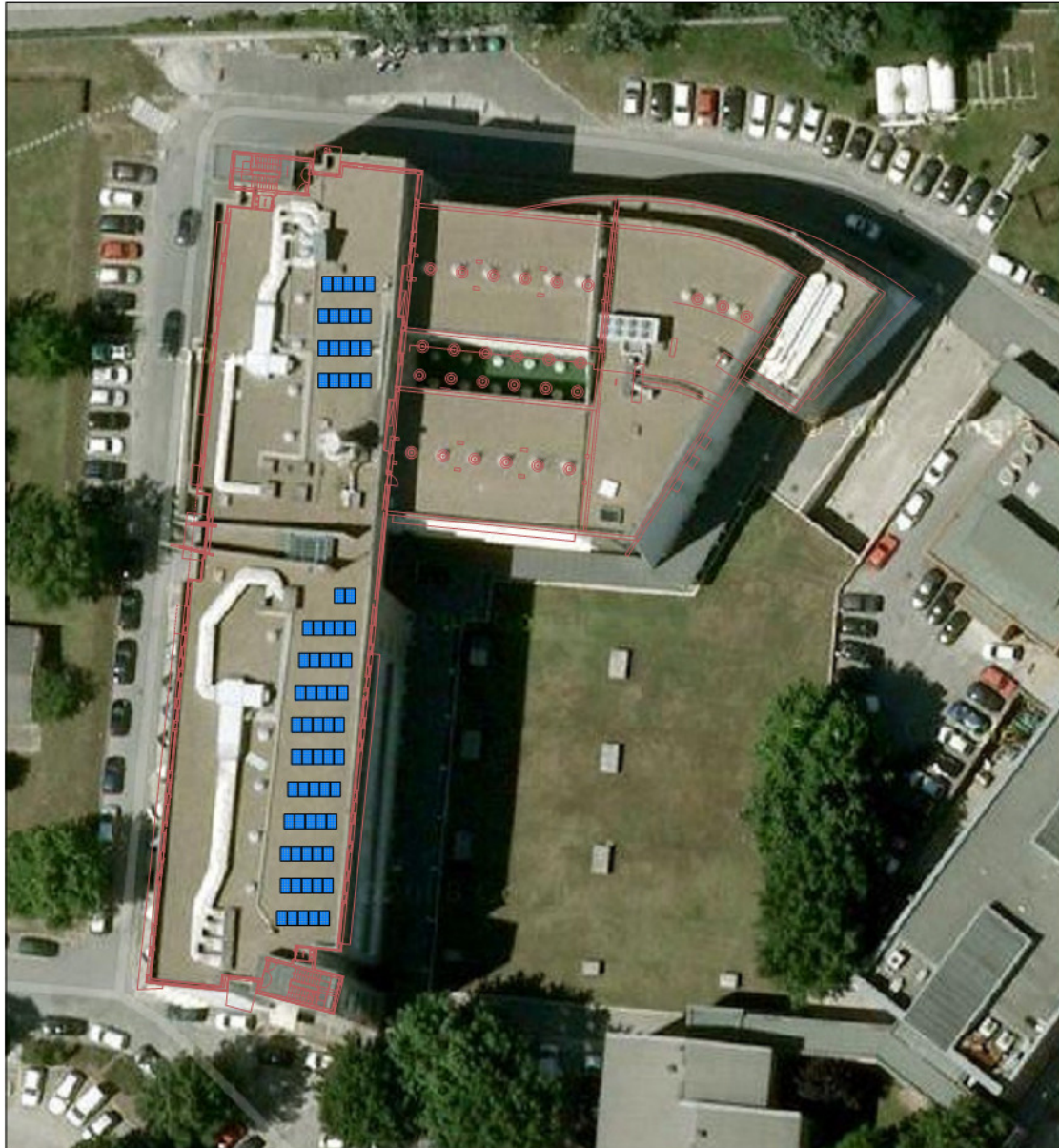
Fracção solar: 74,3%

Rendimento global anual do sistema: 29%

Produtividade: 476 kWh/[m<sup>2</sup> colector]

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

## Anexo I. Implantação do sistema fotovoltaico



# Anexo J. Relatório SunnyDesign

Resumo do sistema			
<b>72 x LG Electronics Inc. LG255S1C-G3 (02/2013) (Gerador fotovoltaico 1)</b>			
Azimute: 0°, Inclinação: 30°, Tipo de montagem: Telhado, Potência de pico: 18,36 kWp			
 <b>1 x SMC 11000TLRP</b>		 <b>1 x SB 5000TL-21</b>	
Dados do dimensionamento			
Quantidade total de módulos FV:	72	Performance Ratio (aprox.):*	86 %
Potência de pico:	18,36 kWp	Rendimento energético espec. (aprox.):*	1453 kWh/kWp
Número de inversores:	2	Perdas em linha (em % de energia FV):	---
Potência nominal CA:	15,60 kW	Carga desequilibrada:	15,60 kVA
Potência activa CA:	16,00 kW	Consumo próprio:	---
Relação de potência activa:	87,1 %	Quota de consumo próprio:	---
Rendimento energético anual (aprox.):*	26.679,30 kWh	Grau de autonomia (em % do consumo de energia):	---
Factor de utilização da energia:	99,8 %		

1 x SMC 11000TLRP	
Potência de pico:	12,24 kWp
Quantidade total de módulos FV:	48
Número de inversores:	1
Potência máx. CC (cos φ = 1):	11,40 kW
Potência activa máx. CA (cos φ = 1)	11,00 kW
Tensão de rede:	230 V
Razão de potência nominat	93 % 
Factor de desfasamento cos φ:	1
	 <b>SMC 11000TLRP</b>

Dados do dimensionamento			
<b>Entrada A: Gerador fotovoltaico 1</b>			
48 x LG Electronics Inc. LG255S1C-G3 (02/2013), Azimute: 0°, Inclinação: 30°, Tipo de montagem: Telhado			
	<b>Entrada A:</b>		
Número de strings:	4		
Módulos fotovoltaicos por string:	12		
Potência de pico (entrada):	12,24 kWp		
Tensão FV típica:	344 V 		
Tensão FV mín.:	310 V 		
Potência CC mín. (tensão de rede 230 V):	333 V		
Tensão FV máx.:	499 V 		
Tensão CC máx.:	700 V		
Corrente máx. do gerador FV:	33,0 A 		
Corrente máx. de CC:	34,0 A		

## 1 x SB 5000TL-21

Potência de pico:	6,12 kWp
Quantidade total de módulos FV:	24
Número de inversores:	1
Potência máx. CC (cos $\varphi$ = 1):	5,25 kW
Potência activa máx. CA (cos $\varphi$ = 1)	5,00 kW
Tensão de rede:	230 V
Razão de potência nominal:	86 %
Factor de desfasamento cos $\varphi$ :	1



SB 5000TL-21

### Dados do dimensionamento

#### Entrada A: Gerador fotovoltaico 1

14 x LG Electronics Inc. LG255S1C-G3 (02/2013), Azimute: 0°, Inclinação: 30°, Tipo de montagem: Telhado

#### Entrada B: Gerador fotovoltaico 1

10 x LG Electronics Inc. LG255S1C-G3 (02/2013), Azimute: 0°, Inclinação: 30°, Tipo de montagem: Telhado

	Entrada A:		Entrada B:	
Número de strings:	1		1	
Módulos fotovoltaicos por string:	14		10	
Potência de pico (entrada):	3,57 kWp		2,55 kWp	
Tensão FV típica:	401 V	✓	286 V	✓
Tensão FV mín.:	362 V	✓	259 V	✓
Potência CC mín. (tensão de rede 230 V):	125 V		125 V	
Tensão FV máx.:	582 V	✓	416 V	✓
Tensão CC máx.:	750 V		750 V	
Corrente máx. do gerador FV:	8,2 A	✓	8,2 A	✓
Corrente máx. de CC:	15,0 A		15,0 A	

### Sistema fotovoltaico / Inversor compatíveis

## Anexo K. *Luminárias LED a instalar*



[Ver produtos similares desse vendedor](#)

pura tecnologia super brilhante 18w 4 foot t8 led tubo de luz 36w fluourescent tubo de substituição luz sem lastro no uv no ir branco

preço: **US \$ 10.85** /item

Cor de Emissão:

Suporte ao Dimmer:

quantidade:  item

Custo de transporte: **US \$20.15** to [Portugal Via EMS](#)

Tempo de entrega: 5-17 dias

Preço total: Depende das propriedades do produto que você selecionar

[Compre agora](#)

[Coloque no carrinho](#)

Tempo de Envio dentro de 1 dias  
processamento:

Devoluções: Aceitamos o retorno se o produto não for como descrito, o comprador pagará pelo o envio; ou manterá o produto e aceitará o reembolso do vendedor. Ver detalhes

Garantia do vendedor: Entregue em tempo  
**27 dias**

[detalhes do produto](#)

[Feedback\(0\)](#)

[Garantia do vendedor](#)

### específicos do artigo

Item: [Lâmpadas LED](#)

Tensão: [110-240V](#)

Modelo do Chip LED: [SMD3528](#)

Certificado: [CCC,CE,EMC,LVD,ROHS](#)

Marca: [Pure](#)

Feixe de Ângulo (°): [120°](#)

Temperatura de Cor: [Branca fria\(5500-7000K\)](#)

Vida Média (horas): [30000](#)

Marca do Chip LED: [Epistar](#)

Ocasião: [Sala de estar](#)

Base: [G13](#)

Lâmpada LED: [Tubo](#)

# 7W E27 A60 EPISTAR Branca Quente 220V 470Lm



Código Produto: 4096  
Disponibilidade: **Em Stock**

**Preço: 8,41€**  
Sem IVA: 6,84€

Qtd:  [Comprar](#) [Comparar](#)

☆☆☆☆ 0 comentários | [Escrever comentário](#)

Descrição	Especificações	Comentários (0)
<b>Especificações</b>		
Consumo-Potência	7W	
Luminosidade	470 lm	
Equivalência	50W Incandescente 12W CFL(economizadoras)	
Cor da luz	Branco Quente (2700-3300K)	
Rendimento Luminoso (lm/W)	64.30	
Tipo de LED	EPISTAR	
Ângulo do Feixe	120°	
Dimensões	Φ60xA115 mm	
Casquilho	E27	
Regulável	Não	
Tensão	220V ca	

# 5W GU5.3 Epistar 38° COB Branca Quente 12V 320Lm



Código Produto: 1522  
Disponibilidade: **Em Stock**

**Preço: 7,68€**  
Sem IVA: 6,24€

Qtd:  [Comprar](#) [Comparar](#)

★★★★★ [0 comentários](#) | [Escrever comentário](#)

Descrição	Especificações	Comentários (0)
<b>Especificações</b>		
Consumo-Potência	5W	
Luminosidade	320 lm	
Equivalência	35W Halogéneo	
Cor da luz	Branca Quente (2800-3300K)	
Rendimento Luminoso (lm/W)	86	
Tipo de LED	Epistar COB	
Ângulo do Feixe	38°	
Dimensões	Φ50 x A50 mm	
Casquilho	GU5.3	
Regulável	Não	
Tensão	12V cc	

# Anexo L. Chiller 30XA da Carrier

## Dados físicos

30XA		252	302	352	402	452	502	602	702	752	802	852	902	1.002	1.102	1.202	1.302	1.352	1.402	1.502	1.702	
Capacidade Nominal *																						
Unidade Standard	KW	268	293	320	382	438	491	605	653	706	764	802	869	952	1116	1216	1296	1382	1426	1478	1605	
Unidade alta eficiencia	KW	274	300	326	393	451	508	616	677	726	792	837	899	999	1140	1245	1352	1440	1466	1521	1673	
Peso em funcion. (1)	Kg	3840	3.880	3.920	4.780	4.850	5.330	6.260	6.410	6.710	7.010	7.137	7.419	8.022	10.440	10.880	11.260	11.620	8.380	8.530	7.560	
																			4250	4250	7.560	
Refrigerante R134a																						
Compressores 06T de parafusos gêmeos, com válvula deslizante, silenciador interno. Desenho Carrier																						
Circuito A		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Circuito B		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Circuito C														1	1	1	1	1	1	1	1	
Circuito D																					1	
Capacidade Mínima	%	15	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10	10	10	10	8
Evaporador De tipo inundado, com carcaça e múltiplos tubos com estrias internas e externas, desenho Carrier																						
Ligações de água (2) Tipo Victaulic																						
Diâmetro	pulg.	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	8	6	6	6	6/8	6/8	6/8	6/8	6	
Condensador Nova tecnologia de microcanais em matriz de alumínio com alhetas de alumínio																						
Ventiladores Axiais com envolvente giratoria e pás aerodinamicas. Flying Bird IV de Carrier																						
Nº Ventiladores		6	6	6	8	8	9	11	12	12	12	14	14	16	19	20	20	20	24	24	24	28

## Dados eléctricos

30XA		252	302	352	402	452	502	602	702	752	802	852	902	1.002	1.102	1.202	1.302	1.352	1.402	1.502	1.702			
Tensão Nominal 400 V / 3 Ph / 50 Hz (Sem neutro)																								
Alimentação do circuito de controlo 24 V mediante transformador já integrado de série																								
Tipo de arrancador Arrancador estrela-triângulo de série																								
Consumo Nominal *																								
Unidade Standard***	kW	87	98	106	122	142	158	198	208	235	259	265	297	321	303	363	445	504	473	488	528			
Corrente máxima de operação **																								
Unidade Standard A (Circ A+B)		198	215	233	270	303	335	404	436	492	522	572	611	707	404	492	568	655	661	707	572			
(dois pontos de alimentação) (Circ C+D)																			354	354	354	354	354	572
Corrente máxima de arranque																								
Unidade Standard A (Circ A+B)		262	262	284	395	502	502	571	597	770	795	796	880	932	571	770	795	878	880	932	796			
(dois pontos de alimentação) (Circ C+D)																			587	587	587	587	587	796

\* Ar exterior 35°C, Agua Entrada/saída 12 °C / 7°C

\*\* Condições máximas de funcionamento.

\*\*\* Total circuitos (A+B y C+D). Consultar Doc. Técnica.

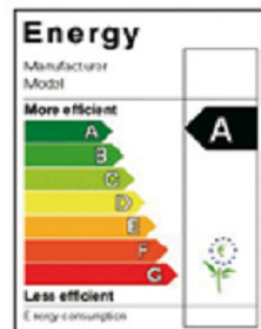
(1) Pesos orientativos. Tamanhos 1402 a 1702 formados por dois módulos.

(2) Sem módulo hidráulico.

## Dimensões, mm

Modelo	Comprim.	Largura	Altura
252-302-352	3.604	2.253	2.297
402-452	4.798	2.253	2.297
502	5.992	2.253	2.297
602-702-752-802	7.186	2.253	2.297
852-902	8.380	2.253	2.297
1.002	9.574	2.253	2.297
1.102-1.202-1.302-1.352	11.962	2.253	2.297
1.402*	14.372	2.253	2.297
1.502*	14.372	2.253	2.297
1.702*	16.760	2.253	2.297

\* Fornecidas em dois módulos separados (Consultar Doc. Técnica).



Classe "A" na classificação Europeia para chillers.



