



**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**



**FORÇA AÉREA PORTUGUESA**



## **Auditoria Energética e Plano de Racionalização de Energia**

**JOAQUIM MANUEL SIMÕES GUIA**

(Licenciado em Engenharia de Automação, Controlo e Instrumentação)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Prof. Rui Alberto Cavaca Marcos

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Rui Pedro Chedas de Sampaio

Vogais:

Prof. João Augusto dos Santos Joaquim

**Setembro de 2014**



## AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial ao Professor Rui Alberto de Almeida Cavaca Marcos, orientador científico da presente dissertação, que com a sua reconhecida experiência e conhecimentos acompanhou, analisou e corrigiu o desenvolvimento deste trabalho final de mestrado, sempre com uma nota muito relevante de simpatia e pragmatismo clarividente.

Ao Major Gonçalo Correia Fernandes Beato de Carvalho, como coorientador nesta Dissertação, o meu agradecimento, pelo seu apoio e amizade, e pela total disponibilidade que sempre revelou para comigo, além da sua dedicação, competência e especial atenção nas dúvidas e sugestões.

À Força Aérea Portuguesa, pela oportunidade que me foi dada em realizar um estudo desta natureza, e a todas as restantes entidades, organizações e empresas (detalhadamente apresentadas adiante) que, de uma maneira ou de outra, se prontificaram a colaborar e disponibilizar informações úteis.

Aos meus pais pelos valores e princípios transmitidos ao longo da minha vida que fazem de mim a pessoa que sou hoje.

Por fim quero agradecer à minha namorada Soraia por toda a força, ajuda e compreensão que sempre me deu, pelo total apoio transmitido ao longo da minha vida universitária.



## RESUMO

Nos últimos anos tem-se assistido a uma preocupação crescente por parte dos líderes internacionais em promover uma maior sustentabilidade energética através de uma utilização mais racional da energia e um maior investimento em energias renováveis.

No presente trabalho final de Mestrado (Dissertação) desenvolvido no âmbito da Eficiência Energética, aborda-se esta temática com base na análise de alguns edifícios militares pertencentes à Força Aérea Portuguesa, procurando consubstanciar o cálculo de indicadores de apoio à aferição de quantidades e desperdícios.

Por terem sofrido uma gradual estruturação, há agora a necessidade de analisar a adoção de medidas a nível técnico e a nível comportamental, por forma a minimizar os custos associados ao consumo de eletricidade e gás natural nestes edifícios.

Neste sentido pretende-se com o presente trabalho elaborar uma ferramenta em *DesignBuilder*. Esta ferramenta permite efetuar a desagregação dos perfis de consumos dos edifícios, identificando os sectores de maior consumo, identificar desvios em relação a valores padrão e testar medidas de eficiência energética de natureza comportamental e de gestão de processos. Procura-se assim potencializar a viabilidade da aplicação de medidas de diferentes tipos de estratégias que permitem um maior aproveitamento e uma gestão eficiente dos recursos disponíveis face aos consumos dos edifícios alvo de estudo.

Assim verificou-se que o sistema de AVAC é o principal responsável pela alteração dos consumos, apresentando um sistema centralizado que pode potenciar os consumos de eletricidade. Por outro lado verificou-se que a miniprodução de eletricidade e a substituição ou aquisição de uma nova caldeira são soluções bastante promissoras, mesmo quando não subsidiadas, apresentando indicadores económicos favoráveis. Por fim, através da alteração de comportamentos e processos, é possível induzir poupanças adicionais no consumo elétrico dos edifícios.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética, Auditoria Energética, Edifícios



## ABSTRACT

In recent years there has been a growing concern among international leaders to promote greater energy sustainability through a more rational use of energy and greater investment in renewable energy.

In this final work (Dissertation) developed under the Energy Efficiency, it approaches this theme based on the analysis of some military buildings belonging to the Portuguese Air Force, seeking to substantiate the calculation of indicators to find waste quantities.

Having suffered a gradual structuring, there is now the need to consider the adoption of measures at the technical level and the behavioral level, in order to minimize the costs associated with the consumption of electricity and natural gas in these buildings.

In this sense it is intended with this work elaborate a tool DesignBuilder. This tool allows you to disaggregate the consumption profiles of buildings, identifying the areas of greatest consumption, identify deviations from standard values and test energy efficiency measures of behavioral and process management. Wanted thereby enhancing the feasibility of applying measures of different types of strategies that allow greater use and efficient management of available resources against the consumption of the target study buildings.

Thus it was found that the HVAC system is primarily responsible for the change in consumption, presenting a centralized system that may enhance the consumption of electricity. Moreover it was found that the miniproduction electricity and replacement or acquisition of a new boiler are very promising solutions, even if not subsidized, with favorable economic indicators. Finally, by changing behaviors and processes, it is possible to induce additional savings in electricity consumption of buildings.

**Keywords:** Energy Efficiency, Energy Audit, Buildings



## Índice Geral

1. Introdução .....	1
1.1 Motivação e Enquadramento .....	1
1.2 Caso de Estudo.....	5
1.3 Estrutura da Tese.....	6
2. Revisão Bibliográfica.....	7
2.1 Legislação nacional de energia em edifícios .....	7
2.2 Consumo de energia em edifícios da Administração Pública.....	9
2.3 Sistema de Certificação de Edifícios.....	10
2.4 Caracterização de Auditoria Energética .....	13
3. Descrição dos edifícios .....	15
3.1 Descrição do Edifício A .....	16
3.2 Descrição do Edifício D .....	18
4. Indicador de Eficiência Energética .....	19
4.1 IEE de referência.....	19
4.2 IEE real.....	21
4.2.1 Energia Elétrica.....	21
4.2.1.1 Tarifário.....	23
4.2.1.2 Consumos .....	25
4.2.1.3 Custos.....	27
4.2.1.4 Desagregação dos Consumos .....	28
4.2.1.5 Análise de resultados.....	33
4.2.2 Gás Natural .....	35
4.2.2.1 Tarifário.....	36
4.2.2.2 Consumos.....	37
4.2.2.3 Custos.....	38
4.2.2.4 Desagregação dos Consumos .....	39
4.2.2.5 Análise de resultados.....	40
4.2.3 Determinação do IEE real .....	41
4.3 Conclusão dos resultados obtidos .....	43
5. Construção do Modelo para Simulação .....	45
5.1 Software DesignBuilder .....	45
5.2 Modelo para simulação dinâmica detalhada .....	46

5.2.1 Dados climáticos.....	49
5.2.2 Envolvente .....	50
5.2.3 Materiais de Construção.....	52
5.2.4 Vãos envidraçados .....	55
5.2.5 Definição das zonas .....	57
5.2.6 Perfil horário de Ocupação, equipamentos e iluminação .....	58
5.2.7 Características dos Sistemas AVAC .....	63
5.2.8 Renovação de ar .....	76
5.3 Análise de resultados.....	77
5.3.1 Determinação do IEE nominal .....	78
6. Classificação energética.....	79
7. Plano de Racionalização de Energia .....	81
7.1 Implementação de Caldeira para AQS .....	81
7.2 Implementação de Sistema Solar Térmico .....	83
7.3 Implementação de Sistema Solar Fotovoltaico .....	85
7.4 Substituição de Balastros Eletromagnéticos .....	88
7.5 Implementação de Iluminação a LED .....	91
7.6 Implementação de Bomba de Calor para Aquecimento Ambiente .....	92
7.7 Beneficiação do Isolamento das Conduitas .....	95
7.8 Software para Encerramento de Computadores .....	97
7.9 Ventilação noturna .....	99
7.10 Aplicação de Isolamento em Parede Exterior .....	100
8. Conclusões .....	103
Bibliografia .....	109
Anexos .....	111

## Índice de Figuras

Figura 1 – Distribuição mundial do consumo de energia.....	1
Figura 2 – Percentagem da distribuição mundial do consumo de energia.....	2
Figura 3 – Medidas para reduzir a emissão de GEE.....	3
Figura 4 – Poupanças de energia.....	4
Figura 5 – Metodologia para determinação do IEE.....	11
Figura 6 – Planta geral do Complexo de Alfragide.....	15
Figura 7 – Interior do edifício A e hall de entrada.....	17
Figura 8 – Vista exterior do edifício A com o pormenor das proteções solares.....	17
Figura 9 – Vista da cozinha.....	18
Figura 10 – Vista exterior do edifício D.....	18
Figura 11 – Distribuição da energia elétrica.....	22
Figura 12 – Períodos de tarifários.....	24
Figura 13 – Evolução dos consumos de energia elétrica.....	25
Figura 14 – Evolução dos consumos de energia elétrica dos últimos 3 anos.....	26
Figura 15 – Consumo médio dos últimos três anos, dividido pelos quatro horários.....	26
Figura 16 – Custo anual da energia elétrica.....	27
Figura 17 – Analisador de redes registando os dados, ligado na parte baixa do QGBT do PT nº 2.....	28
Figura 18 – Consumo de eletricidade num dia típico de inverno.....	29
Figura 19 – Consumo de eletricidade num dia típico de verão.....	30
Figura 20 – Consumo de eletricidade num dia típico de inverno.....	32
Figura 21 – Consumo de eletricidade num dia típico de verão.....	32
Figura 22 – Distribuição consumo de energia ativa, dados no período de inverno e verão de 2014.....	33
Figura 23 – Desagregação em percentagem dos consumos médios de energia, por PT.....	34
Figura 24 – Estimativa da relação do consumo médio de 2011 a 2013 face ao dos edifícios A e D.....	34
Figura 25 – Fornecimento de gás natural.....	35
Figura 26 – Evolução dos consumos de gás natural no Complexo de Alfragide.....	38
Figura 27 – Evolução da despesa anual com o gás natural no Complexo de Alfragide.....	39
Figura 28 – Consumo médio por cada contador.....	39
Figura 29 – Consumo dos Edifícios A e D nos últimos 3 anos.....	40
Figura 30 – Média dos consumos de gás natural nos edifícios A e D dos últimos 3 anos.....	40
Figura 31 – Comparação da média dos consumos anuais, em energia primária, dos edifícios A e D.....	42
Figura 32 – Comparação entre o valor IEE real e do IEE de referência ponderado.....	43
Figura 33 – Software auxiliar para planeamento e gestão da manutenção.....	44
Figura 34 – Planta do piso 3 do edifício A.....	48
Figura 35 – Hierarquia atribuída no programa <i>DesignBuilder</i> à construção do modelo detalhado.....	49
Figura 36 – Vista e orientação geográfica do modelo representativo do edifício A no <i>DesignBuilder</i> .....	51
Figura 37 – Vista e orientação geográfica do modelo representativo do edifício D.....	51
Figura 38 – Esquema da parede exterior.....	53
Figura 39 – Esquema da parede interior I.....	53
Figura 40 – Esquema da parede interior II.....	54
Figura 41 – Cobertura exterior.....	54
Figura 42 – Cálculo do valor de U.....	55
Figura 43 – Definição das características das lâminas.....	56
Figura 44 – Definição do espaçamento entre lâminas.....	56
Figura 45 – Pormenor das proteções solares fixas, no exterior.....	57
Figura 46 – Construção e identificação das zonas do Piso 4 do edifício A.....	57

Figura 47 – Evolução diária da percentagem de ocupação nos gabinetes, de segunda a sexta-feira. ....	59
Figura 48 – Evolução da percentagem diária da utilização dos equipamentos, nos gabinetes. ....	60
Figura 49 – Evolução da percentagem diária da utilização da iluminação, nos gabinetes.....	62
Figura 50 – Cobertura do edifício E. ....	63
Figura 51 – Esquema da subestação de arrefecimento .....	64
Figura 52 – Diagrama do modo de funcionamento da acumulação e utilização.....	67
Figura 53 – Histograma de carga e descarga dos bancos de gelo, face ao caudal de descarga térmica.....	67
Figura 54 – Caldeiras de vapor na estação de produção de calor. ....	69
Figura 55 – Permutador de placas nº 3, do tipo água-água.....	70
Figura 56 – Esquema da UTAN responsável pela renovação de ar novo no edifício A.....	71
Figura 57 – Esquema representativo do sistema AVAC tipo CAV disponível para simulação .....	74
Figura 58 – Introdução da programação horário funcionamento dos sistemas AVAC no <i>DesignBuilder</i> . ...	76
Figura 59 – Consumos desagregados dos edifícios A e D.....	77
Figura 60 – Metodologia para determinação da Classe Energética em Edifícios de Serviços .....	79
Figura 61 – Registo de leituras no contador de fornecimento de águas quentes sanitárias .....	82
Figura 62 – Performance do painel solar durante 25 anos.....	87
Figura 63 – Necessidades energéticas para climatização dos edifícios. ....	93
Figura 64 – Registo termográfico do colector de águas quentes. ....	97
Figura 65 – Leitura do consumo do computador em pleno funcionamento. ....	98
Figura 66 – Leitura do consumo do computador em <i>standby</i> .....	98
Figura 67 – Esquema da parede exterior com isolamento .....	101
Figura 68 – Influência nos consumos anuais, com e sem isolamento exterior. ....	102
Figura 69 – Consumo de eletricidade num dia típico de inverno. ....	114
Figura 70 – Consumo de eletricidade num dia típico de verão.....	115
Figura 71 – Consumo de eletricidade num dia típico de inverno. ....	116
Figura 72 – Consumo de eletricidade num dia típico de verão.....	117
Figura 73 – Consumo de eletricidade num dia típico de inverno. ....	118
Figura 74 – Consumo de eletricidade num dia típico de verão.....	118
Figura 75 – Evolução diária da percentagem de ocupação nos bares, de segunda a sexta-feira.....	120
Figura 76 – Evolução diária da percentagem de ocupação nos refeitórios, de segunda a sexta-feira.....	121
Figura 77 – Evolução diária da percentagem de ocupação nos armazéns, kitchnet e WC's.....	121
Figura 78 – Evolução diária da percentagem de equipamentos em funcionamento nos bares .....	122
Figura 79 – Evolução diária da percentagem de equipamentos em funcionamento refeitórios e cozinha...	123
Figura 80 – Evolução diária da percentagem de equipamentos em funcionamento nas kitchnets. ....	123
Figura 81 – Evolução diária da percentagem de iluminação ligada nos bares.....	124
Figura 82 – Evolução diária da percentagem de iluminação nos refeitórios e cozinha .....	125
Figura 83 – Evolução diária da percentagem de iluminação nos Armazéns, kitchnets e WC's .....	125
Figura 84 – Uma das quatro Unidades de Tratamento de Ar, localizadas na cobertura do edifício D. ....	133
Figura 85 – Ventilador de extração, instalado nas hottes da cozinha. ....	133
Figura 86 – Unidade de tratamento e ventilação .....	133
Figura 87 – Disposição unidades interiores e controladores locais, nas salas do piso 3 do edifício A.....	134
Figura 88 – Unidade interior e respetivo controlador local .....	134
Figura 91 – Evolução dos consumos do edifício A .....	136
Figura 92 – Evolução dos consumos no edifício D .....	136
Figura 93 – Valores médios temperatura tomados, ficheiro climático para cálculo e simulação .....	160
Figura 94 – Valores médios Radiação Solar, do ficheiro climático para cálculo e simulação .....	160
Figura 95 – Esquema da produção e distribuição de águas quentes para aquecimento ambiente. ....	162
Figura 96 – Esquema de reaproveitamento de águas quentes do chiller.....	163
Figura 97 – Esquema geral de aquecimento ambiente e águas quentes sanitárias.....	164

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Diferença entre os vários tipos de IEE's existentes .....	12
Tabela 2 – Caracterização dos Edifícios do Complexo de Alfragide .....	16
Tabela 3 – Dados para determinação do IEE de referência ponderado .....	20
Tabela 4 – Preços de potência.....	23
Tabela 5 – Preço de tarifas.....	24
Tabela 6 – Caracterização dos contadores de gás natural.....	36
Tabela 7 – Conversão de energia final em energia primária. ....	41
Tabela 8 – Características climáticas região Lisboa no software de simulação .....	50
Tabela 9 – Determinação Coeficiente de Transmissão Térmica da parede exterior.....	53
Tabela 10 – Determinação Coeficiente de Transmissão Térmica da parede interior I....	53
Tabela 11 – Determinação Coeficiente de Transmissão Térmica da parede interior II....	54
Tabela 12 – Coeficiente Transmissão Térmica da cobertura exterior .....	54
Tabela 13 – Comparação densidade ocupacional real e os valores padrão do RSECE....	59
Tabela 14 – Comparação densidade equipamentos real e os valores padrão do RSECE .	60
Tabela 15 – Determinação do valor do EER ponderado.....	65
Tabela 16 – Histograma de um dia médio de semana .....	66
Tabela 17 – Características das Caldeiras a Vapor.....	69
Tabela 18 – Descrição dos permutadores de placas.....	70
Tabela 19 – Caudal de ar novo das várias UTAs dedicadas ao edifício D. ....	73
Tabela 20 – Desagregação dos consumos dos edifícios A e D.....	78
Tabela 21 – Determinação do IEE nominal do edifício A.....	78
Tabela 22 – Determinação do IEE nominal do edifício D.....	78
Tabela 23 – Parâmetros para determinação da classe energética dos edifícios .....	80
Tabela 24 – Parâmetros para determinação da classe energética do edifício A .....	80
Tabela 25 – Tempo retorno investimento inicial implementação de nova caldeira .....	83
Tabela 26 – Tempo retorno investimento inicial implementação sistema solar térmico..	84
Tabela 27 – Estudo para avaliação do sistema.....	86
Tabela 28 – Estudo retorno investimento da implementação de sistema fotovoltaico. ....	87

Tabela 29 – Registo do número de luminárias.....	90
Tabela 30 – Tempo de retorno do investimento para as lâmpadas de 58W .....	91
Tabela 31 – Tempo de investimento da instalação de iluminação LED.....	92
Tabela 32 – Análise tempo retorno do investimento da aplicação de bomba de calor .....	94
Tabela 33 – Registos fotográficos de deficiências detetadas no isolamento térmico .....	96
Tabela 34 – Análise da aplicação para encerramento dos computadores .....	99
Tabela 35 – Comparação energia para arrefecimento, com e sem ventilação noturna...	100
Tabela 36 – Análise de viabilidade para ventilação nocturna na época de verão.....	100
Tabela 37 – Coeficiente Transmissão Térmica parede exterior com isolamento .....	101
Tabela 38 – Energia arrefecimento e aquecimento, com e sem isolamento exterior.....	101
Tabela 39 – Análise de viabilidade para aplicação de isolamento exterior .....	102
Tabela 40 – Planos de Racionalização de Energia.....	107
Tabela 41 – Perfil horário para os equipamentos no período de verão.....	126
Tabela 42 – Perfil horário para os equipamentos no período de inverno .....	127
Tabela 43 – Tabela com identificação dos equipamentos e iluminação distribuída.....	146
Tabela 44 – Levantamento e registo dados de ocupação, equipamentos e iluminação ..	147
Tabela 45 – Estudo da viabilidade da instalação de nova caldeira .....	148
Tabela 46 – Estudo da viabilidade da implementação de sistema solar térmico .....	149
Tabela 47 – Estudo da viabilidade da instalação de um sistema solar fotovoltaico .....	150
Tabela 48 – Estudo da viabilidade da substituição de balastros .....	151
Tabela 49 – Estudo da viabilidade da instalação de iluminação LED.....	152
Tabela 50 – Estudo da viabilidade da implementação sistemas com bomba de calor....	153
Tabela 51 – Estudo da viabilidade da ventilação mecânica noturna .....	154
Tabela 52 – Estudo da viabilidade do isolamento de paredes exteriores.....	155
Tabela 53 – Estudo da viabilidade do encerramento dos computadores .....	156

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

EU: União Europeia

CE: Comissão Europeia

GEE: Gases com Efeito de Estufa

AIE: Agência Internacional de Energia

ENE: Estratégia Nacional para a Energia

EMFA: Estado-Maior da Força Aérea

CEMFA: Chefe do Estado-Maior da Força Aérea

CLAFa: Comando da Logística da Força Aérea

DI: Direção de Infraestruturas

UAL: Unidade de Apoio de Lisboa

SCE: Sistema de Certificação Energética

RCCTE: Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE: Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

LCA: Análise de Ciclo de Vida

IEE: Indicador de Eficiência Energética

PRE: Plano de Racionalização de Energia

DGEG: Direção Geral de Energia e Geologia

PT: Posto de Transformação

MT: Média Tensão

QGBT: Quadro Geral de Baixa Tensão

QEP: Quadro Elétrico Parcial

QEA: Quadro Elétrico Auxiliar

SGTC: Sistema de Gestão Técnica Centralizado

AVAC: Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

UTAN: Unidade de Tratamento de Ar Novo

UTA: Unidade de Tratamento de Ar

UTV: Unidade de Tratamento e Ventilação

VRV: Volume de Refrigerante Variável

VE: Ventilador Extrator

AQS: Aquecimento de Águas Sanitárias

COP: *Coefficient of Performance*

RT: Regulamento Tarifário do Sector do Gás Natural

ERSE: Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

RRC: Regulamento das Relações Comerciais

PQ: Perito Qualificado

QAI: Qualidade do Ar Interior

EPS: Poliestireno Expandido

XPS: Poliestireno Extrudido

## **Símbolos**

$A_p$  – Área útil de pavimento ( $m^2$ )

$P_p$  – Potência em horas de ponta (kW)

$E_p$  – Energia ativa em horas de ponta (kWh)

$H_p$  – Horas de ponta

kgep – Quilograma de energia primária

$U$  – Coeficiente de transmissão térmica ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

# 1. Introdução

## 1.1 Motivação e Enquadramento

A eficiência energética é um assunto que todos os países adotaram como preponderante nas suas agendas. As mudanças climáticas levaram todos os governos a uma procura incessante por energias alternativas. Portugal é um desses países, vindo a registar resultados positivos. No entanto, não só de energias alternativas o futuro sobrevive, ou seja, o uso mais eficiente da energia é fundamental.

A União Europeia (EU), com base nesse objetivo, definiu metas ambiciosas para os países da sua comissão, e estes, tal como Portugal, definiram estratégias e planos de ação de forma a conseguirem atingir as metas definidas pela EU. Os países industrializados têm vindo a adotar políticas de desenvolvimento económico para aumentar o bem-estar das populações, assentes em grandes consumos energéticos e com repercussões resultantes no impacto ambiental e na escassez dos recursos energéticos mundiais. Em 2013 o consumo mundial de energia atingiu o valor de 12,7 mil milhões de toneladas equivalentes de petróleo.

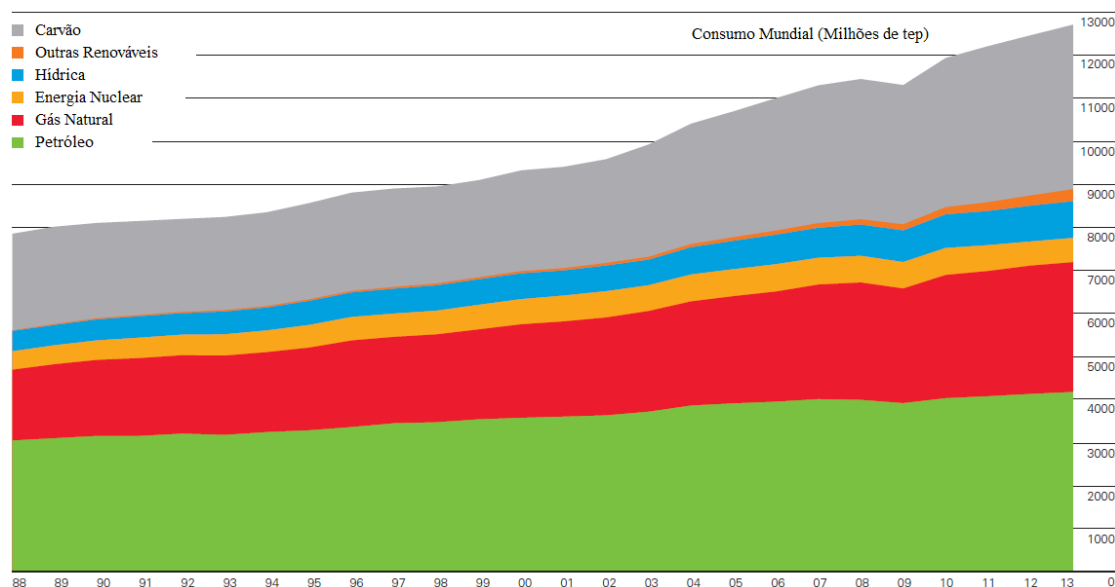
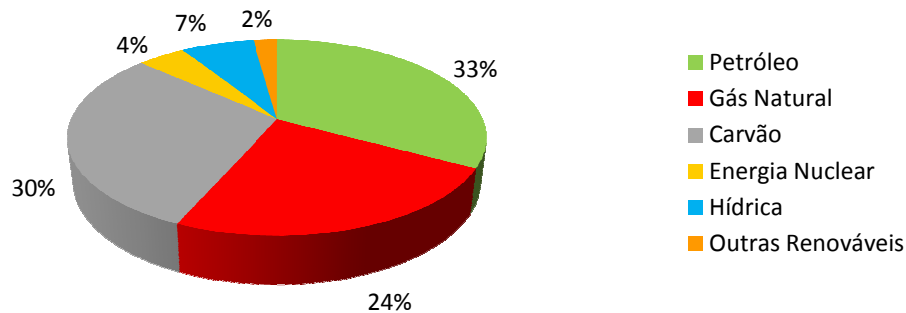


Figura 1 – Distribuição mundial do consumo de energia. Fonte: BP Statistical review of world energy.

Distribuindo os dados em percentagem verifica-se que cerca de 87% do consumo global corresponde a combustíveis fósseis e que apenas 9% ilustra as energias renováveis.



**Figura 2** – Percentagem da distribuição mundial do consumo de energia. Fonte: BP Statistical review of world energy.

Com uma matriz energética mundial tão dependente dos combustíveis fósseis, existe uma grande emissão de gases com efeito de estufa (GEE) com impacto direto no aumento da temperatura do planeta e potenciando alterações climáticas. Estas alterações refletem-se no aumento do nível médio dos oceanos por liquefação dos polos, na desertificação e diminuição da periodicidade de catástrofes naturais.

Devido aos efeitos nefastos que iriam resultar no futuro das novas gerações, tem existido uma progressiva consciencialização relativamente ao problema e adoção de soluções para o mitigar por parte da comunidade internacional. Em Dezembro de 1997 foi estabelecido um protocolo internacional entre 100 países onde foram definidas metas para a redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Este acordo internacional chamado Protocolo de Quioto fixou um compromisso de pelo menos 5% da redução das emissões de CO<sub>2</sub> equivalente em 2008-2012 em relação às emissões de 1990. Contudo, a matriz energética mundial continuou extremamente dependente da queima de combustíveis fósseis pelo que o aumento das emissões de GEE tem continuado, frustrando as pretensões deste protocolo. Com a expiração do protocolo de Quioto em 2012 já foram iniciadas as conversações para um novo acordo internacional, que parece ser difícil de alcançar, tendo em conta os acordos modestos alcançados em Copenhaga em 2009 e Cancun 2010.

Portugal é um país com poucos recursos fósseis endógenos pelo que a sua matriz energética é bastante dependente dos combustíveis fósseis do exterior. Esta dependência é bastante prejudicial à economia nacional devido à grande vulnerabilidade a que o país fica sujeito em relação às flutuações dos preços internacionais. Isto acontece porque a matriz energética mundial é composta maioritariamente por combustíveis fósseis, existindo por isso uma grande pressão nos mercados sempre que existem flutuações significativas na produção, decorrente por exemplo de guerras ou desastres naturais, ou no consumo, decorrente por exemplo de estados climáticos severos ou alterações dos ciclos económicos.

Dada esta situação, Portugal tem vindo a repensar a sua matriz energética, em particular pela maior utilização dos recursos renováveis endógenos para geração de energia. No entanto este tipo de energia tem a desvantagem de requerer elevados investimentos que só são viáveis muitas vezes através de incentivos económicos. Outra forma de diminuir a dependência dos mercados internacionais é utilizar a energia de forma mais eficiente.

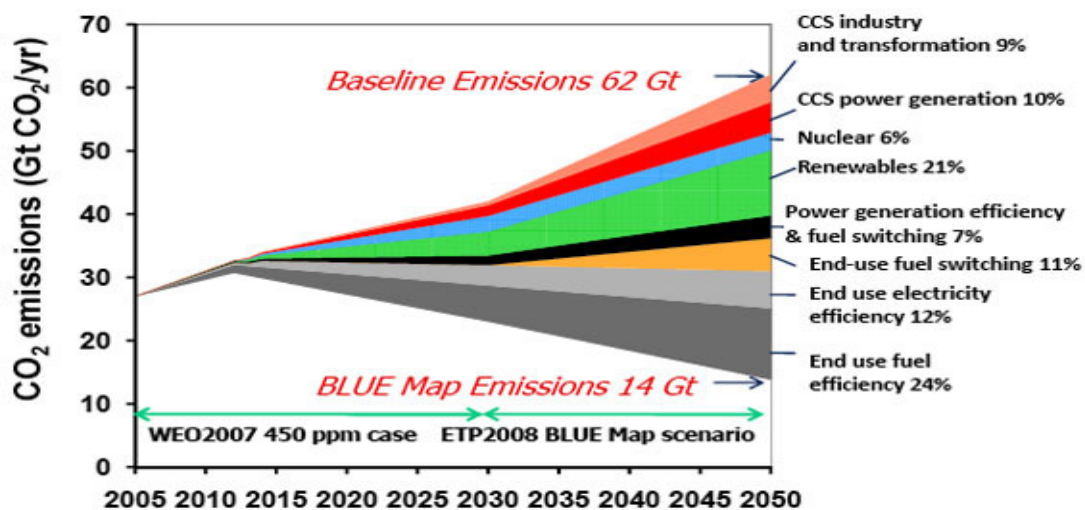


Figura 3 – Medidas para reduzir a emissão de GEE. Fonte: news.mongabay.com/climate\_energy.

Dados disponibilizados pela Agência Internacional de Energia (AIE) revelam que os investidores terão de gastar cerca de 45 biliões de dólares até 2050 para acompanhar o ritmo de crescimento do consumo de energia ao abordar as preocupações com o

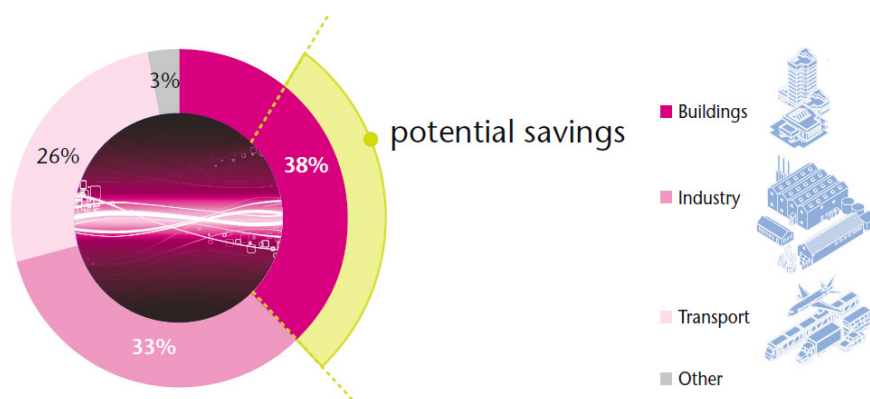
aquecimento global, sendo possível uma diminuição em pelo menos 50% na emissão de GEE no prazo até 2050, estimando-se 54% dessa diminuição realizada pela eficiência energética. A demanda por petróleo em 2050 seria de 27% abaixo do nível de 2005.

A segunda análise estratégica da política energética, divulgada no final do ano 2008 pela Comissão Europeia (CE), reafirma o compromisso na Iniciativa 20-20-20 (fonte: jornal de negócios), onde foram estabelecidas várias metas para o ano 2020:

- ✚ Redução em 20% das emissões de GEE em relação às emissões de 1990;
- ✚ Aumentar para 20% a quota das energias renováveis no consumo energético;
- ✚ Diminuir em 20% a utilização de energia primária através do aumento de eficiência energética.

De forma a corresponder aos objetivos a que o Estado Português se propôs em conjunto com outros estados membros, definiu uma nova Estratégia Nacional para a Energia (ENE), a ENE2020[4], que procura promover a utilização de energias renováveis, diminuir as emissões de GEE e aumentar a eficiência energética.

Ao nível da eficiência energética, existe um enorme potencial no sector dos edifícios, pois caso não sejam adotadas medidas, a energia utilizada em edifícios poderá ser maior que a utilizada nos transportes ou indústria.



**Figura 4** – Poupanças de energia. Fonte: Transforming the Market: Energy Efficiency in Buildings[10].

No entanto, estima-se que este aumento poderá ser contrariado em mais de 60% através de uma maior utilização de energias renováveis e através da adoção de medidas de eficiência energética. Por estes motivos, o desenvolvimento de estratégias de eficiência energética no sector dos edifícios é um tópico de investigação e desenvolvimento muito relevante no contexto atual.

## 1.2 Caso de Estudo

O Complexo de Alfragide, com início de construção em 1982 e sediado na Av. Leite de Vasconcelos, Alfragide, alberga Divisões, Órgãos e Serviços vitais à missão da Força Aérea, de entre os quais o Estado-Maior da Força Aérea (EMFA), que tem por missão, estudar, conceber e planear a atividade da Força Aérea, para apoio à decisão do Chefe do Estado-Maior da Força Aérea (CEMFA).

Este Complexo, por conter infraestruturas com grandes áreas de implantação e por albergarem um elevado número de pessoas, tendem a apresentar necessidades energéticas elevadas. Este facto fomentou o interesse pela análise de medidas de eficiência energética que visassem a diminuição do consumo de energia e consequentes gastos, sobretudo no atual contexto de restrições económico-financeiras que o país atravessa.

O objetivo deste trabalho passa por identificar o potencial de medidas que promovam a utilização dessa energia de forma mais racional, bem como o potencial de investimento de propostas para implementação de novos equipamentos ou miniprodução solar nos edifícios intervencionados. Esta análise deverá permitir quantificar o impacto económico e energético gerado pelas medidas de eficiência energética.

Os edifícios em estudo são destinados a serviços administrativos e de apoio, nomeadamente cozinha e refeitórios. A auditoria tem como principais objetivos:

- ✚ Determinação dos consumos energéticos;

- ✚ Determinação de oportunidades de racionalização de energia;
- ✚ Avaliação do estado dos equipamentos e sua manutenção;
- ✚ Estudo de medidas de melhoria e correção (Plano de Racionalização de Energia);

A auditoria representa sempre uma fotografia relativa ao período da sua execução, e entende-se como um exame detalhado das condições de utilização de energia nos edifícios. Para analisar a forma como a energia é utilizada é necessário:

- 1º) Processar a informação das faturas do Complexo para perceber qual o peso das necessidades energéticas (eletricidade e gás natural) e o seu contributo para os custos de funcionamento, tendo acesso aos perfis diários de consumos;
- 2º) Caracterizar os sistemas energéticos existentes para a conversão destas formas de energia em energia final, o seu estado de conservação, rendimentos de conversão e os respetivos planos de manutenção;
- 3º) Verificar se estão satisfeitas as condições de conforto pretendidas;
- 4º) Avaliar os consumos energéticos específicos de cada utilização final e/ou de cada sector do edifício (iluminação, aquecimento, ventilação, cozinha, etc.);
- 5º) Estudar potenciais medidas para racionalização de energia, determinando indicadores económicos que permitem analisar o potencial do investimento.

### **1.3 Estrutura da Tese**

O relatório está dividido em 8 capítulos. Após este primeiro capítulo de introdução, é efetuada a revisão bibliográfica no capítulo 2 e no capítulo 3 faz-se a descrição dos edifícios analisados. No capítulo 4 determinam-se indicadores de eficiência energética e no capítulo 5 descrevem-se os conceitos teóricos utilizados na construção do modelo para simulação dinâmica, bem como a metodologia utilizada, e análise dos resultados. No capítulo 6 é determinada a classe energética e no capítulo 7, define-se um plano com várias medidas de racionalização de energia. Por fim, no capítulo 8, são apresentadas as principais conclusões e descritas as referências bibliográficas.

## 2. Revisão Bibliográfica

Em Portugal, fruto da sequência das políticas europeias, têm vindo a ser implementados vários instrumentos políticos para promoção da eficiência energética em edifícios.

### 2.1 Legislação nacional de energia em edifícios

- **SCE**

O sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), definido pelo **Decreto-Lei nº 78/2006**, de 4 de Abril, tem como objetivo certificar o desempenho energético e qualidade do ar interior nos edifícios, assegurar as exigências impostas pelo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RCCTE) e do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RSECE) e identificar medidas de correção ou melhoria dos sistemas energéticos existentes no edifício relativamente a problemas construtivos que prejudicam a habitabilidade do edifício.

- **RSECE**

O **Decreto-Lei nº 79/2006**, de 4 de Abril, tem como principal objetivo assegurar a eficiência energética dos edifícios de serviços impondo limites máximos ao consumo de energia em todo o edifício. Esta eficiência energética é assegurada fundamentalmente através da introdução de limites de potência de climatização tentando assim evitar sobredimensionamentos que estavam a começar a ser prática comum. Para além das necessidades térmicas máximas impostas pelo RCCTE, o RSECE obriga a existir valores mínimos de renovação do ar e estabelece limites para a concentração de algumas substâncias poluentes.

- **RCCTE**

O **Decreto-Lei nº 80/2006**, de 4 de Abril, tem como objetivo salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico dos edifícios sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno quer no Verão.

Este regulamento abrange os edifícios de habitação e os pequenos edifícios de serviços, desde que a potência de climatização seja inferior a 25kW. O edifício de serviços tem de possuir uma área útil menor que 1000m<sup>2</sup>. Caso seja um centro comercial, hipermercado, supermercado ou piscina coberta deverá ser menor que 500m<sup>2</sup>.

- **ECO.AP**

No âmbito do ENE2020, definiu-se então o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública, Eco.AP[7], pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 2 de 2011 de 12 de Janeiro, com o propósito de aumentar em 20% a eficiência energética dos serviços públicos, equipamentos e organismos da Administração Pública. Este programa possui também a responsabilidade de gerir e averiguar as medidas de eficiência energética aplicadas na Administração Pública, divulgar os consumos energéticos de todos os edifícios e serviços e ainda adotar medidas para o ministério que apresenta maiores consumos. Por fim tem a responsabilidade de iniciar todos os processos de intervenção até 2013.

- **Miniprodução**

Como foi referido anteriormente uma das metas da EU para 2020 é que as Renováveis deverão ter um peso de 20% na produção de energia elétrica. Assim, no desenvolvimento da ENE determinou-se o acesso à atividade de miniprodução de energia elétrica, tendo sido esta regulamentada pelo Decreto-Lei nº 34/2011, de 8 de Março. A miniprodução de energia é uma pequena atividade de produção de energia elétrica que para além de permitir o autoconsumo, permite ao produtor vender a totalidade dessa eletricidade à rede elétrica com uma tarifa bonificada. No entanto, estabelece várias regras como a miniprodução não poder exceder 50% da potência contratada para consumo com o comercializador.

## **2.2 Consumo de energia em edifícios da Administração Pública**

Estes edifícios são constituídos por serviços com um ambiente de trabalho particular. Geralmente, o horário de funcionamento inicia-se de manhã cedo e termina no final da tarde. No entanto, não existe uma utilização regular de algumas das divisões ocupadas (e.g., instalações sanitárias, salas de reuniões, oficinas ou salas de refeições). O uso eficiente da energia nestes edifícios está dependente de uma gestão correta das instalações e de uma manutenção qualificada. Além disso, os fatores nos quais esta eficiência se deve basear são a estrutura do edifício, a iluminação, o uso de equipamentos, os sistemas de aquecimento e a densidade ocupacional das divisões dos edifícios.

De acordo com o SCE, todos os novos edifícios são obrigados a uma certificação energética, bem como qualquer reconstrução que ultrapasse 30% do valor do mesmo. Tal medida implica estudos meticolosos do desempenho energético e a uma preocupação por parte dos gestores dos edifícios, visto que são aplicadas sanções às baixas classificações energéticas.

Infelizmente, principalmente em países subdesenvolvidos, existem alguns exemplos da negligência relativamente a esta questão. A título de exemplo, existem na Argentina algumas das cidades mais recentes e de crescimento rápido, nas quais a percentagem de população jovem tem acentuado aumento e como tal, o consumo de energia também está a aumentar (e.g., em Santa Rosa). Ainda assim, medidas para promover a sensibilização e a preocupação com a eficiência energética nas escolas não foram implementadas, o que pode transformar-se num problema para o futuro.

Estão a ser realizados estudos relacionados com a Análise de Ciclo de Vida (LCA) dos edifícios, chegando a conclusões de que a fase de construção pode corresponder a 32% da energia consumida, 30% das emissões de CO<sub>2</sub>, 24% do consumo de materiais, de 30 a 40% da gestão de resíduos sólidos e 17% do consumo de água potável. Números desta dimensão são uma chamada de atenção, uma vez que a eficiência energética depende não

só do comportamento dos habitantes ou do estado do edifício, mas também da forma como é construído.

As medidas a serem implementadas pela administração dos edifícios para melhorar o desempenho ambiental devem almejar bons níveis de rentabilidade. Entre aquelas com melhor aspeto económico encontra-se a melhoria dos sistemas de climatização e de iluminação. Por outro lado, uma das menos atrativas é a instalação de sistemas solares para compensar as necessidades elétricas, o que é justificado pelos valores elevados do investimento inicial que esta tecnologia acarreta. Ainda assim, tais medidas devem ser encorajadas, não só porque podem ser associadas a medidas de poupança de custos, que diminui o período de recuperação de investimento, mas também porque tecnologias sustentáveis podem inspirar os mais jovens a ter interesse na preservação do ambiente.

### **2.3 Sistema de Certificação de Edifícios**

Para a verificação dos requisitos de eficiência energética, a auditoria energética ao edifício existente começa por uma simples análise das faturas energéticas dos últimos 3 anos. Essa análise implica o cálculo de um Indicador de Eficiência Energética (IEE) real, convertendo a média do consumo de energia anual em energia primária dividida pela área útil de pavimento<sup>1</sup>. O valor do IEE real não deve exceder o valor de referência para a tipologia em causa (edifícios existentes, tipo de atividade, conforme Anexos X e XI do RSECE). Estes valores de referência para cada tipologia foram obtidos pelos valores indicados no Decreto-Lei n° 79/2006 de 4 de Abril.

Caso as condições anteriores não se verifiquem, ou seja  $IEE_{real} > IEE_{referência}$ , será necessário calcular o IEE nas condições nominais de utilização ( $IEE_{nominal}$ ). O cálculo em condições nominais torna necessário o recurso a uma simulação dinâmica detalhada,

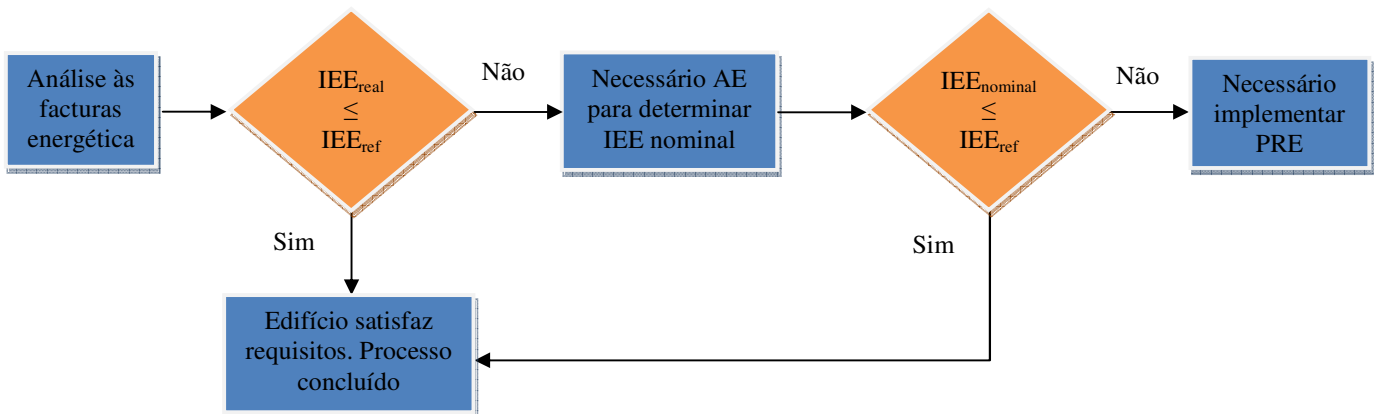
---

<sup>1</sup> Soma das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior das paredes, dos compartimentos de uma fração autónoma de um edifício. Inclui vestiários, corredores, arrumos, instalações sanitárias e outros compartimentos de função similar.

utilizando para o efeito um *software* acreditado nos termos da norma *ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 – Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Program*.

Para o cálculo do IEE nominal é necessário adotar padrões de referência de utilização dos edifícios (RSECE, Anexo XV). Os padrões de referência dizem respeito à ocupação, equipamentos e iluminação. A simulação deve ser efetuada com temperaturas interiores de 20°C para o regime de aquecimento e de 25°C para o regime de arrefecimento. Para além dos padrões de referência indicados no regulamento, é necessário ter em conta vários outros aspetos, entre eles caudais de ar e sistemas de climatização.

Caso o indicador de eficiência calculado nas condições anteriores seja inferior ao valor de referência ( $IEE_{nominal} < IEE_{referência}$ ), o processo de verificação termina e pode ser emitido o respetivo certificado nos termos do SCE. Se se verificar o oposto, seja  $IEE_{nominal} > IEE_{referência}$ , é necessário a elaboração de um Plano de Racionalização Energética (PRE), com o objetivo de reduzir o consumo específico e estes ficarem abaixo dos limites máximos.



**Figura 5** - Metodologia para determinação do IEE[3].

A realização do PRE não dispensa o recurso a métodos de simulação dinâmica para determinar o impacto de cada uma das medidas e a viabilidade económica. Após a aplicação do PRE na simulação chega-se a um IEE nominal final, recorrendo aos perfis

standard previamente aplicados (RSECE, Anexo XV). No seguimento da verificação regulamentar existem diferentes tipos de IEE.

Tipo IEE	Designação	Como se determina?	Para que serve?
IEE <sub>real, faturas</sub>	IEE real obtido pelas faturas	Por análise simples das faturas energéticas (últimos 3 anos de registos), sem correção 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 correção 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 correção 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 edifícios 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 1** – Diferença entre os vários tipos de IEE's existentes [13].

## 2.4 Caracterização de Auditoria Energética

A auditoria energética pretende ser um exame detalhado das condições de utilização de energia nos edifícios em estudo. O seu objetivo principal é identificar e quantificar os fluxos de energia utilizados (eletricidade, tipos de combustíveis, etc.), caracterizar os sistemas existentes para a conversão destas formas de energia em energia final e avaliar as necessidades energéticas específicas de cada utilização e/ou de cada sector do edifício (iluminação, aquecimento, ventilação, cozinha, etc.).

A condução da auditoria energética foi um processo que envolveu algumas tarefas por ordem e sequência, que foram desde a análise detalhada das faturas de energia dos últimos três anos (normalmente utilizam-se os 3 últimos anos), passando pela análise física detalhada das condições construtivas do edifício, aos equipamentos geradores/consumidores de energia térmica e elétrica existentes na instalação, as suas condições de operação e controlo, assim como os cuidados de manutenção e respetivo plano de intervenção e, como conclusão, as medidas tomadas por forma a otimizar o funcionamento da instalação e a respetiva redução dos consumos energéticos e dos custos de exploração inerentes.

Deste modo, o seu objetivo é fornecer informações específicas e identificar as possibilidades reais de economias de energia, consistindo basicamente num exame crítico da forma como é utilizada a energia e respetivos custos de exploração. De uma forma resumida, poder-se-á dizer que a auditoria energética teve como objetivos:

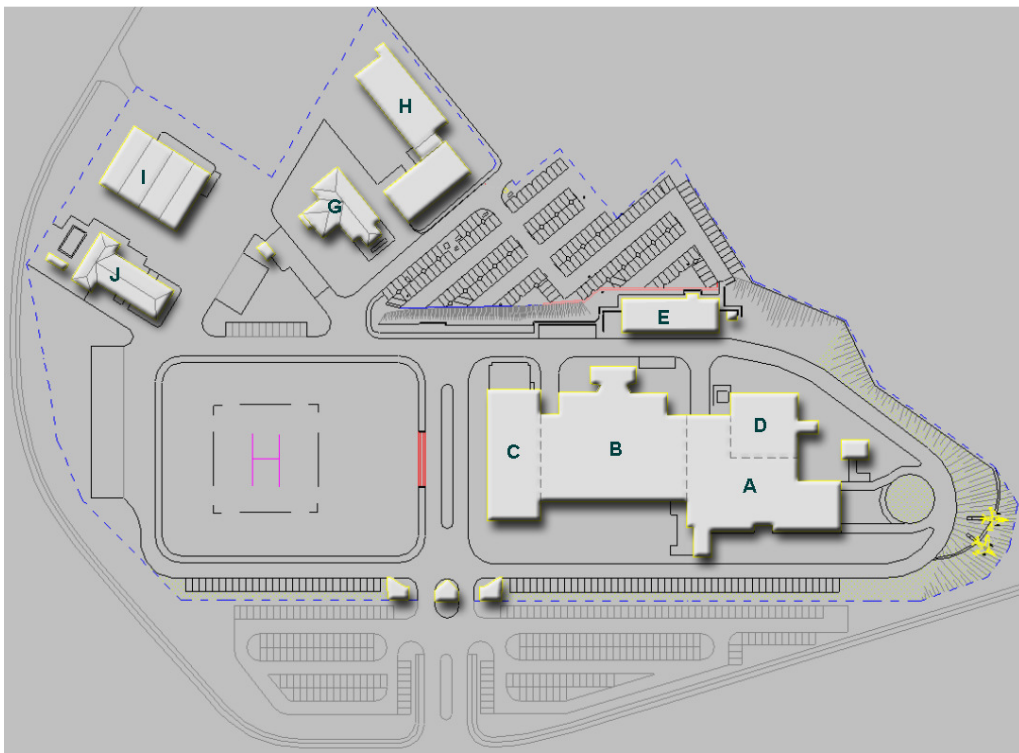
- ✚ Quantificar os consumos e custos por forma de energia;
- ✚ Determinar os consumos de energia pelos principais usos finais (aquecimento, arrefecimento e outros), realizando o respetivo balanço energético;
- ✚ Identificar situações de desperdício de energia;
- ✚ Verificar existência e cumprimento do Plano de Manutenção;
- ✚ Propor a implementação de sistemas organizados de gestão de energia e de controlo e monitorização das instalações ou equipamentos;

- ✚ Propor medidas corretivas integradas no PRE e analisar técnica e economicamente as soluções encontradas.

O balanço energético das instalações permitirá obter uma desagregação do consumo de energia para os vários sectores ou utilizações finais. É realizado na base anual, relacionando as formas de energia comercial utilizadas no edifício (eletricidade e combustíveis) com as diferentes utilizações finais (aquecimento e arrefecimento ambiente, ventilação, iluminação, águas quentes sanitárias, cozinha, e outros). Deste modo será possível saber quanta energia e que forma de energia se consome para as várias utilizações, caracterizando assim o consumo energético do edifício.

### 3. Descrição dos edifícios

O Complexo de Alfragide, situado no concelho de Lisboa, é constituído por nove edifícios, na sua maioria administrativos, sendo que alguns deles não fazem parte desta auditoria. Os edifícios A e D foram os seleccionados, pelo que na seleção esteve em consideração o agrupamento existente dos consumos.



**Figura 6** – Planta geral do Complexo de Alfragide. Fonte: CLAFADA/DI.

Os edifícios de acordo com dados do projeto de licenciamento terão mais de 30 anos de idade, e foram sofrendo melhorias sucessivas ao longo do tempo, nomeadamente um reforço das proteções solares e pinturas. No seu interior tem havido sucessivas obras de adaptação em função das necessidades orgânicas de funcionamento. Os edifícios são servidos por um parque de estacionamento exterior e um parque interior. Existe uma central térmica, identificada por edifício E, para produção de frio e calor.

Edifício	Atividade	Nº de Pisos	Área coberta (m <sup>2</sup> )	Climatização	Consumo AQS
A	Administrativo	7	2147	Sim	Não
B	Administrativo	7	1877	Sim (exceto pisos 1 e 3)	Não
C	Administrativo	7	1341	Sim (exceto pisos 1, 2 e 3)	Não
D	Cozinha e Messes	4	1226	Sim	Sim
E	Central Elétrica	1	456	Não	Não
G	Oficina Automóveis	1	1205	Não	Não
H	Administrativo e Alojamentos	4	995	Só aquecimento	Sim
I	Administrativo	2	858	Sim	Sim
J	Alojamentos	4	458	Só aquecimento	Sim

**Tabela 2** – Caracterização dos Edifícios do Complexo de Alfragide. Fonte: DI e UAL.

O sistema centralizado de climatização e ventilação dos edifícios A e D é o mais antigo ainda em funcionamento, sendo o dos edifícios B e C instalado em 2012, que contudo ainda está em fase de conclusão.

### 3.1 Descrição do Edifício A

Trata-se de um edifício com área total de 15.029 m<sup>2</sup>, composto por 7 pisos de escritórios. Construído na década de 80, é do tipo de infraestruturas de comando e administração, onde trabalham diariamente cerca de 330 pessoas, que corresponde aproximadamente a 30 % do total no Complexo.



**Figura 7** – Interior do edifício A e hall de entrada.

Na organização funcional é de realçar a centralidade dos serviços administrativos, salas de reunião e biblioteca, conferindo-lhes um estatuto de respeitabilidade, enquanto em termos construtivos. Este tipo de edifício destaca-se por apresentar paredes, divisões e portas com dimensões relativamente elevadas. Devido à orientação do edifício, a fachada frontal nunca apanha sol, pelo que nos outros dois lados, existe proteção solar exterior fornecida por lâminas fixadas horizontalmente (sombreamento).



**Figura 8** – Vista exterior do edifício A com o pormenor das proteções solares.

### 3.2 Descrição do Edifício D

Construído também na década de 80, é do tipo de infraestruturas de apoio, composto por 4 pisos, sendo um piso para a cozinha, e os restantes para os bares e refeitórios, com capacidade para 520 pessoas. Na cozinha trabalham diariamente cerca de 25 pessoas.



**Figura 9** – Vista da cozinha.

Na organização funcional é de realçar os bares, refeitórios e cozinha. Em termos construtivos este tipo de edifício destaca-se também por apresentar paredes, divisões e portas com dimensões relativamente elevadas.



**Figura 10** – Vista exterior do edifício D.

## **4. Indicador de Eficiência Energética**

O IEE é calculado a partir da média dos consumos de energia de um edifício durante os últimos 3 anos, convertido em energia primária. É também designado por Consumo Específico, e tem como função verificar se um determinado edifício de serviços cumpre os requisitos de eficiência energética estabelecidos pelo RSECE e para determinar a classe de desempenho no âmbito do SCE.

### **4.1 IEE de referência**

Os edifícios alvo de estudo enquadram-se como sendo um “Grande Edifício de Serviço Existente” tendo uma área útil superior a 1000 m<sup>2</sup>, segundo a alínea b do art.º 27 do capítulo IX do RSECE. Em função do tipo de atividade e tipologia do edifício é encontrado um valor máximo para o consumo total efetivo. Este valor máximo intitula-se por valor limite de referência para edifícios existentes.

O valor limite do IEE para efeitos de verificação da necessidade de um PRE, e classificação energética do mesmo, é feito pelo quadro “Valores de referência limite dos consumos nominais específicos dos novos edifícios de serviços” (Anexo XI do RSECE), onde estão também inseridos os valores de IEE apontados para espaços complementares (estacionamento, cozinhas, lavandarias e armazéns). O quadro do anexo XI apresenta os valores limite do IEE que traduzem os consumos de energia efetiva anuais convertidos em energia primária, associados a diferentes tipologias. Os valores apresentados como IEE de referência para as diversas tipologias foram obtidos com base em dados estatísticos sobre o consumo de energia em edifícios, provenientes de um inquérito promovido pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).

O edifício A tem como propósito ser um espaço administrativo, incorporando a atividade dos serviços em escritórios e gabinetes. Por outro lado, o edifício D tem a função de ser uma estrutura de apoio, dotado de uma cozinha para a preparação de refeições diárias,

incluindo almoço e jantar. Em edifícios que incluem mais que uma tipologia, o IEE deve ser ponderado em função das áreas úteis respectivas, a partir dos valores de referência, de cada tipo de espaço.

$$IEE_{ref,ponderado} = \frac{IEE_{ref,gabinetes} \times A_1 + IEE_{ref,refeitório} \times A_2 + IEE_{ref,bar} \times A_3 + IEE_{ref,cozinha} \times A_4 + IEE_{ref,arrumos} \times A_5}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}$$

**Equação 1** – Determinação do IEE de referência ponderado.

A<sub>1</sub> – área útil de pavimento da tipologia “Escritórios”

A<sub>2</sub> – área útil de pavimento da tipologia “Restaurantes”

A<sub>3</sub> – área útil de pavimento da tipologia “Pastelarias”

A<sub>4</sub> – área útil de pavimento da tipologia “Cozinhas”

A<sub>5</sub> – área útil de pavimento da tipologia “Armazéns”

O valor encontrado segundo esta regra intitula-se de IEE de referência ponderado.

Tipologia	IEE <sub>ref</sub>	Área útil
IEE <sub>gabinetes</sub> (Escritórios)	35	14.490
IEE <sub>refeitório</sub> (Restaurantes)	120	781
IEE <sub>bar</sub> (Pastelarias)	140	758
IEE <sub>cozinha</sub> (Cozinhas)	121	432
IEE <sub>arrumos</sub> (Armazéns)	15	3.451

**Tabela 3** – Dados para determinação do IEE de referência ponderado. Fonte: anexo XI do RCESSE.

A área útil (A<sub>p</sub>) utilizada para o cálculo, corresponde à área útil de pavimento de acordo com a definição no RCCTE, anexo II, Definições. Esta diz-nos que:

g) «Área útil de pavimento» é a soma das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior das paredes, de todos os compartimentos de uma fração autónoma de um edifício, incluindo vestíbulos, circulações internas, instalações sanitárias, arrumos interiores e outros compartimentos de função similar e armários nas paredes.»

Tendo em conta a equação 1, e os valores em referência indicados no anexo XI do RCESE, obtém-se o IEE de referência ponderado:

**IEE<sub>ref</sub> ponderado: 40,73 kgep/m<sup>2</sup>.ano**

## 4.2 IEE real

A primeira abordagem na verificação dos requisitos de eficiência energética de grandes edifícios de serviço existentes no âmbito do RSECE, para efeitos de comparação, consiste na análise das faturas energéticas do edifício, tendo como objetivo determinar o IEE real dos edifícios em estudo.

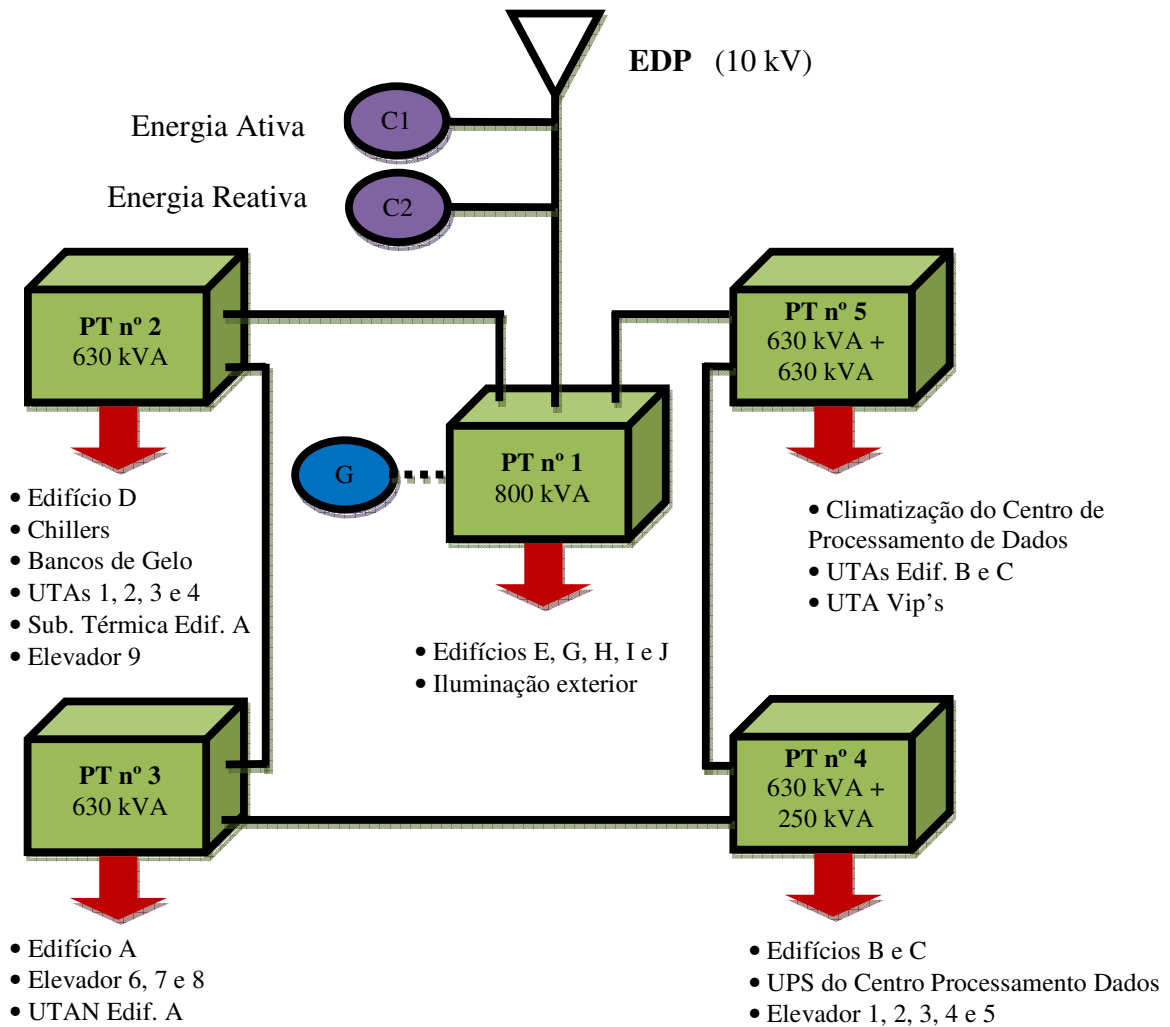
É de notar que nesta fase determinar-se-á o IEE de forma simplificada, i.e. sem ter em consideração a aplicação do fator de correção climático do consumo de energia de aquecimento e arrefecimento.

### 4.2.1 Energia Elétrica

Através de um ramal da distribuidora EDP em média tensão (10 kV), é alimentada a estrutura de distribuição de eletricidade no Complexo de Alfragide, recorrendo a um anel em média tensão que alimenta 5 postos de transformação (PT), sendo que cada um deles alimenta uma determinada zona. Atualmente o anel encontra-se interrompido entre o PT3 e o PT4, através dos seccionadores. A entrada principal do fornecedor é efetuada no PT1, como ilustrado na figura 11.

Da saída do PT, no quadro geral de baixa tensão (QGBT), a energia elétrica é distribuída pelos vários quadros elétricos parciais (QEP), um em cada piso dos edifícios. No caso do edifício A, cada piso dispõe de um QEP e também de um quadro elétrico auxiliar (QEA),

este último dedicado para alimentação elétrica de determinado grupo de ventiloconvectores do piso correspondente.



**Figura 11** – Distribuição da energia elétrica. Fonte: CLAFADA/DI e UAL.

Apesar de a auditoria ser restringida a determinados edifícios, fez-se o levantamento das cargas de cada posto de transformação, de modo a poderem ser desagregados os consumos de eletricidade.

#### 4.2.1.1 Tarifário

A instalação possui um único contador de energia elétrica, situado no PT1, realizando a contagem em Média Tensão (MT). O contrato de fornecimento de energia elétrica, atualmente celebrado com a empresa EDP, Distribuição S.A., é caracterizado da seguinte forma:

- ✚ Tarifa do Contrato: Energia + Redes (em MT);
- ✚ Ciclo: FER – Ciclo Semanal com Feriados;
- ✚ Horário: Longas Utilizações, Tetra-horária.

Para efeitos de faturação, tem de ser considerada a potência tomada, a qual é o maior valor da potência ativa média, registado em qualquer período ininterrupto de 15 minutos, durante o intervalo de tempo a que a fatura respeita.

Potência contratada	1,4270 €/kW mês
Potência em horas de ponta	8,7520 €/kW mês

**Tabela 4** – Preços de potência. Fonte: Fatura EDP de NOV2013.

A potência contratada é o valor atualizado para a máxima potência tomada, registada nos 12 meses anteriores, incluindo o mês a que a fatura respeita. A potência contratada por ponto de energia, para um cliente em MT não pode ter um valor, em kW, inferior a 50% da potência instalada, em kVA, medida pela soma das potências nominais dos transformadores relativos ao ponto de entrega. Na realidade a potência tomada não é faturada, no entanto é a partir desta que é determinada a potência contratada.

A potência em horas de ponta ( $P_p$ ) é a potência ativa média calculada de acordo com a equação 2, sendo a razão entre a energia ativa no ponto de medição em horas de ponta ( $E_p$ ), durante o intervalo de tempo a que a fatura respeita, e o número de horas de ponta ( $H_p$ ), durante o intervalo de tempo a que a fatura respeita.

$$P_p = \frac{E_p}{H_p} [kW]$$

**Equação 2** – Determinação da potência em Horas de Ponta. Fonte: EDP.

O tarifário está dividido em diversos horários, sendo o período de Inverno de 01 de Janeiro a 31 de Março e 01 de Outubro a 31 de Dezembro, e o de Verão de 01 de Abril a 30 de Setembro.

ciclo diário transitório

	horário de <b>Inverno</b>	horário de <b>Verão</b>
ponta	das 09:30 às 11:30	das 10:30 às 12:30
	das 19:00 às 21:00	das 20:00 às 22:00
cheias	das 08:00 às 09:30	das 09:00 às 10:30
	das 11:30 às 19:00	das 12:30 às 20:00
	das 21:00 às 22:00	das 22:00 às 23:00
	das 22:00 às 02:00	das 23:00 às 02:00
vazio normal	das 06:00 às 08:00	das 06:00 às 09:00
	das 02:00 às 06:00	das 02:00 às 06:00
supervazio	das 02:00 às 06:00	das 02:00 às 06:00

**Figura 12** – Períodos de tarifários. Fonte: EDP/Tarifas e Horários.

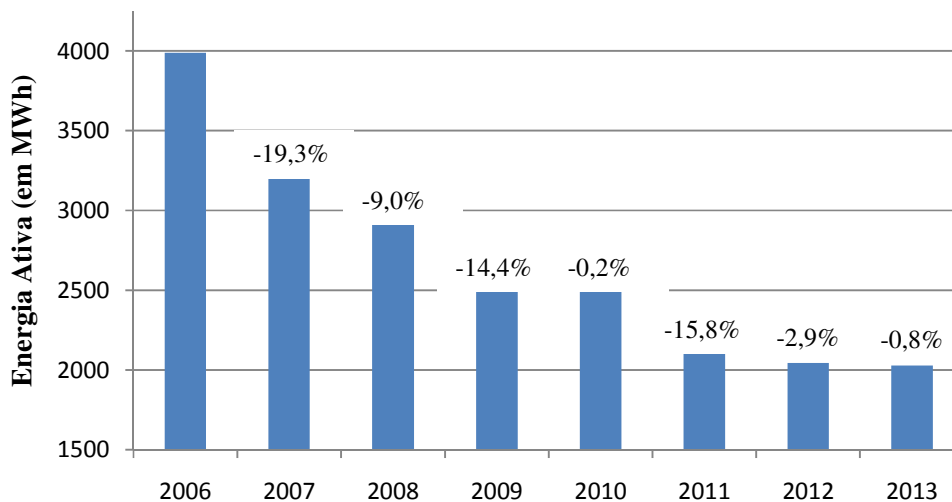
O tarifário de energia é dividido em energia reativa e energia ativa, sendo este último subdividido em energia ativa e redes de energia ativa:

Período trimestral	Energia Ativa + Redes Energia Ativa (€/kWh)				Energia Reativa (€/kvarh)	
	Vazio normal	Super vazio	Ponta	Cheia		
I	<b>0,0750</b>	<b>0,0709</b>	<b>0,1013</b>	<b>0,0954</b>	Fornecida pela rede (indutiva)	<b>0,0311</b>
II	<b>0,0751</b>	<b>0,0713</b>	<b>0,1011</b>	<b>0,0955</b>		
III	<b>0,0751</b>	<b>0,0713</b>	<b>0,1011</b>	<b>0,0955</b>	Fornecida à rede (capacitiva)	<b>0,0176</b>
IV	<b>0,0750</b>	<b>0,0709</b>	<b>0,1013</b>	<b>0,0954</b>		

**Tabela 5** – Preço de tarifas. Fonte: faturas de 2013.

#### 4.2.1.2 Consumos

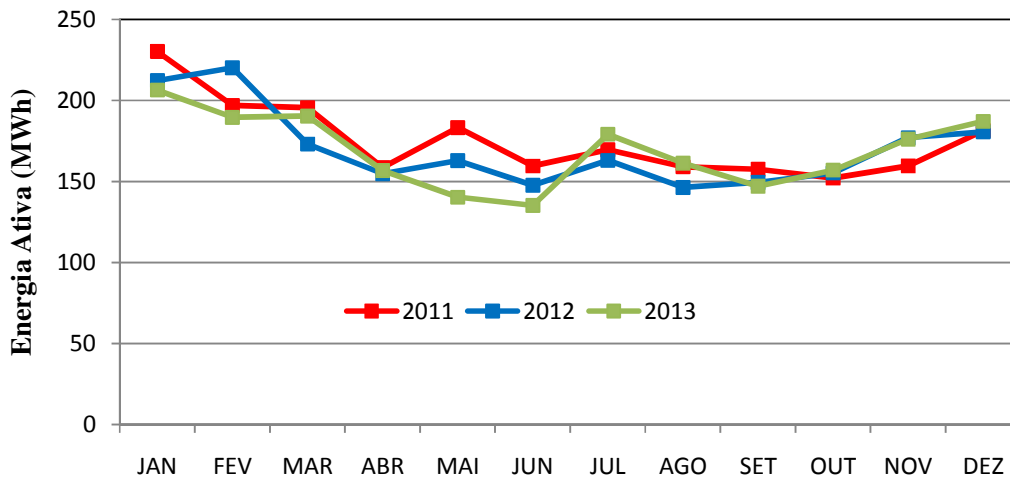
Tendo acesso à base de dados dos consumos do Complexo desde o ano de 2006, é possível elaborar diagramas de carga da instalação, ou em caso de dúvida por consulta através do serviço *on-line* da EDP.



**Figura 13** – Evolução dos consumos de energia elétrica. Fonte: EDP.

Do diagrama obtido acima é notoriamente visível a redução de 2007 para 2013, pelo que se conclui existir a preocupação na redução dos consumos, apesar das estruturações que se têm verificado. A redução notada em 2009 deve-se muito possivelmente à substituição de alguns sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) obsoletos, por outros de maior eficiência, e o decréscimo acentuado no ano 2011 pelo facto da redução do tempo de funcionamento dos sistemas de climatização, e também pela substituição da maioria dos balastos das luminárias, de eletromagnéticos por eletrónicos. Por outro lado, tem-se verificado a extinção de um número considerável de fotocopiadoras, assim como a redução de alguns postos de trabalho.

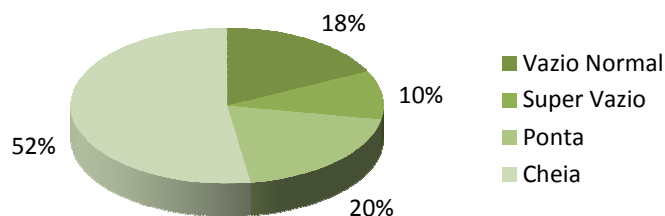
Por forma a minimizar as variações climáticas registadas nos diferentes anos, o RSECE estabelece o cálculo do IEE real com base na média dos consumos dos últimos 3 anos.



**Figura 14** – Evolução dos consumos de energia elétrica dos últimos 3 anos. Fonte: faturas de energia elétrica.

No ano de 2013 verifica-se um ligeiro aumento dos consumos nos meses mais quentes e frios do ano, ou seja, o aumento do consumo devido à climatização dos espaços, claro está que é sempre dependente da estação climática verificada nesse ano. Nos meses de Maio e Junho do mesmo ano verifica-se um maior aproveitamento dos recursos naturais pois os consumos nesses meses diminuíram, devido possivelmente a um maior aproveitamento da luz natural, ou a um ajuste mais fino no horário de funcionamento dos diversos equipamentos.

Da média dos últimos 3 anos, interessa separar os consumos pelas tarifas em vigor, para identificar o horário onde se regista o maior consumo:

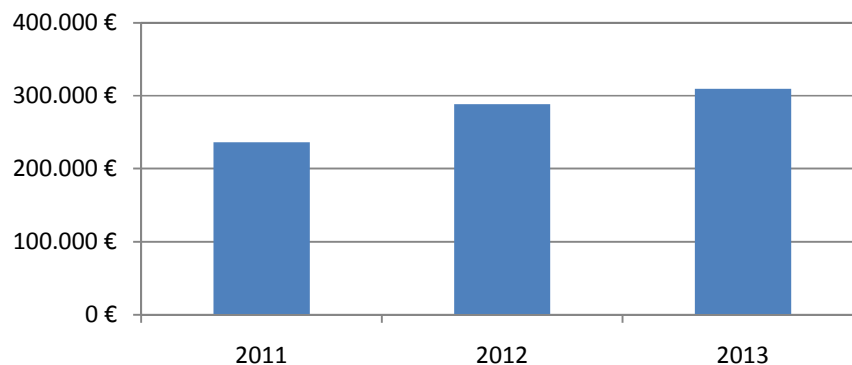


**Figura 15** – Consumo médio dos últimos três anos, dividido pelos quatro horários.

Verifica-se que das quatro tarifas aplicadas, a que representa maior utilização é de facto a de Horas Cheias, logicamente porque é aquela que apesar de ter um maior número de horas face aos outros horários, é a que mais se encaixa com o horário normal de funcionamento dos serviços, i.e., das 08h45 às 16h45. Atualmente o horário de funcionamento é das 08h30 às 17h30, o que equivale dizer que representa um possível aumento nos consumos, pelo alargamento do tempo de funcionamento dos equipamentos e iluminação.

#### 4.2.1.3 Custos

Por outro lado, o custo com a energia elétrica, para todo o Complexo de Alfragide, tem vindo a aumentar, consecutivamente, resultado da influência da subida das taxas aplicadas pela distribuidora.



**Figura 16** – Custo anual da energia elétrica. Fonte: EDP, faturas de energia elétrica.

Os valores com o custo global de energia elétrica, aumentaram 72.816,57€, cerca de 31% de 2011 a 2013, mas por outro lado, os encargos com a energia reativa são muito diminutos quando comparados com os valores apresentados anteriormente, andando o valor pouco acima dos 30€ anuais.

Por outro lado isso querará dizer que as baterias de condensadores situadas em cada PT, com a função fundamental de compensar o fator de potência, estão em bom estado de funcionamento. A compensação do fator de potência, consiste em, localmente, na própria

instalação consumidora, “produzir” a potência reativa necessária ao funcionamento da mesma com um fator de potência “aceitável”<sup>2</sup>.

#### 4.2.1.4 Desagregação dos Consumos

Como já anteriormente referido, a contagem de energia elétrica para faturação é efetuada apenas por um contador, localizado na entrada de energia elétrica, no PT1. Como as faturas correspondem ao consumo total no Complexo de Alfragide, torna-se necessário efetuar uma desagregação dos consumos, por consumidor ou conjunto de consumidores.

Por forma a estimar os consumos dos edifícios A e D, i. e., identificar qual o peso do consumo total em cada edifício, sabendo que cada um dos PT’s alimenta uma determinada zona do Complexo, efetuaram-se diversas medições através de um analisador de redes, sendo efetuadas medições em períodos de uma semana, no período de Inverno e de Verão.



**Figura 17** – Analisador de redes registando os dados, ligado na parte baixa do QGBT do PT n° 2.

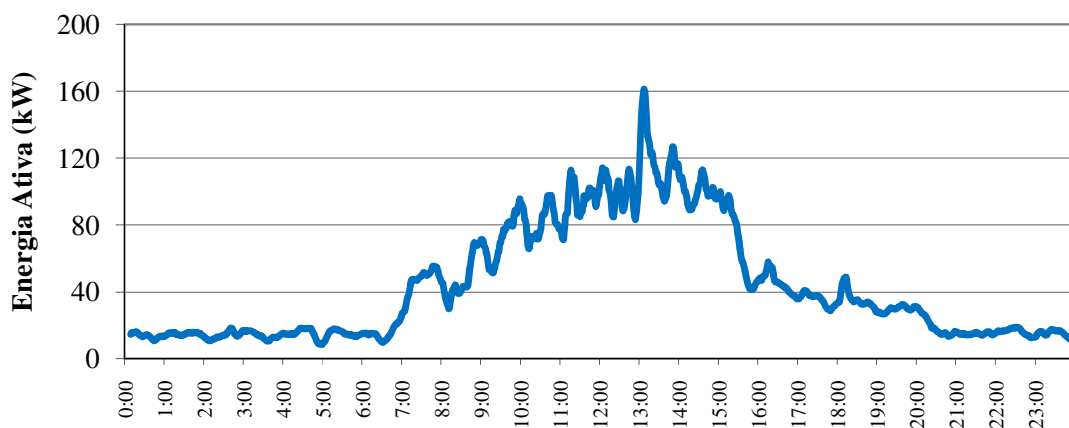
---

<sup>2</sup> Parte da potência reativa necessária ao funcionamento da carga, deixa de ser fornecida pelo distribuidor, para ser fornecida por baterias de condensadores (condensadores porque, tipicamente, as cargas industriais, impõem fatores de potência indutivos, como consequência da presença de motores de indução) instaladas junto à referida carga, e que são propriedade do consumidor.

Observou-se que, consoante a aquisição de dados, e através de leituras consecutivas, existe um padrão de consumo bem definido em todos os PT's, e em todos eles confirmou-se que o fator de potência era muito próximo de 1. Foram separados os respetivos dados referentes ao perfil de inverno e de verão. São apresentados os registos dos PT's 2 e 3, os quais abastecem de energia elétrica os edifícios alvo de estudo, os dados registados dos restantes PT's encontram-se no anexo 1.

### ➤ Posto de Transformação 2

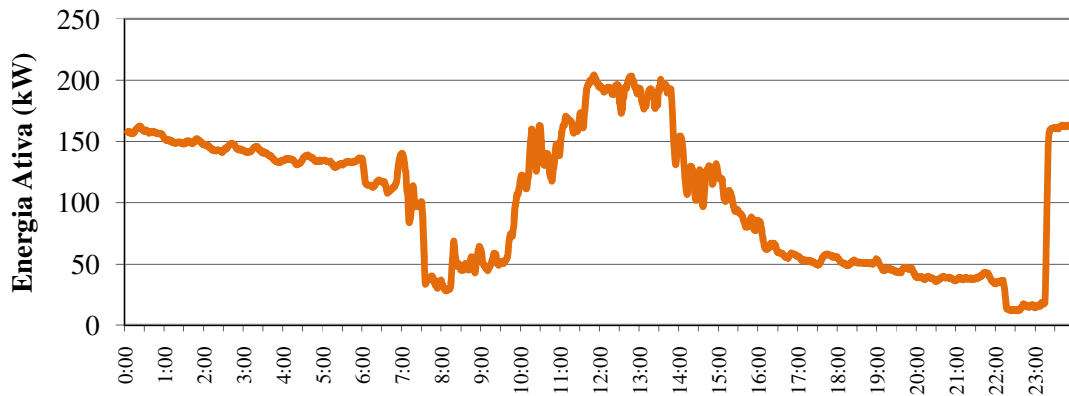
Este posto de transformação, além de alimentar os *chillers* e as subestações de climatização dos edifícios A e D, é também responsável pelo abastecimento de energia elétrica a quatro Unidades de Tratamento de Ar (UTA) e aos equipamentos da cozinha, bares e refeitórios, na qual a potência elétrica instalada é significativa, e portanto essencial a sua análise detalhada.



**Figura 18** – Consumo de eletricidade num dia típico de inverno.

Dos resultados tidos no período de inverno, verifica-se que o pico de consumo é aproximadamente às 13h00, com um valor cerca de 160kW, por ser a hora em que mais ocupantes se encontram no refeitório ou no bar, essencialmente pelo uso dos micro-ondas e das estufas. É a partir das 18h30 a 3ª refeição e às 20h00 o encerramento do edifício D, verificando-se a partir dessa hora um consumo residual no período noturno, proveniente

essencialmente de câmaras frigoríficas. É ainda de referir que durante a aquisição das leituras no período de inverno, as UTAs não funcionaram.



**Figura 19** – Consumo de eletricidade num dia típico de verão.

No Inverno verificamos um funcionamento idêntico ao de Verão, o aumento de potência elétrica vai aumentando ao longo do dia com o pico entre as 12h00 e a 14h00, aumento do consumo proveniente da utilização de determinados equipamentos da cozinha, como o caso dos fornos e das estufas. Ao contrário dos restantes PT's verifica-se no PT2 um aumento do consumo no período noturno, devido ao facto dos *chillers* entrarem em funcionamento entre as 22h00 e as 8h00. O fator de carga, comparando com o PT1, é mais elevado, pelo que o transformador do PT2 funciona próximo de 35% da sua potência nominal.

No PT2, que representa o consumo do edifício D, no período de Inverno não existe um decréscimo significativo dos consumos durante o período do almoço, como aquele que se verifica nos outros edifícios. Uma das razões é que a potência dos sistemas afetos à cozinha é muito significativa e funcionam, principalmente, durante o período das refeições.

Verificou-se através dos diagramas de carga, que os *chillers* não funcionam no ciclo de carga. Já tinha sido ajustado a alteração do horário de funcionamento dos *chillers* para

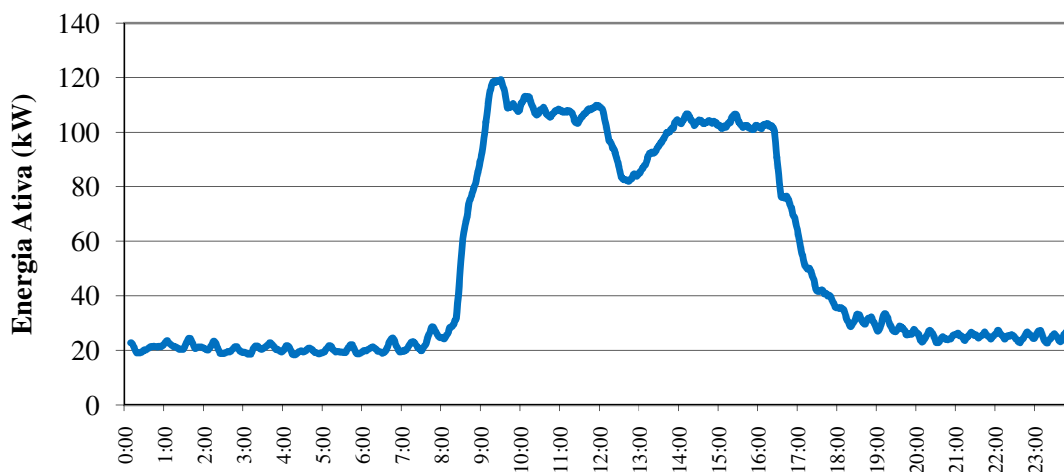
deslocar o funcionamento destes para períodos de custo/consumo mais favoráveis. Os aspetos tidos em conta possibilitam o seguinte:

- ✚ Redução da potência em horas de ponta;
- ✚ Deslocalização dos consumos para períodos em que o custo do kWh é mais baixo;
- ✚ Reduzir os consumos de gás, pois os *chillers* funcionam até mais tarde, fazendo com que haja um maior aproveitamento das águas pré-aquecidas provenientes do *chiller 2*.

Uma proposta de melhoria de eficiência energética para redução dos consumos, no horário compreendido entre as 12h00 e as 14h00, passa pelo ajuste do valor de *set-point* da temperatura das estufas para 45°C, uma vez que é colocada a temperaturas elevadas de 70 ou 80°C, diminuindo assim a carga térmica necessária para o aquecimento das refeições. Outra medida em ter em conta é que, das duas estufas elétricas existentes, passar a ser utilizada apenas uma, sendo a segunda como uma alternativa suplementar, uma vez que uma estufa é o suficiente para armazenamento da comida, na maior parte dos dias. Contudo, os consumos são muito influenciados pelo uso dos equipamentos, i.e., pela ementa elaborada, o que requer dias com mais utilização de equipamentos elétricos, como a refeição com frango assado, do que outros.

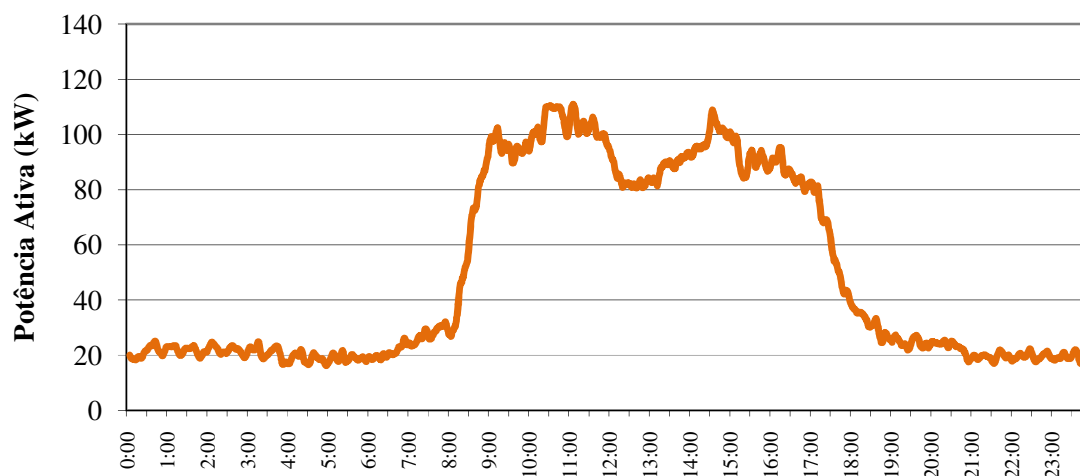
### ➤ **Posto de Transformação 3**

O transformador do PT3, de 630 kVA, serve o edifício A, nomeadamente iluminação, equipamentos de escritório, 3 elevadores, uma Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN) e Ventiloinvectores, e também funciona praticamente em vazio, não tanto como o PT1, mas verifica-se que mesmo na ponta de consumo, com cerca de 120 kW, fica muito abaixo dos 50% da carga nominal do transformador.



**Figura 20** – Consumo de eletricidade num dia típico de inverno.

No diagrama da distribuição de carga é elucidativo o funcionamento geral do Complexo, pois o edifício funciona atualmente entre as 08h30 e as 17h30, e a ponta de consumo atingida às 09h30. No entanto verificamos no diagrama de carga um consumo quase constante durante o funcionamento do edifício.



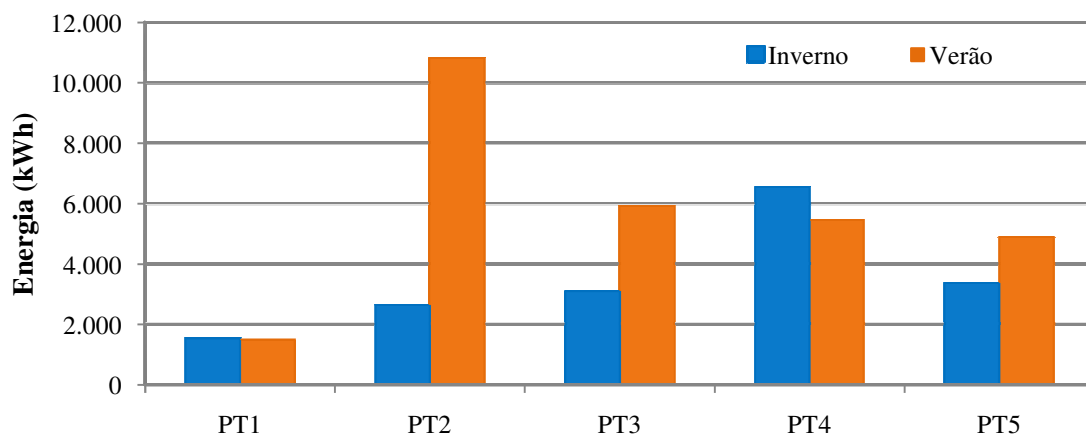
**Figura 21** – Consumo de eletricidade num dia típico de verão.

A sua potência de base apresenta um valor aceitável, pois este PT alimenta exclusivamente o edifício A, o qual é inteiramente administrativo. No entanto existem zonas climatizadas durante 24 horas que são servidas por equipamentos de arrefecimento em zonas fulcrais à operação (tais como o Centro de Comunicações).

Tal como o PT1, também aqui no período de almoço, verifica-se que muitos equipamentos deverão estar desligados, através da sensibilização de todos, consegue-se uma redução da carga neste período.

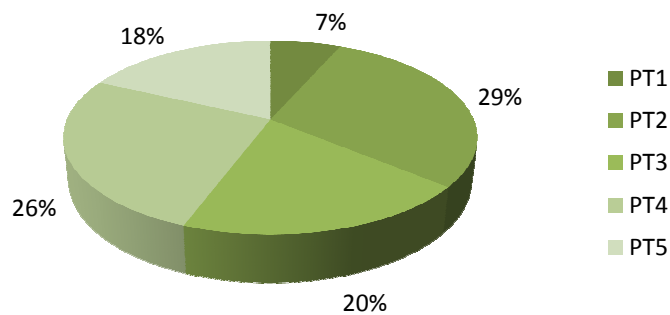
#### 4.2.1.5 Análise de resultados

Através da avaliação que foi efetuada ao consumo de energia elétrica por PT, e tal como se observa na figura 22, é no PT2 onde se verifica o maior aumento do consumo, representa cerca de 38% do consumo total de energia elétrica no período de verão. Logo será conveniente analisar as cargas que este PT alimenta de uma forma mais pormenorizada, a fim de se obter possíveis economias de energia. Por outro lado, no período de inverno, é no PT4 onde se verifica maior consumo, devido ao aquecimento ambiente aos edifícios B e C.



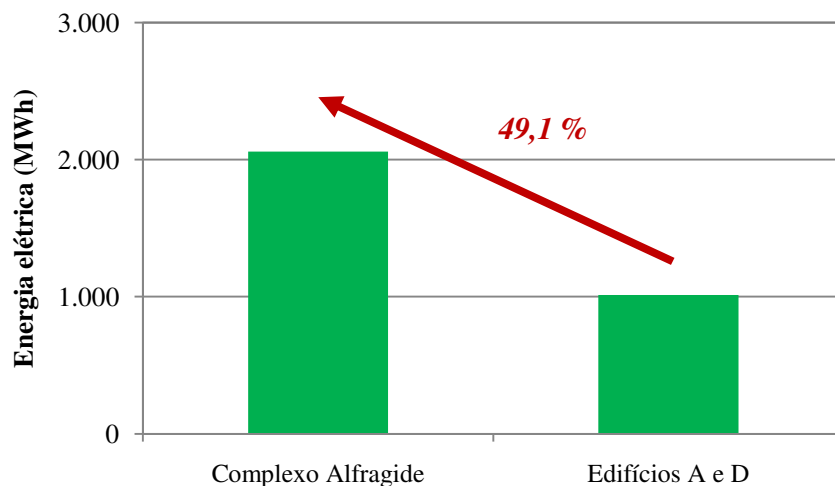
**Figura 22** – Distribuição do consumo de energia ativa, dos dados obtidos no período de inverno e verão de 2014.

Estes valores poderão não representar o dia médio típico de Inverno e de Verão. No entanto, dão-nos uma ideia muito clara da variação entre estes dois dias em períodos diferentes, tomando em linha de conta que se trata de uma medição em contínuo durante 24 horas. Com base nos dados recolhidos, fazendo a média dos valores tidos nos dois períodos, é obtido em percentagem a desagregação dos consumos por PT:



**Figura 23** – Desagregação em percentagem dos consumos médios de energia, por PT.

Uma vez que os edifícios A e D são alimentados a partir dos PTs 2 e 3, é possível estimar o seu consumo médio correspondente:



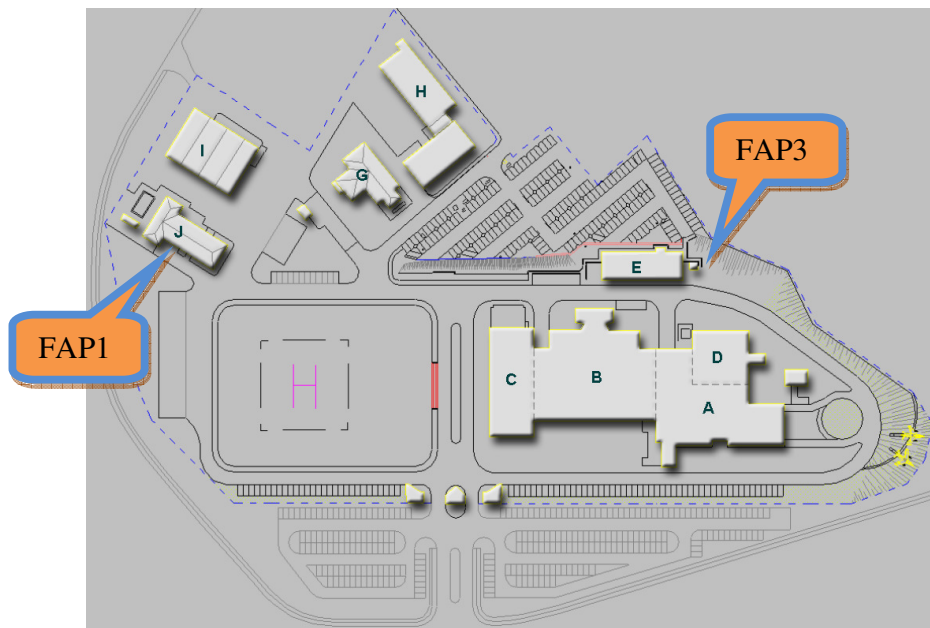
**Figura 24** – Estimativa da relação do consumo médio de 2011 a 2013 face ao dos edifícios A e D,

É apenas uma estimativa da média dos consumos nos anos de 2011 a 2013. Contudo verifica-se bem o peso que estes dois edifícios têm face ao consumo global de energia elétrica.

#### 4.2.2 Gás Natural

Em relação ao consumo de Gás Natural, foi possível obter registos desde o ano 2006 referentes ao Complexo de Alfragide. É fornecido pela empresa Galp Energia, e utilizado nos equipamentos de cozinha (lista dos equipamentos a gás no anexo 7), aquecimento de águas sanitárias e sistemas de climatização.

O fornecimento de gás é efetuado a partir de duas entradas distintas, conforme a figura em seguida, designadas por “FAP1” e “FAP3”, associando assim 2 contratos, ou seja, duas faturas mensais. Em relação aos contadores, a entrada FAP1 tem agregado 3 contadores e a entrada FAP3 tem apenas um contador.



**Figura 25** – Fornecimento de gás natural. Fonte: UAL.

O abastecimento de gás FAP1, subdivide-se para 3 edifícios distintos, são eles o H, I e J. Cada um deles tem associado um contador, e cada um alimenta uma caldeira destinada ao

aquecimento águas sanitárias para banhos no ginásio (edifício I), unidade térmica de ventilação (edifício I), climatização da restante parte dos espaços administrativos (edifícios I e H) e águas sanitárias e aquecimento ambiente para alojamentos (edifícios H e J), sendo o sistema de climatização com base em radiadores de calor.

O fornecimento de gás FAP3, alimenta todos os equipamentos da cozinha e a central térmica, para a produção de vapor. O vapor é consumido na produção de águas quentes sanitárias (AQS) e água quente para os sistemas AVAC dos edifícios A e D.

Designação GALP	Local que serve	Calibre
FAP1	Edifício H	G16
	Edifício I	G10
	Edifício J	G10
FAP3	Central Vapor e Cozinha	G250

**Tabela 6** – Caracterização dos contadores de gás natural. Fonte: UAL.

#### 4.2.2.1 Tarifário

Nos termos do art. 14º do Regulamento Tarifário do Sector do Gás Natural (RT), também da responsabilidade da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE)[5], a estrutura das tarifas é composta da seguinte forma:

1. Preços relativos a:

- a) Preços do termo tarifário fixo, definidos em euros por mês;
- b) Preços de capacidade utilizada, definidos em euros por kWh/dia, por mês;
- c) Preços de energia com diferenciação entre períodos de ponta e fora de ponta, definidos em euros por kWh.

2. Os preços definidos em 1 podem ser diferenciados segundo os seguintes critérios:

- a) Nível de pressão;
- b) Período tarifário;

c) Escalão de consumo anual.

De acordo com o Regulamento das Relações Comerciais (RRC), art.º 126[6], a capacidade utilizada corresponde ao máximo consumo diário registado nos 13 meses anteriores, incluindo o mês a que a fatura respeita, em kWh/dia. A capacidade utilizada por ponto de entrega não pode ter um valor, em kWh/dia, inferior a 50% da potência instalada no local de consumo, em kW, considerando uma utilização diária da potência instalada de 24 horas. Existe uma grande semelhança entre a capacidade utilizada na fatura de gás natural e a potência contratada na fatura de energia elétrica.

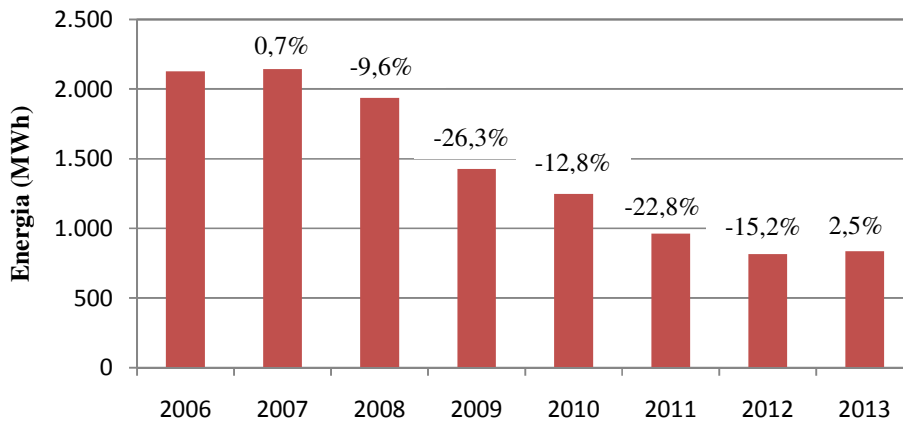
O ano gás nos termos do art.º 3 do RRC do sector do Gás Natural[6], decorre entre as 00h00 de 1 de Julho e as 24h00 de 30 de Junho do ano seguinte. Para definir os preços a aplicar, é necessário o indicado no nº 2 do art.º 14 do RT:

- ✚ Nível de pressão: Todos os fornecimentos de gás natural são efetuados em baixa pressão (BP - <4bar). Os níveis de pressão são definidos no artigo 3º do RRC;
- ✚ Período Tarifário: são definidos pelos operadores das redes de distribuição, atualmente estão definidos da seguinte forma:
  - Período fora de ponta – Agosto;
  - Período de ponta – Setembro a Julho.

#### 4.2.2.2 Consumos

Com base nos registos arquivados foram analisados os dados de consumos desde o ano 2006, inclusive, sendo possível estudar o histórico da evolução dos consumos totais no Complexo de Alfragide, verificando-se que o consumo de gás é muito superior nos meses de Inverno, diminuindo no Verão.

Estes valores fazem todo o sentido, visto que no Inverno existe a necessidade de consumo de gás para aquecimento central e no Verão isto não se verifica, existindo apenas necessidade de águas quentes sanitárias e consumo nos equipamentos de cozinha.

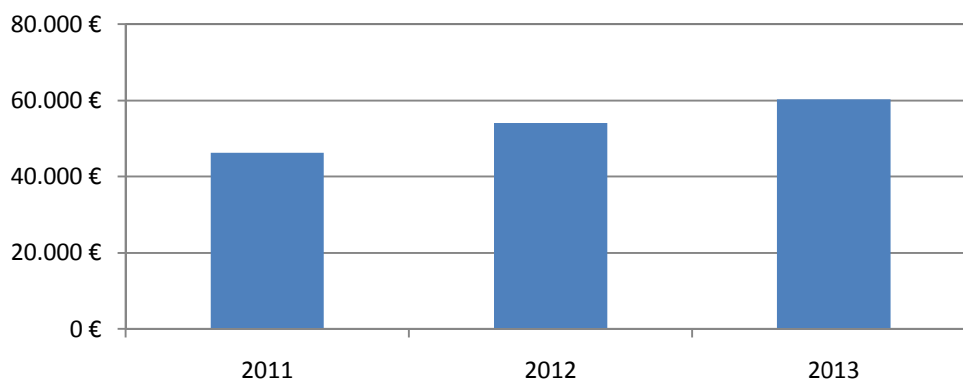


**Figura 26** – Evolução dos consumos de gás natural no Complexo de Alfragide. Fonte: faturas gás natural.

Tendo em conta os consumos totais anuais de energia de gás natural, está bem exposto a preocupação em reduzir ou rentabilizar os recursos disponíveis, à semelhança com a energia elétrica. Neste caso, apenas no ano 2013 é que aumentou ligeiramente os consumos, muito possivelmente devido à requalificação de edifícios em alojamentos, o que por sua vez requer algum conforto e condições de habitabilidade, como águas quentes sanitárias e aquecimento ambiente.

#### 4.2.2.3 Custos

No entanto o custo com o gás natural, para todo o Complexo de Alfragide, tem vindo a aumentar de ano para ano, devido a alterações anuais ao contrato com a distribuidora.

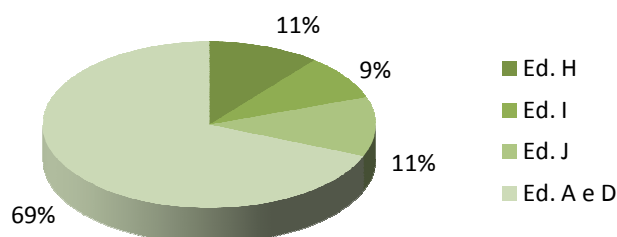


**Figura 27** – Evolução da despesa anual com o gás natural no Complexo de Alfragide. Fonte: faturas gás natural.

Os encargos com o custo global de gás natural aumentaram 14.073,31€ de 2011 para 2013, cerca de 30%, conforme se verifica na figura 27.

#### 4.2.2.4 Desagregação dos Consumos

O grande ponto de consumo é de facto o FAP3, que representa cerca de 69% do valor total, conforme figura abaixo:

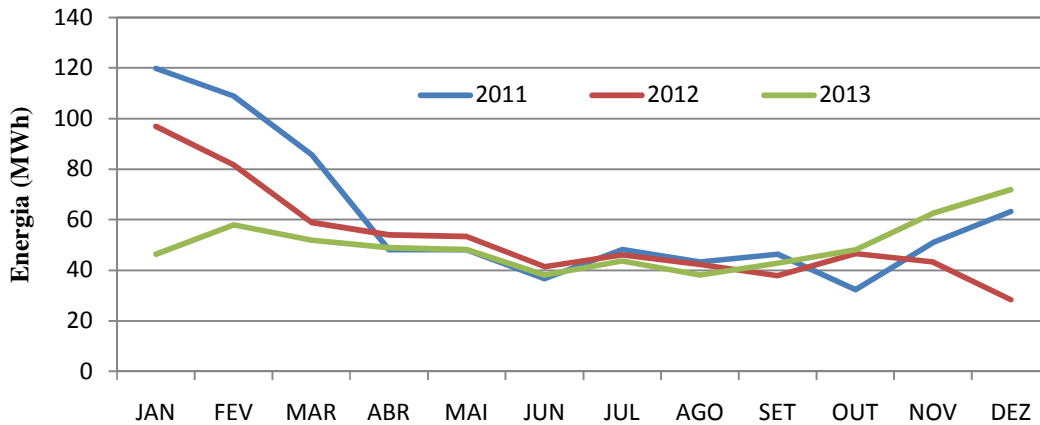


**Figura 28** – Consumo médio por cada contador.

Estes valores foram obtidos pelo consumo médio anual de 2011 a 2013. Os equipamentos da cozinha e do aquecimento ambiente para os edifícios A e D, são evidentemente os grandes consumidores de gás.

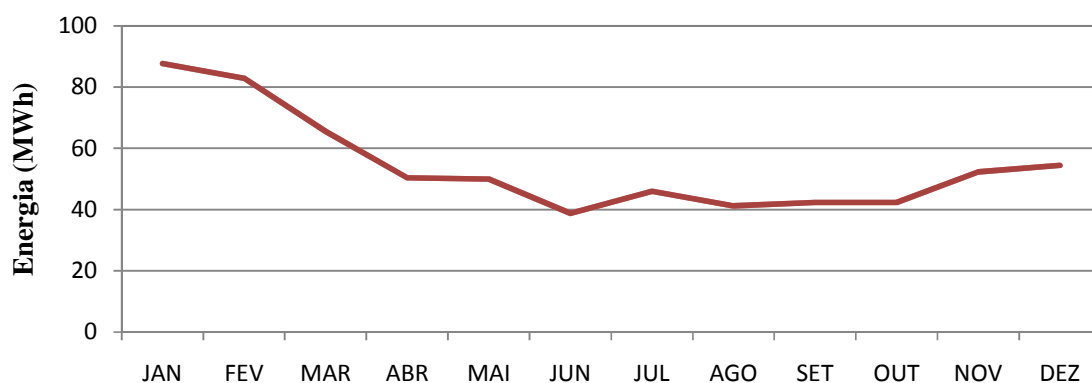
#### 4.2.2.5 Análise de resultados

Obtiveram-se os seguintes resultados, com base nas faturas de 2011 a 2013:



**Figura 29** – Consumo dos Edifícios A e D nos últimos 3 anos. Fonte: faturas gás natural.

Verifica-se que de facto no Inverno há um maior consumo face à restante época do ano. Contudo depende muito da época sazonal, uma vez que em 2011 houve mais consumo que em 2013, principalmente nos meses de Janeiro a Abril. Para uma melhor análise da tendência do consumo, elaborou-se a média dos 3 últimos anos:



**Figura 30** – Média dos consumos de gás natural nos edifícios A e D dos últimos 3 anos.

Pelo perfil de consumo de gás natural, podemos observar que o período de aquecimento de conforto, vai de Outubro até Maio, pelo que depois a curva toma um valor constante

de consumo, independente da temperatura exterior. Nesta zona de Maio a Outubro, existe consumo de gás para águas quentes sanitárias e cozinhas, que seria superior senão houvesse a pequena contribuição da recuperação do *chiller*.

### 4.2.3 Determinação do IEE real

Para determinar o IEE real é necessário pegar novamente no consumo anual global do conjunto de edifícios alvo da auditoria, para determinar através das faturas energéticas (eletricidade e gás natural), a respetiva quantidade em energia primária<sup>3</sup>, através dos fatores de conversão definidos no ponto 1 do artigo 18.º do RCCTE.

⚡ Eletricidade: 0,290 kgep/kWh

⚡ Gás natural: 0,086 kgep/kWh

$$IEE_{real} = \frac{\text{Consumo global}}{\text{Área útil}} \quad (\text{kgep} / \text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

**Equação 3** – Determinação do valor do IEE real.

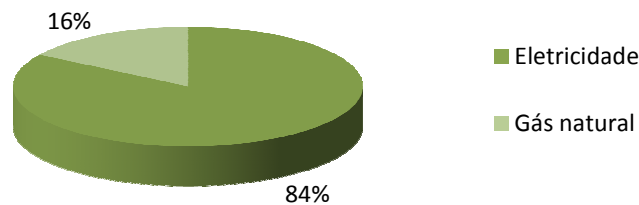
Convertendo os consumos de energia elétrica e gás natural em energia primária (kgep/kWh), obtemos os valores apresentados na tabela 7:

	Energia Final – Média (kWh)	Energia Primária – Média (kgep)
<b>Electricidade</b>	1.011.277	293.270
<b>Gás natural</b>	653.597	56.209

**Tabela 7** – Conversão de energia final em energia primária.

<sup>3</sup> Recurso energético que se encontra disponível na natureza (petróleo, gás natural, energia hídrica, energia eólica, biomassa, solar). Exprime-se normalmente, em termos da massa equivalente de petróleo (quilograma equivalente de petróleo - kgep - ou tonelada equivalente de petróleo - tep).

Daqui conclui-se que, apesar dos valores em energia final serem próximos um do outro (em kWh), a correspondente energia primária apresenta alguma discrepância, uma vez que o fator de conversão da eletricidade é superior ao do gás natural, que para converter a energia, chamada final, na forma em que ela é usada, passa-se ainda por um processo que implica perdas, sendo necessário considerar uma eficiência de uso ou rendimento. No caso do uso motriz, parte da energia é transferida ao eixo do motor e parte é dissipada na forma de calor. Denomina-se rendimento a razão entre essa energia na forma que é usada, denominada energia útil, e a energia final.



**Figura 31** – Comparação da média dos consumos anuais, em energia primária (kgep), dos edifícios A e D.

O consumo de gás no período de arrefecimento (Abril até finais de Setembro), corresponde aos gastos com os equipamentos de cozinha e ao fornecimento de energia para águas quentes sanitárias. Com base na média dos últimos três anos (2011, 2012 e 2013), obtemos o seguinte IEE:

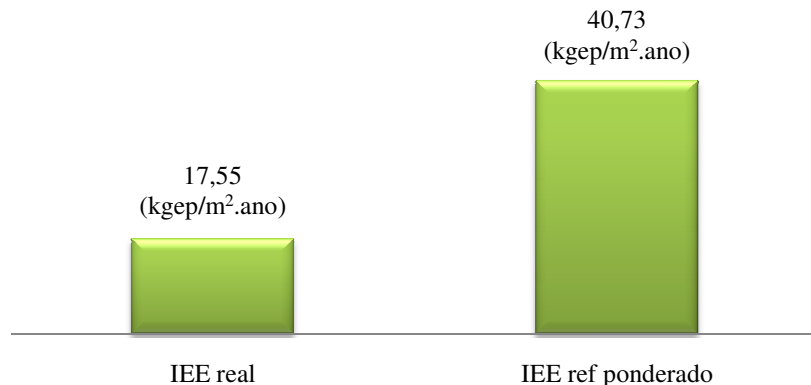
$$IEE_{real} = \frac{349.480}{19.912}$$

**Equação 4** – Determinação do valor do IEEreal.

IEE<sub>real</sub>: **17,55 kgep/m<sup>2</sup>.ano**

### 4.3 Conclusão dos resultados obtidos

Fazendo a comparação com o IEE de referência ponderado com o IEE real, obtém-se:



**Figura 32** – Comparação entre o valor IEE real e do IEE de referência ponderado.

Através da análise da figura 32 podemos concluir que os edifícios A e D enquadram-se nos consumos típicos para edifícios existentes, pois não ultrapassam os valores de referência ponderada. No entanto não significa que estes valores não possam ser melhorados, uma vez que a redução de energia, que tem vindo a diminuir ano após ano, é principalmente à custa da paragem ou não utilização de equipamentos de climatização, e da eliminação em cerca de 1/3 da iluminação existente nas zonas comuns.

Sublinhe-se que mesmo quando o edifício esteja regulamentar quanto ao IEE, é sempre necessário verificar a existência e o cumprimento do Plano de Manutenção e realizar inspeções às caldeiras e sistemas de ar condicionado, bem como o cumprimento dos requisitos da qualidade do ar interior (de acordo com o SCE).

Em seguida ilustra-se uma aplicação utilizada para o planeamento e gestão da manutenção dos sistemas de climatização, desenvolvida pela Esquadra de Manutenção. A manutenção está aplicada num ciclo de melhoria contínua, havendo em curso intenções para informatizar todo o processo, com registo detalhado dos tempos de intervenção,

operações realizadas, e custo associado. No entanto é o que existe atualmente, o que nota já um sentido de haver um registo histórico de intervenções efetuadas e um manual para executar as principais operações de manutenção.



Figura 33 – Software auxiliar para planeamento e gestão da manutenção. Fonte: Esquadra de Manutenção.

O manual “Programa de Manutenção para os Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado do Complexo de Alfragide”[14] está dividido em 3 partes distintas: Planeamento, Descrição das tarefas e Fichas de manutenção.

- **Planeamento:** Descrição das datas e equipamentos a intervir, bem como quais as fichas de manutenção a preencher;
- **Descrição das tarefas:** é descrito quais os passos a seguir nos diversos equipamentos, bem como alguns dados e características dos mesmos, e material necessário aquando das manutenções preventivas, como peças sobresselentes;
- **Fichas de manutenção:** onde é feito o registo das manutenções preventivas, com a característica de uma *check list*, as quais são preenchidas e arquivadas em local próprio.

## 5. Construção do Modelo para Simulação

Como instrumento de análise e quantificação dos fluxos energéticos é usado um modelo de simulação detalhado multizona com os perfis de referência de utilização dos edifícios definidos no Anexo XV do RSECE. Desta forma é possível obter os consumos nominais dos edifícios em estudo, possibilitando encontrar o IEE nominal que será comparado com o valor de IEE de referência ponderado calculado no capítulo 4, por forma a estabelecer um perfil de eficiência energética.

A simulação detalhada permite a desagregação dos consumos energéticos pelos principais usos finais (aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, equipamentos, bombas de apoio ao sistema AVAC, etc.) de um ano inteiro, para uma profunda análise à qualidade da envolvente do edifício bem como a dos sistemas nele instalado, propondo um PRE, permitindo reduzir os consumos em áreas mais críticas de forma a cumprir limites impostos.

### 5.1 Software DesignBuilder

O *DesignBuilder* e *EnergyPlus* é uma ferramenta de simulação de energia para a avaliação do desempenho do edifício, desenvolvida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, que permite simular os sistemas de aquecimento, iluminação e ventilação, de forma a quantificar o seu consumo de energia. Este tem a capacidade de simulação de cargas térmicas e consumos numa base horária e sub-horária, multizona. O *EnergyPlus*, é acreditado nos termos da norma *ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 – Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Program*. Esta norma pretende minimizar as diferenças entre programas de simulação.

Apesar das suas elevadas capacidades de cálculo para simulação nos cenários referidos, o *EnergyPlus* não é um programa com uma *interface* amigável, dificultando o processo de

*input e output* de dados. Surge uma resposta a este entrave, aparecendo o programa de interface *DesignBuilder*.

O programa *DesignBuilder* é a primeira interface exaustiva para o programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*. Permite uma rápida e fácil introdução de geometrias e oferece um conjunto de ferramentas que tornam mais fácil a modelação de edifícios. A interface do *DesignBuilder* permite ao utilizador modelar o edifício através da criação de “blocos” que são desenhados num espaço 3D, podendo estes ser cortados, rodados ou esticados de forma a criar uma geometria muito próxima da geometria real do edifício. Possui uma vasta base de dados a nível de materiais de construção, sistemas AVAC, módulo Português de IEE e conversor de ficheiros climáticos. O módulo IEE permite utilizar a caracterização do edifício, inerente à construção do modelo, e os resultados da simulação dinâmica detalhada, para calcular diversos parâmetros relevantes no âmbito do DL 79/2006 (RSECE), entre os quais:

- ✚ Fator de Forma e Fatores de Correção Climática de Inverno e de Verão;
- ✚ IEE limite;
- ✚ Consumos energéticos.

Na simulação, os dados do comportamento físico do edifício podem ser visualizados sem recorrer a módulos externos de tratamento de dados, como por exemplo o Excel, poupando muito tempo no processo analítico.

## **5.2 Modelo para simulação dinâmica detalhada**

A componente elétrica tem normalmente importância fundamental no modelo energético dos edifícios. Aparte do consumo dos *chillers*, os restantes fatores são pouco dependentes do clima e podem, numa primeira análise, ser estimados, como a transmissão de calor, a iluminação, o uso de equipamentos e os níveis de ocupação do edifício (quer a nível de densidade ocupacional, quer de horários) no produto de uma potência média e de um

número de horas de funcionamento por ano. O mesmo pode acontecer do lado térmico se, por exemplo, o consumo de gás ou outro combustível estiver apenas associado à produção AQS.

A simulação dinâmica consiste em três pontos principais e fundamentais:

- ✚ Construção do modelo – é criada uma representação do edifício tridimensional com as características construtivas e equipamentos instalados;
- ✚ Simulação – obtenção de cargas térmicas do edifício e consumos anuais;
- ✚ Análise dos resultados – crítica aos resultados e ajuste no modelo.

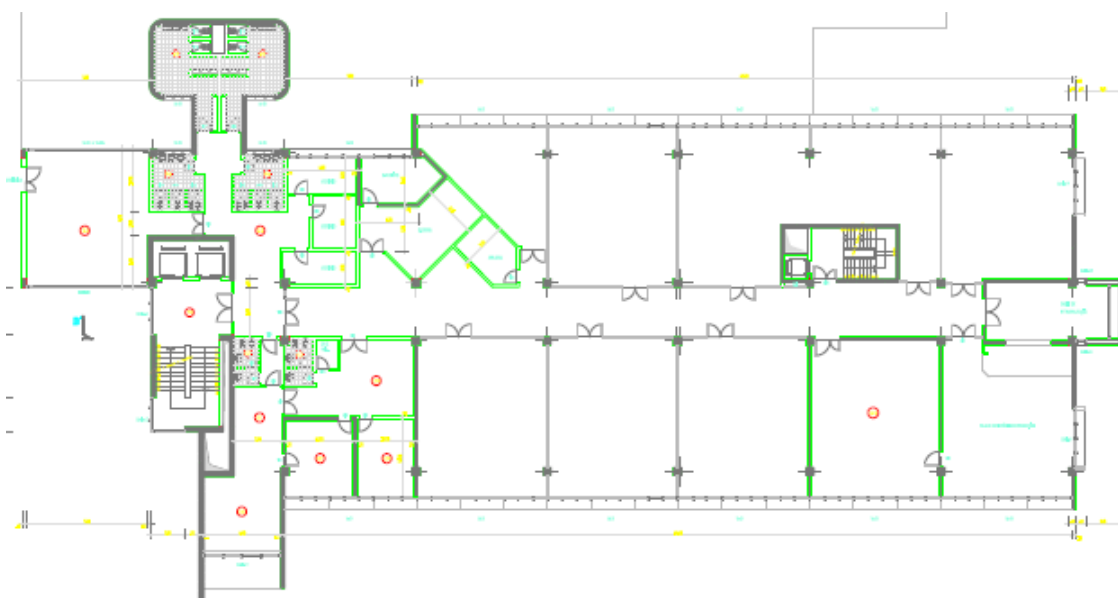
A vantagem deste processo é que se houver forte discordância no balanço de energia, é porque existe algum erro grosseiro no conhecimento do funcionamento do edifício. Por exemplo, ao verificar-se algum equipamento não identificado na auditoria, ou algum funcionamento anormal de outro equipamento, pode-se, desde logo, tentar perceber o que se passa. Fazer esta mesma verificação no modelo detalhado é muito mais difícil, precisamente pela complexidade de parâmetros que o compõem.

Os métodos detalhados processam o cálculo de uma forma dinâmica e em regime não estacionário, geralmente numa base horária, ou em intervalos de tempo menores, para um período de um ano. Para um bom desenvolvimento de um modelo de simulação detalhada é necessário definir alguns pontos essenciais. O RSECE aponta no Anexo VIII a metodologia essencial para a simulação detalhada:

- a) Características térmicas do edifício (envolvente e divisões internas, etc.);
- b) Instalação de aquecimento e fornecimento de água quente, incluindo as respetivas características de isolamento;
- c) Instalação de ar condicionado;
- d) Ventilação mecânica e natural;
- e) Instalação fixa de iluminação;
- f) Posição e orientação dos edifícios, incluindo condições climáticas exteriores;

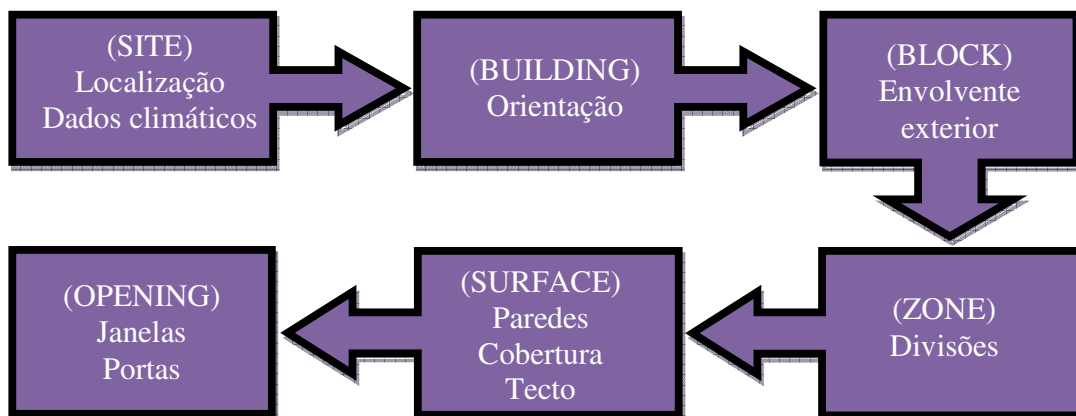
- g) Sistemas solares passivos e de proteção solar;
- h) Condições climáticas interiores, incluindo as de projeto.

Para a realização de uma simulação dinâmica detalhada procedeu-se à construção do modelo detalhado com base num levantamento das características arquitetónicas e construtivas para ambos os edifícios. Foram reunidas as telas finais do projeto de arquitetura elaboradas pela Direção de Infraestruturas (DI), em formato PDF para as vistas de topo, e em telas para vistas laterais e pormenores construtivos, permitindo assim um grande nível de detalhe na introdução geométrica do edifício e das suas zonas.



**Figura 34** – Planta do piso 3 do edifício A. Fonte: CLAFA/DI.

O *DesignBuilder* fornece uma gama de ferramentas de desenho para a construção do modelo em 3D, fazendo com que os parâmetros inseridos em hierarquias superiores sejam adotados nas hierarquias inferiores, poupando assim tempo de programação e evitando erros.



**Figura 35** – Hierarquia atribuída no programa *DesignBuilder* à construção do modelo detalhado.

### 5.2.1 Dados climáticos

O fator temperatura exterior tem uma grande importância, pois é a variável de ambiente exterior que, em Portugal continental, mais influencia o cálculo das cargas térmicas do edifício. Como tal existe a necessidade de utilizar dados climáticos atualizados e adequados à localização espacial do caso em estudo, ou seja, os dados climáticos da cidade de Lisboa.

Na secção “Site orientation” introduzem-se dados relativos ao posicionamento e orientação geográfica do edifício, através da introdução do respetivo valor em graus (120°). É nesta secção também que é introduzido o ficheiro climático, proveniente do programa “Solterm”, pois a simulação dinâmica em *EnergyPlus* é efetuada utilizando os ficheiros climáticos de referência do “Solterm”, sendo os resultados de simulação utilizados no cálculo do IEE, fundamental para o cálculo das cargas térmicas através da envolvente (paredes, terraço, envidraçados, etc.) e para o cálculo da carga gerada pela introdução de ar exterior nas divisões. Foi selecionado o ficheiro correspondente a Lisboa como localização geográfica, bem como a introdução do ficheiro climático a partir de uma base de dados climáticos de todos os concelhos de Portugal, ficheiro climático válido para o cálculo do IEE.

Geral – PRT_LISBOA_INETI	
Fonte	NaturalWorks converter for INETI
País	Portugal
Região	125
Nome do ficheiro	PRT_PORTUGAL_INETI.epw
Detalhes	
Latitude (°)	38,73
Longitude (°)	-9,15
WMO Identificador estação	085360
ASHRAE tipo clima	3C
Verão	
Mês de início	Julho
Mês de fim	Setembro
Semana mais quente	15 de Julho
Semana típica de verão	05 de Agosto
Graus-Dia <sup>4</sup> arrefecimento (10°C)	2328
Inverno	
Mês de início	Janeiro
Mês de fim	Março
Semana menos quente	22 de Janeiro
Semana típica de inverno	12 de Março
Graus-Dia aquecimento (18°C)	1087

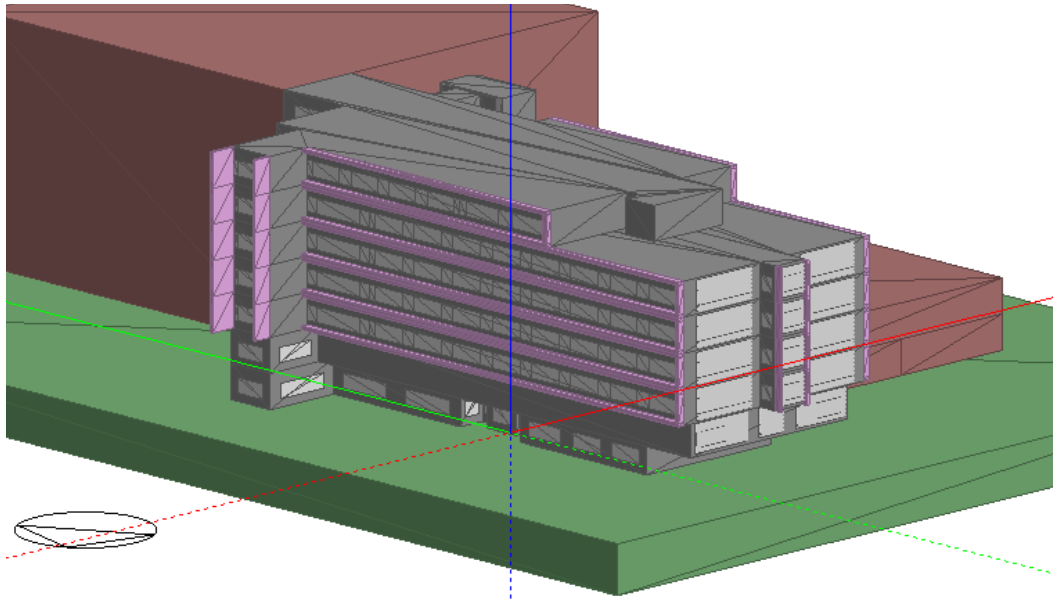
**Tabela 8** – Características climáticas da região de Lisboa utilizadas no software de simulação. Fonte: DesignBuilder / Hourly Weather Data.

### 5.2.2 Envolvente

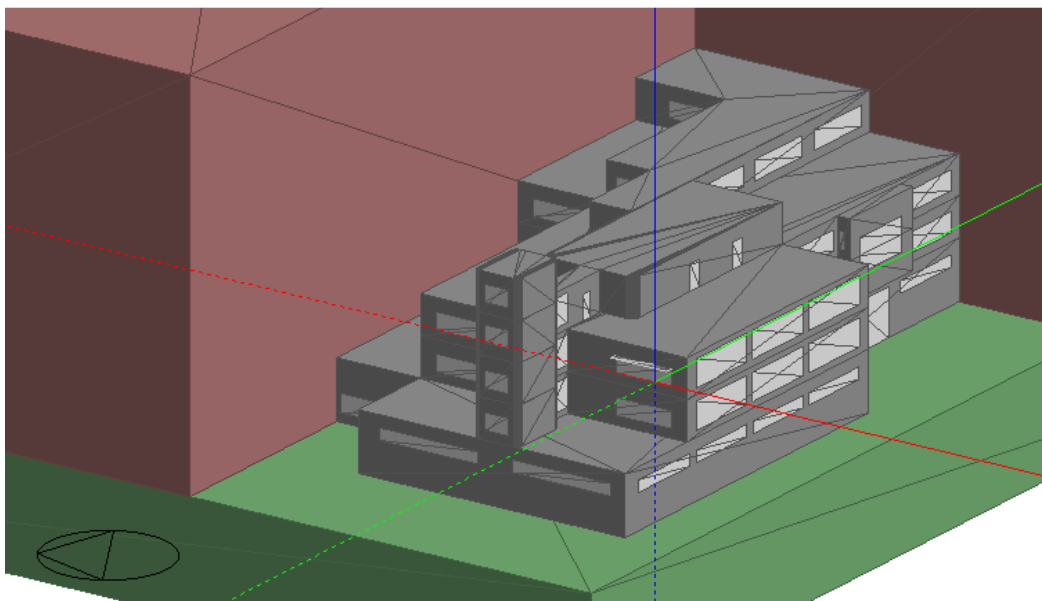
O desenvolvimento do modelo em 3D foi auxiliado pela importação de plantas de arquitetura em formato PDF, possibilitando um bom rigor dimensional. Numa primeira fase, para cada edifício realizou-se a construção de blocos (“Block”) correspondente a

<sup>4</sup> Graus-dias é um número que caracteriza a severidade de um clima durante uma estação de aquecimento e que é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco).

cada um dos pisos, ou seja a envolvente exterior, com seguimento da delimitação das divisões por paredes interiores (“Zone”), e criação e posicionamento dos envidraçados (“Opening”). Deste modo o *DesignBuilder* permite uma rápida modelagem do edifício por blocos, assim como a visualização da construção permitindo uma rápida e eficaz verificação da geometria da envolvente ou a um pormenor construtivo específico.



**Figura 36** – Vista e orientação geográfica do modelo representativo do edifício A no DesignBuilder.



**Figura 37** – Vista e orientação geográfica do modelo representativo do edifício D.

Na figura podem distinguir-se várias características construtivas atribuídas ao modelo. As zonas coloridas a cinzento-claro correspondem aos envidraçados e as zonas a cinzento-escuro os elementos construtivos do edifício com condutibilidade térmica, que simulam as paredes externas, chão e cobertura. A cor roxa está atribuída aos componentes de construção adiabáticos que proporcionam sombra e reflexão em zonas essenciais, e.g. os envidraçados. O elemento de cor verde pretende simular o solo.

O zonamento foi realizado em função de parâmetros de agrupamento, como sejam cargas térmicas, ocupação, iluminação e sistemas AVAC que servem os espaços.

### 5.2.3 Materiais de Construção

No separador “Construction” são definidas as propriedades dos materiais de construção de que o edifício é constituído. Estes têm um grande impacto nas cargas de aquecimento e arrefecimento do edifício, influenciando assim as condições de conforto dos ocupantes. A constituição de cada elemento é um dos pontos-chave para uma simulação realista e como tal foram levantados dados dos pormenores construtivos para uma boa precisão.

A envolvente exterior, foi considerada em função das observações no local e de acordo com alguns elementos do projeto da data de construção. De uma forma geral, as paredes exteriores são constituídas por uma caixa-de-ar que permite algum isolamento, embora no caso das envolventes dos elevadores, estas aparentam ausência de isolamento, sendo constituídas apenas por betão.

$$U = \frac{1}{\sum R} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$$

**Equação 5** – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica.

R – Resistência térmica, em m<sup>2</sup>.°C/W;

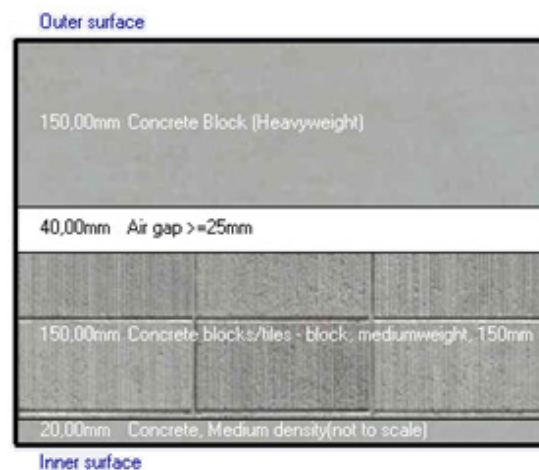
λ – Condutibilidade térmica, em W/m.°C.

- **Parede Exterior**

É constituída por betão armado de 15cm, seguido de caixa-de-ar com 4cm, de seguida blocos de betão com 15cm e reboco para acabamento. Este tipo de parede intitulada por “Parede Exterior” tem um coeficiente de transmissão térmica (U) de 1,562 W/m<sup>2</sup>.°C.

<b>Parede Exterior (Cor média)</b>				
<b>Elemento de Camada</b>	<b>e (m)</b>	<b>λ (W/m.°C)</b>	<b>R (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
Resistência interior	-	-	0,130	<b>1,562</b>
Reboco cimento	0,020	1,300	0,015	
Bloco de betão	0,150	-	0,200	
Caixa-de-ar	0,040	-	0,180	
Betão armado	0,150	2,000	0,075	
Resistência exterior	-	-	0,040	
	<b>0,360</b>		<b>0,640</b>	

**Tabela 9** – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica da parede exterior. Fonte: ITE50.



**Figura 38** – Esquema da parede exterior. Fonte: DesignBuilder/Construction.

- **Parede Interior I**

Constituída por reboco tradicional dos dois lados e tijolo cerâmico de 15cm de espessura, com coeficiente de transmissão térmica de 1,421 W/m<sup>2</sup>.°C.

<b>Parede Interior I</b>				
<b>Elemento de Camada</b>	<b>e (m)</b>	<b>λ ( / .°C)</b>	<b>R (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
Resistência interior	-	-	0,130	<b>1,421</b>
Reboco cimento	0,015	1,300	0,012	
Alvenaria tijolo cerâmico	0,150	-	0,4 0	
Reboco cimento	0,015	1,300	0,012	
Resistência interior	-	-	0,130	
	<b>0,180</b>		<b>0,704</b>	

**Tabela 10** – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica da parede interior I. Fonte: ITE50 e EN771-1:2011.

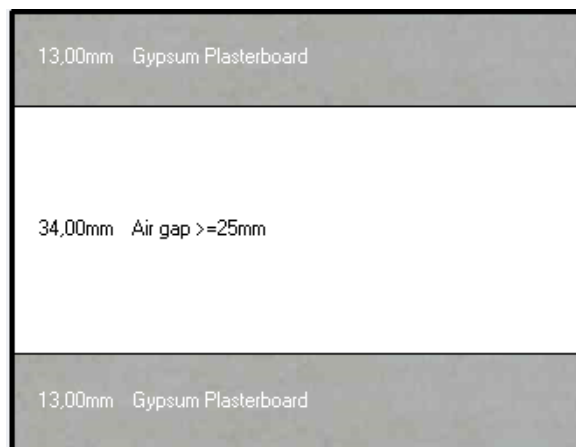


**Figura 39** – Esquema da parede interior I. Fonte: DesignBuilder/Construction.

- **Parede Interior II**

A parede interior tipo II são algumas das divisórias existentes nas salas, e é constituída por parede de gesso cartonado dos dois lados com caixa-de-ar na parte central.

Parede Interior II				
Elemento de Camada	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Resistência interior	-	-	0,130	<b>1,838</b>
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,052	
Caixa-de-ar	0,034	-	0,180	
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,052	
Resistência interior	-	-	0,130	
	<b>0,060</b>		<b>0,544</b>	



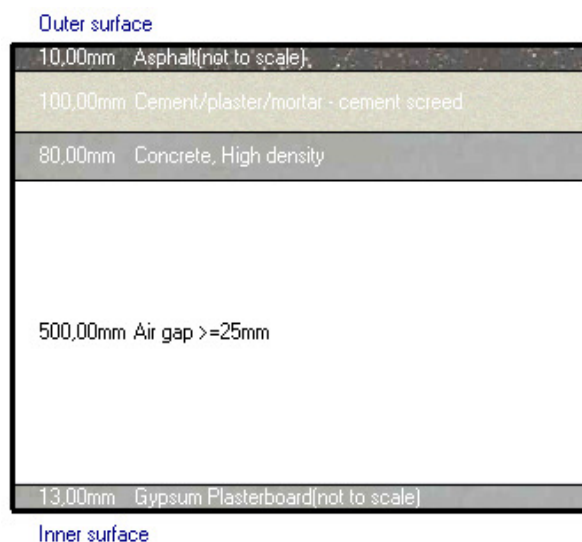
**Tabela 11** – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica da parede interior II. Fonte: ITE50.

**Figura 40** – Esquema da parede interior II. Fonte: DesignBuilder/Construction.

- **Cobertura Exterior**

É constituída por teto falso não estanque com uma caixa-de-ar, laje de betão armada seguida de uma camada de betonilha e por fim revestimento pelo lado exterior.

Cobertura Exterior (Cor média)				
Elemento de Camada	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Resistência interior	-	-	0,100	<b>3,158</b>
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,052	
Caixa-de-ar	0,500	-	-	
Laje e betão	0,080	2,000	0,040	
Betonilha regularização	0,100	1,300	0,077	
Tela impermeabilização	0,010	1,300	0,008	
Resistência exterior	-	-	0,040	
	<b>0,703</b>		<b>0,317</b>	



**Figura 41** – Cobertura exterior. Fonte: DesignBuilder/Construction.

**Tabela 12** – Coeficiente Transmissão Térmica da cobertura exterior.

## 5.2.4 Vãos envidraçados

Na aba “Openings” do *DesignBuilder* são definidos os vãos envidraçados do edifício, definindo-se o número de vidros, coeficiente de sombreamento e orientação.

Os envidraçados são compostos por caixilharia de alumínio com vidro duplo, o interior é incolor e o exterior é cor bronze. A proteção solar é promovida em todo o edifício, com exceção das zonas de circulação comum, por estores interiores de lâminas verticais e algumas fachadas por lâminas exteriores fixas horizontais, de baixo reflexo.

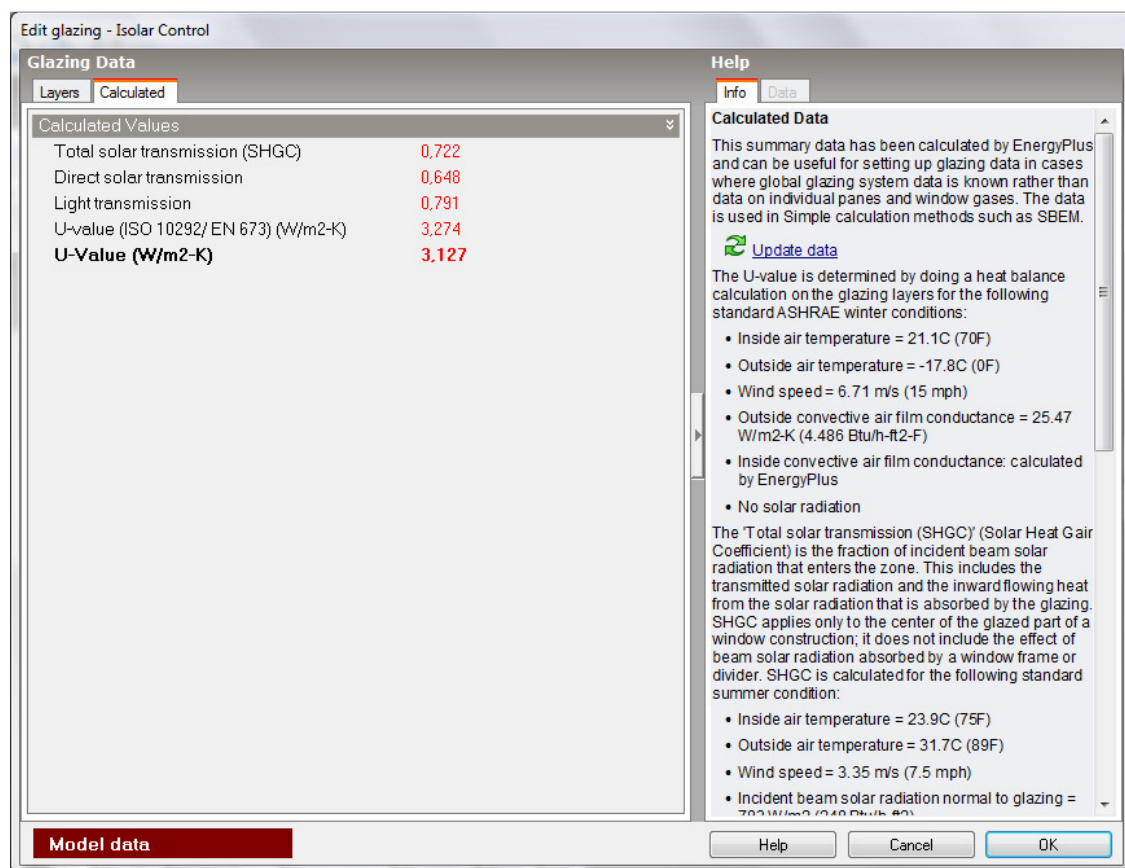
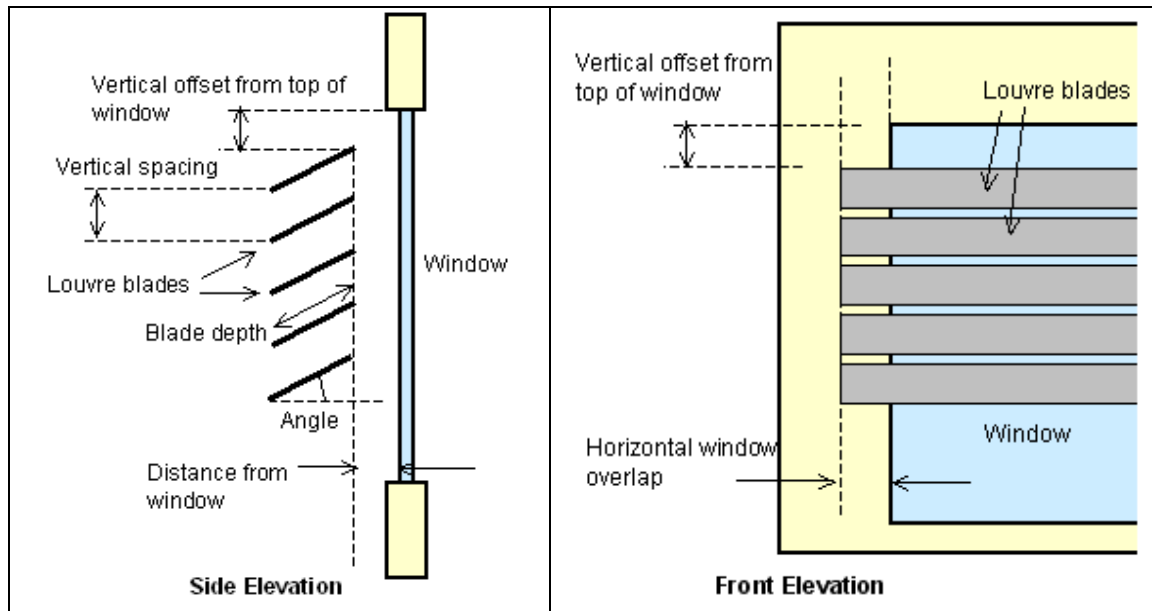


Figura 42 – Cálculo do valor de U. Fonte: DesignBuilder/Openings.

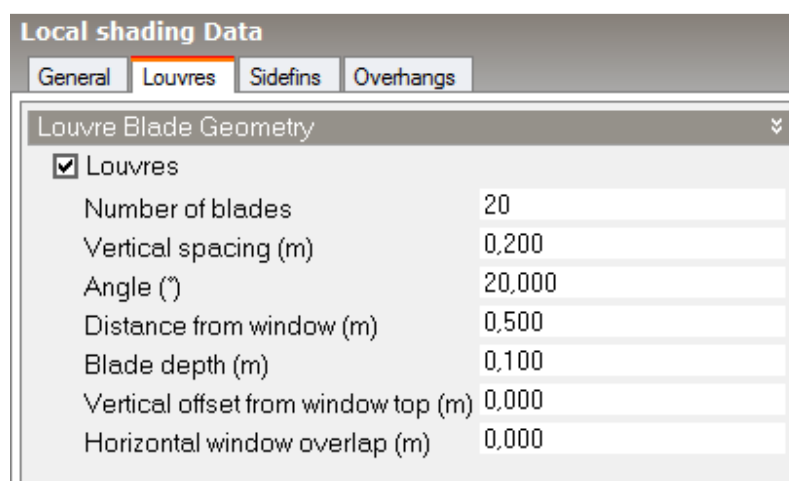
Os envidraçados são constituídos por um vidro duplo com 6mm, caixa-de-ar de 10 e 4mm de espessura. Os valores são calculados pelo programa com um coeficiente de transmissão térmica de **3,127 W/m<sup>2</sup>.°C** e um fator solar de aproximadamente **0,70**.

As proteções solares foram definidas no programa de simulação, através do número de lâminas e o espaçamento entre elas, bem como o afastamento ao edifício, como demonstrado na função “help” do *software*, transposto na figura 43.

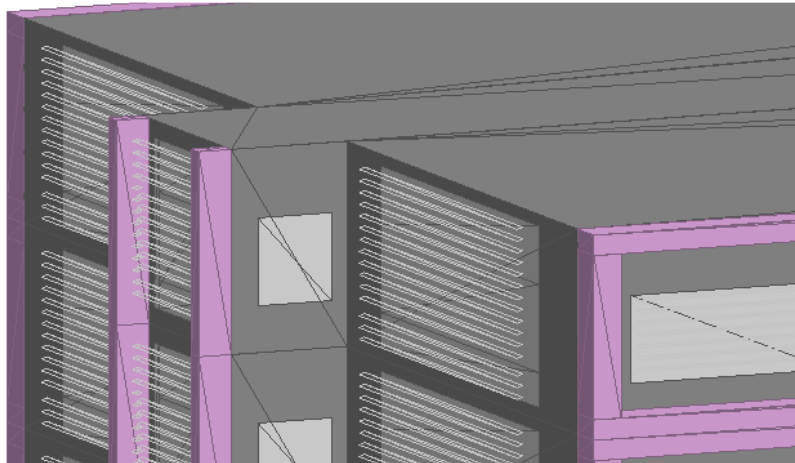


**Figura 43** – Definição das características das lâminas.

Seguindo a metodologia apresentada foram, deste modo, introduzidos os respectivos dados das proteções solares aos vãos envidraçados.



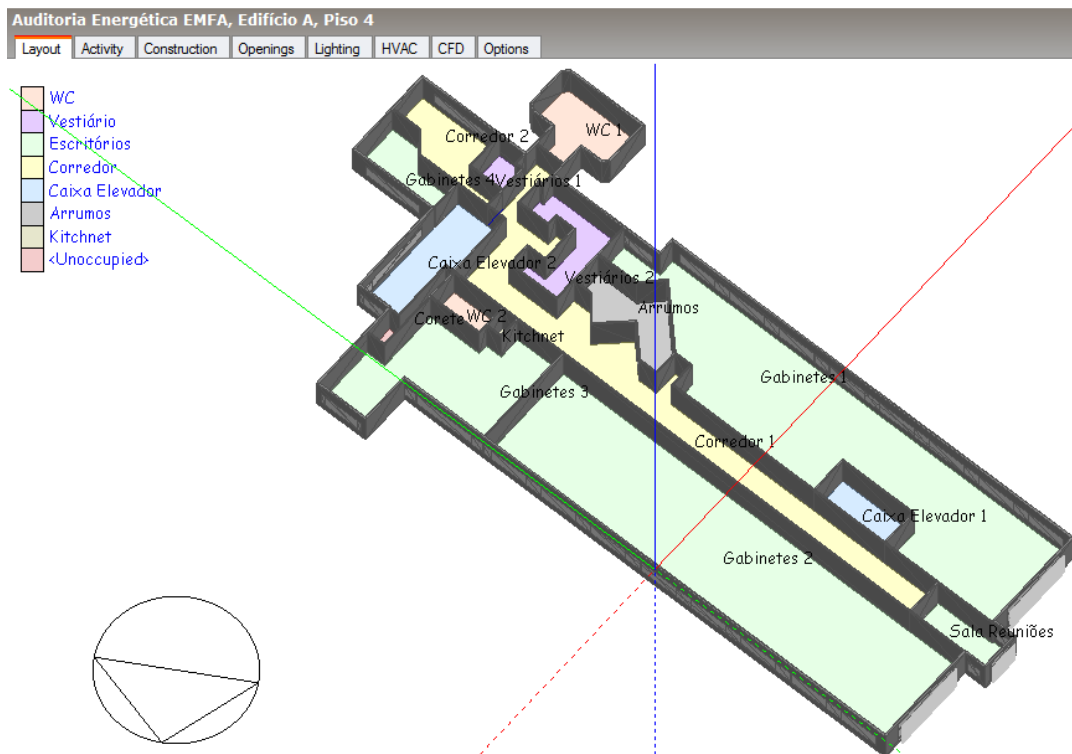
**Figura 44** – Definição do espaçamento entre lâminas.



**Figura 45** – Pormenor das proteções solares fixas, no exterior.

### 5.2.5 Definição das zonas

A terminação dos zonamentos aplicados foi definido tendo em conta a densidade de iluminação, equipamentos, ocupação e horário de funcionamento.



**Figura 46** – Construção e identificação das zonas do Piso 4 do edifício A.

Para a caracterização de cada zona, houve um trabalho em campo, onde ao visitar os espaços ia sendo registado o número de ocupantes, tipologia da zona, número de equipamentos de escritório, iluminação, entre outros, em tabelas idênticas à tabela 44 do anexo 8. Estes valores irão ter um grande impacto na simulação, não tanto pelos ganhos de calor latente que trazem ao edifício, mas pelas perdas associadas ao caudal de ar novo insuflado que depende do número de ocupantes. Para facilitar a construção da tabela acima apresentada foi elaborada a tabela 43 utilizada fundamentalmente como ferramenta auxiliar, apresentada no anexo 8.

No caso da iluminação, foi tido em conta o tipo de lâmpada existente, para verificação do cálculo da potência elétrica, nomeadamente em função da inventariação de lâmpadas existentes. O fator de carga térmica (ou seja, a fração de energia consumida que contribui para a carga térmica no espaço) depende do tipo de armadura (se está suspensa ou se está encastrada em teto falso).

### **5.2.6 Perfil horário de Ocupação, equipamentos e iluminação**

O anexo XV do RSECE faculta os padrões de referência de utilização de edifícios, dando perfis horários para a ocupação, iluminação e equipamentos, com densidades de ocupação e equipamentos para as diferentes tipologias, bem como perfis constantes para os espaços complementares, como o caso da cozinha, entre outros.

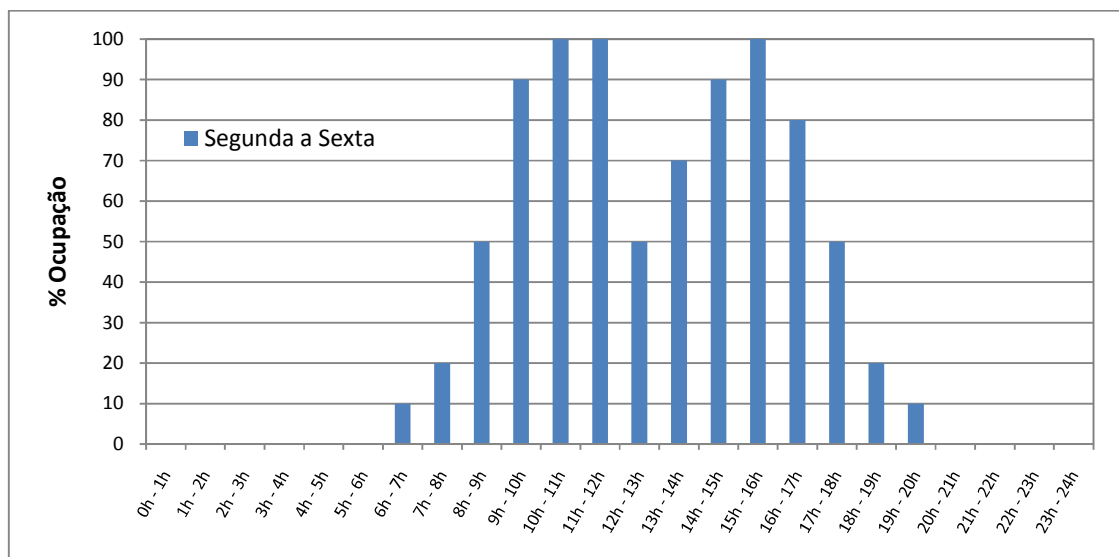
- **Ocupação**

Os horários de ocupação para as diferentes tipologias, são:

- a) **Gabinetes**

Este espaço, com densidade de 15 m<sup>2</sup>/ocupante, funciona a 50% das 8h00 as 9h00, das 9h00 as 12h00 a taxa de ocupação é de 90 a 100%, diminuindo durante o período de

almoço para 50%. Durante a tarde funciona de 80 a 100% até às 17h00, diminuindo até 10% das 17h00 as 20h00.



**Figura 47** – Evolução diária da percentagem de ocupação nos gabinetes, de segunda a sexta-feira.

A título de exemplo, tendo em conta os valores obtidos, e face ao estabelecido como padrão, numa breve análise verifica-se que o regulamento apresenta valores próximos ao real, para o perfil “Escritórios / ocupação”.

Tipologia	Área	Densidade real de ocupação	Densidade nominal de ocupação
Escritórios	875,74 m <sup>2</sup>	12 m <sup>2</sup> /ocupante	15 m <sup>2</sup> /ocupante

**Tabela 13** – Comparação entre a densidade ocupacional real face aos valores padrão do RSECE, para o piso 3 do edifício A.

#### b) Bares, Refeitórios e Cozinha

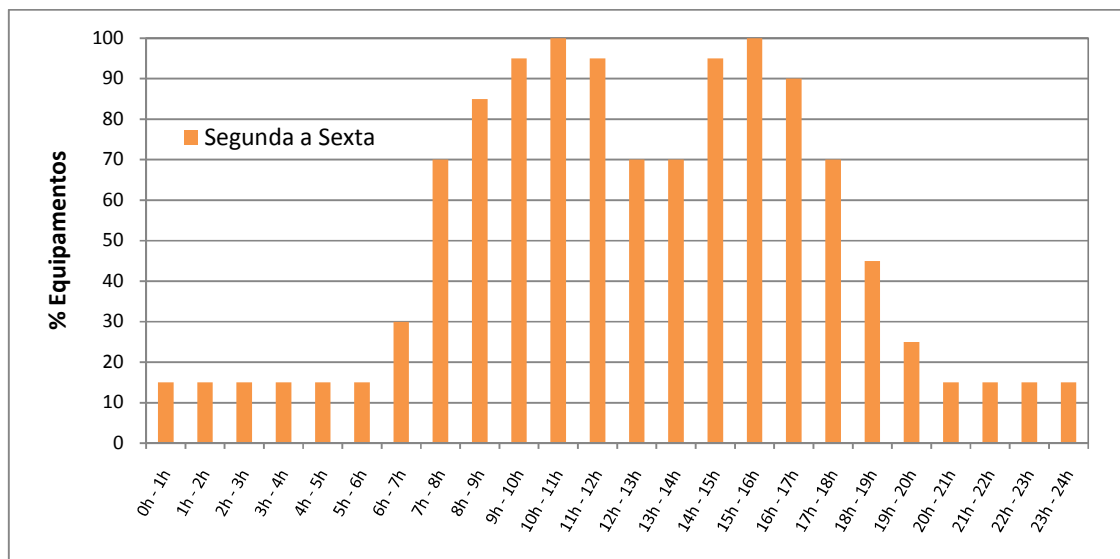
Estes dados podem ser consultados no anexo 2.

- **Equipamentos**

Os horários de funcionamento dos equipamentos para as diferentes tipologias são:

a) **Gabinetes**

O perfil de utilização dos equipamentos nos escritórios tem densidade de 15 W/m<sup>2</sup>. Este horário de equipamentos serve para os equipamentos de todo o edifício, tais como computadores, monitores, impressoras, etc.



**Figura 48** – Evolução da percentagem diária da utilização dos equipamentos, nos gabinetes.

Novamente, para comparação, tendo em conta os valores obtidos, e face ao estabelecido como padrão, numa breve análise verifica-se que existe alguma diferença da densidade de equipamentos existentes, para o perfil “Escritórios / Equipamentos”.

Tipologia	Área	Densidade real de equipamentos	Densidade nominal de equipamentos
Escritórios	875,74 m <sup>2</sup>	10 W/m <sup>2</sup>	15 W/m <sup>2</sup>

**Tabela 14** – Comparação entre a densidade de equipamentos real face aos valores padrão do RSECE, para o piso 3 do edifício A.

## b) Bares, Refeitórios e Cozinha

Estes dados podem ser consultados no anexo 2.

### • Iluminação

A iluminação é responsável por uma parte muito significativa da carga térmica e corresponde a uma percentagem elevada no consumo energético total do edifício. A nível de controlo da iluminação, nos gabinetes é feito por dois ou quatro interruptores, controlando 50% ou 25% da luz artificial, dependendo da dimensão da sala. Apenas os corredores dispõem de relógios horários de funcionamento, sendo nos restantes espaços acionado manualmente.

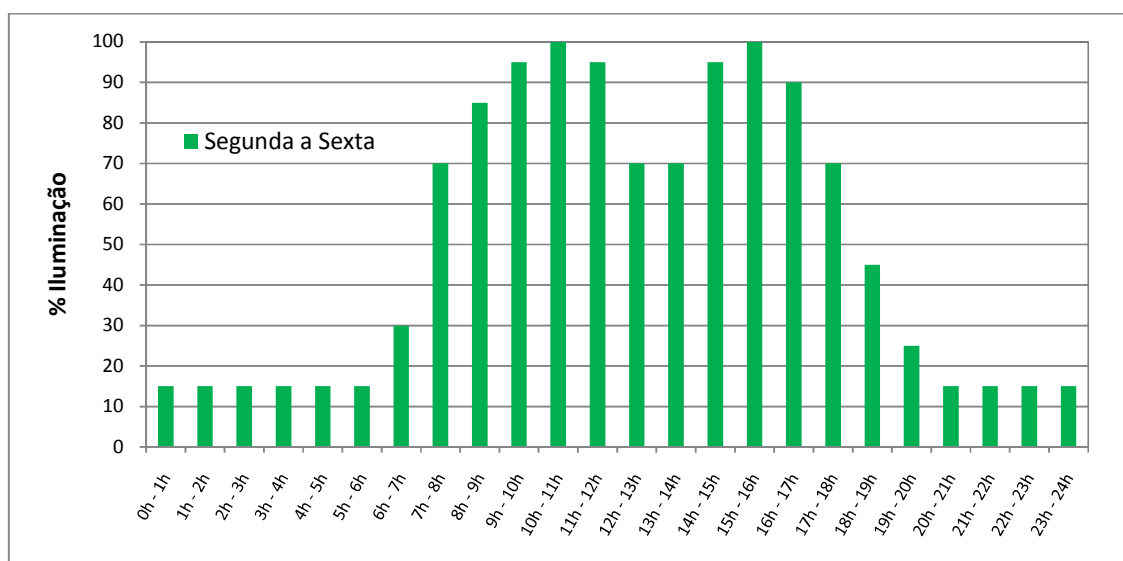
Em determinados espaços existe armaduras com controlo on/off em função da intensidade de luminosidade natural. Nestes casos não existem queixas quanto ao funcionamento do sistema, pois quando os níveis de luminosidade natural se encontram na fronteira, e a iluminação é desligada, existe uma temporização, evitando a intermitência de ligar e desligar constantemente.

Nos corredores podem encontrar-se luminárias refletoras marca ETAP, encastradas no teto com duas lâmpadas fluorescentes TLD18. Nos gabinetes e salas de reunião têm instaladas luminárias de régua suspensas com uma lâmpada TLD58. A eletrificação das luminárias é feita por balastos eletromagnéticos, exceto na zona dos bares e refeitórios. Ainda em alguns espaços de circulação comum existem lâmpadas fluorescentes compactas DULUX D 18W.

Os horários de funcionamento da iluminação para as diferentes tipologias são:

a) **Gabinetes**

Dos dados recolhidos aquando da visita pelos diversos espaços, considerou-se um valor da densidade de iluminação nos gabinetes de  $10 \text{ W/m}^2$ , com base na densidade real de iluminação que se verifica nos espaços, como registado na tabela 44 no anexo 8.



**Figura 49** – Evolução da percentagem diária da utilização da iluminação, nos gabinetes.

b) **Bares, Refeitórios e Cozinha**

Estes dados podem ser consultados no anexo 2.

### 5.2.7 Características dos Sistemas AVAC

Os edifícios A e D do Complexo de Alfragide encontram-se dotados de um sistema de gestão centralizada (SGTC) para controlo dos equipamentos de AVAC, bastante elaborado, permitindo assim efetuar ajustes e medições das eficiências dos equipamentos. É importante agora identificar as principais fontes consumidoras de energia para análise e elaboração, tanto do modelo dinâmico, como para o plano de racionalização de energia.

É a partir da central térmica localizada no edifício E que se desenvolve a climatização para os edifícios A e D, através das caldeiras geradores de vapor existentes no seu interior para **produção de calor** para posterior aquecimento ambiente e águas quentes sanitárias, e por dois *chillers* situados na cobertura, para **produção de frio**, neste caso de água gelada, para fornecimento a dois bancos de gelo fechados<sup>5</sup>, estes também situados na cobertura do edifício.



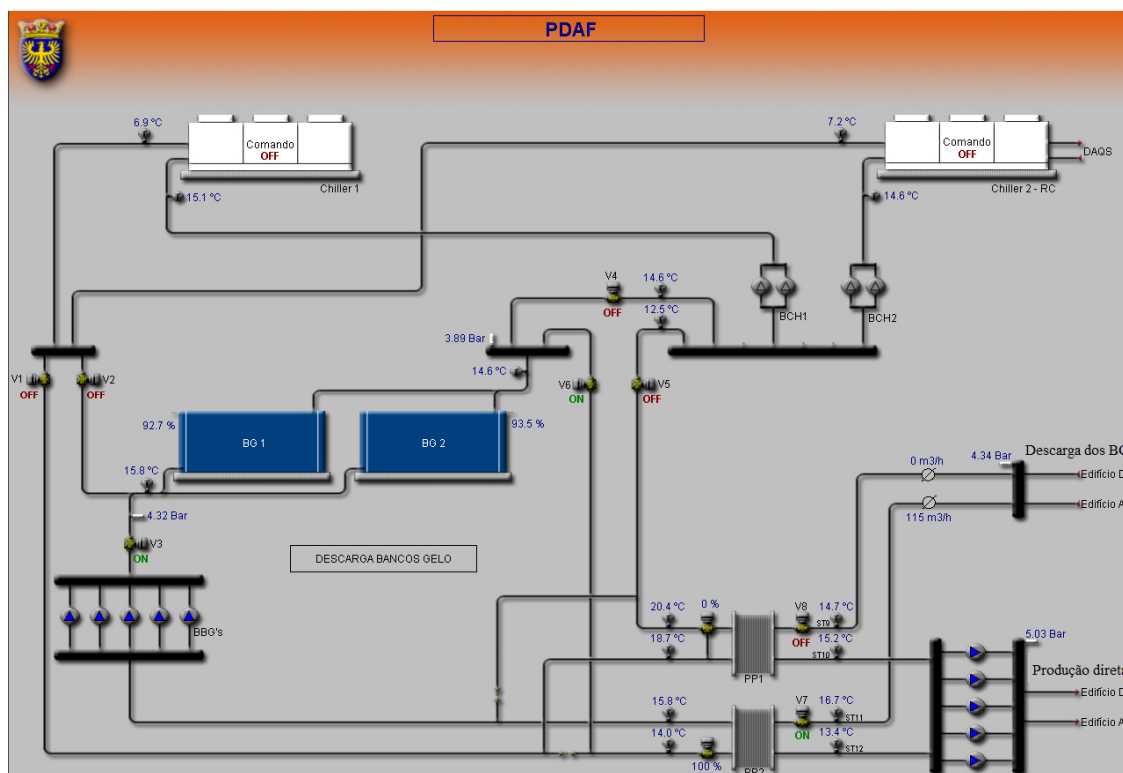
**Figura 50** – Cobertura do edifício E.

---

<sup>5</sup> Nos bancos de gelo fechados, a água glicolada do circuito de produção, circula em tubagem fechada e está imersa num produto que congelará e que fará a acumulação de energia. É um sistema técnico mais complexo e caro, mas tem a vantagem da rede hidráulica de produção ser fechada, embora sendo necessário o seu preenchimento com uma solução de glicol.

- **Subestação de arrefecimento**

É conseguido através de dois *chillers* com *set-point* de temperatura negativo, que carregam dois bancos de gelo durante a noite<sup>6</sup>, e que por sua vez estes descarregam durante o dia, sendo a água gelada distribuída a uma subestação localizada no interior do edifício E, constituída por bombas de caudal variável com a função de a distribuir pelos edifícios A e D.



**Figura 51** – Esquema da subestação de arrefecimento. Fonte: Controlo de Gestão Centralizado (UAL).

Os dois *chillers* são constituídos por compressores de parafuso, que absorvem em plena carga 374 kW de potência elétrica (187 kW/*chiller*), e uma potência frigorífica térmica de 678 kW (339 kW/*chiller*). Da existência de dois bancos de gelo, e através de um sistema de gestão técnica centralizada, é possível operar a subestação em 3 ciclos distintos:

<sup>6</sup> O propósito de serem carregados os bancos de gelo durante a noite, é o de utilizar um tarifário energético muito mais económico, e utilizar essa energia durante o dia. Os *chillers*, como carregam os bancos de gelo no período noturno, possuem uma eficiência melhor, pois não estão dependentes das temperaturas elevadas, sentidas durante o dia.

- ✚ Carga dos bancos de gelo;
- ✚ Descarga dos bancos de gelo;
- ✚ Produção direta de frio.

No ciclo de carga, o qual ocorre no período da noite a partir das 22h, os *chillers* funcionam com um *set-point* na água (com 30% de glicol) de retorno de -5°C, possibilitando desta forma que os bancos de gelo acumulem energia, pela mudança de fase da água, por congelação e posterior descongelação, aproveitando o valor do calor latente<sup>7</sup> de fusão que é de 334 kJ/kg. Os bancos de gelo à sua plena carga, têm a capacidade de armazenar 2634 kWh de energia total.

Verificou-se as potências das bombas de circulação existentes e calculou-se o COP equivalente para o sistema de chillers e bancos de gelo, conforme tabela 15.

Equipamento	EER	Potência térmica (kW)	Potência eléctrica (kW)	EER <sub>ponderado</sub>
<b>Chiller</b>	1,81	678	374	1,56
<b>Bomba Circ. 1</b>	--	--	30	
<b>Bomba Circ. 2</b>	--	--	30	

**Tabela 15** – Determinação do valor do EER ponderado.

Sendo que:

$$EER_{ponderado} = \frac{Potência\ térmica}{\sum Potência\ eléctrica}$$

**Equação 6** – Determinação do EER ponderado.

De modo a perceber se o sistema é de acumulação total, i.e., se toda a energia utilizada durante o dia é previamente produzida e armazenada em período fora da sua utilização, é

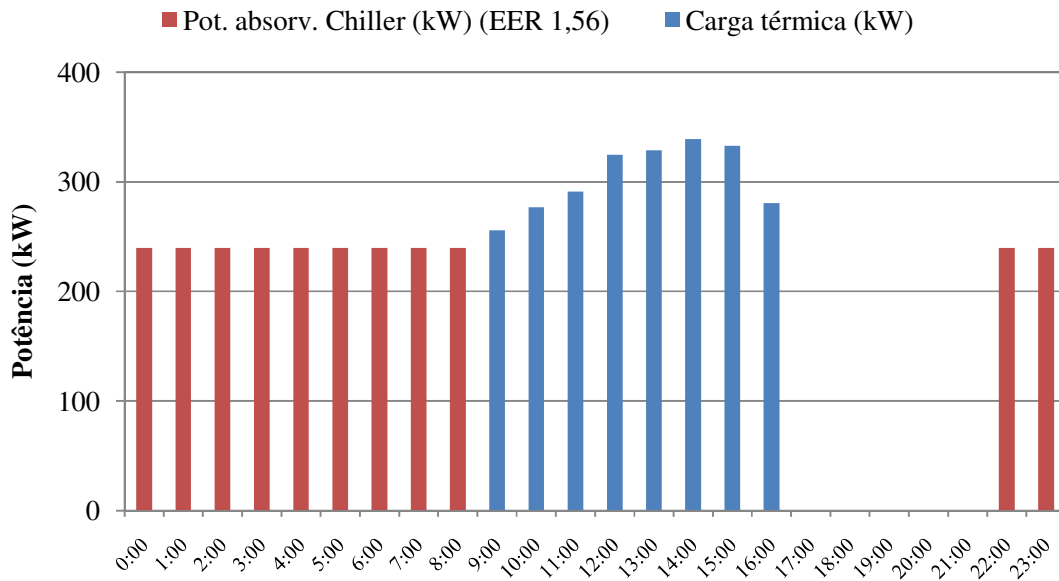
<sup>7</sup> Grandeza física que relacionada à quantidade de calor que uma unidade de massa de uma determinada substância deve receber ou ceder para mudar de fase, ou seja, passe do estado sólido para o líquido, do líquido para o gasoso e vice-versa. Durante a mudança de fase a temperatura da substância não se altera, mas o seu estado de agregação molecular modifica-se.

essencial conhecer a carga que o edifício necessita, determinando a potência absorvida pelos *chillers* que será utilizada para a climatização.

Hora	Carga (%)	Potência de ponta (kW)	Carga térmica (kW)	Pot. absorv. Chiller (kW) (EER 1,56)
0 - 1	0,05%	374	0,2	239,7
1 - 2	0,05%	374	0,2	239,7
2 - 3	0,05%	374	0,2	239,7
3 - 4	0,05%	374	0,2	239,7
4 - 5	0,05%	374	0,2	239,7
5 - 6	0,05%	374	0,2	239,7
6 - 7	0,05%	374	0,2	239,7
7 - 8	0,05%	374	0,2	239,7
8 - 9	0,05%	374	0,2	239,7
9 - 10	68,44%	374	256,0	0,0
10 - 11	74,01%	374	276,8	0,0
11 - 12	77,81%	374	291,0	0,0
12 - 13	86,77%	374	324,5	0,0
13 - 14	87,92%	374	328,8	0,0
14 - 15	90,63%	374	338,9	0,0
15 - 16	89,01%	374	332,9	0,0
16 - 17	75,05%	374	280,7	0,0
17 - 18	0,05%	374	0,2	0,0
18 - 19	0,05%	374	0,2	0,0
19 - 20	0,05%	374	0,2	0,0
20 - 21	0,05%	374	0,2	0,0
21 - 22	0,05%	374	0,2	0,0
22 - 23	0,05%	374	0,2	239,7
23 - 24	0,05%	374	0,2	239,7
			<b>2432,7</b>	<b>2637,2</b>

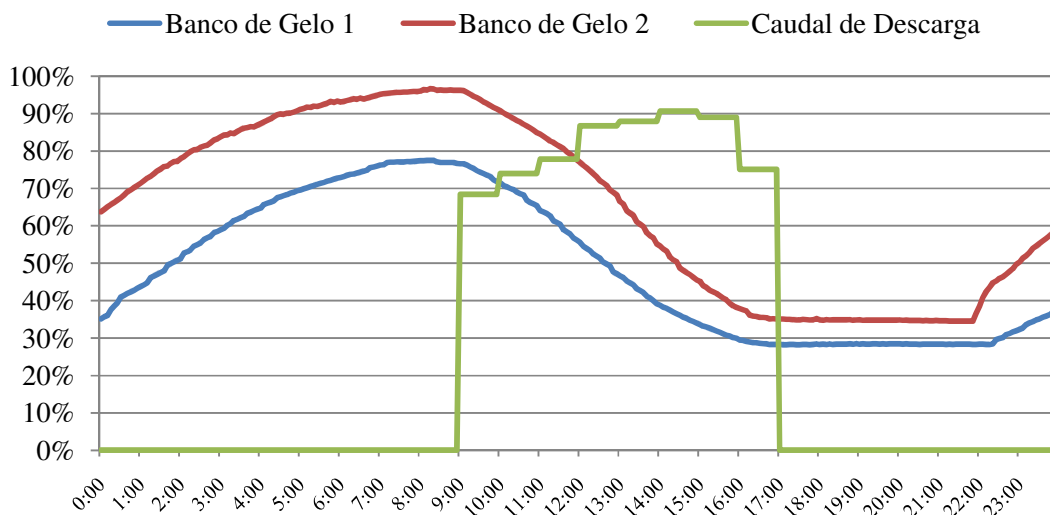
**Tabela 16** – Histograma de um dia médio de semana. Fonte: SGTC.

A potência absorvida pelo conjunto dos dois *chillers* (2637,2 kW) é superior à potência térmica necessária (2432,7 kW) para as necessidades de climatização dos edifícios A e D.



**Figura 52** – Diagrama do modo de funcionamento da acumulação e utilização.

Fazendo uma breve análise da utilização do conjunto *chillers* e bancos de gelo, face à tarifa horária praticada, conclui-se que o horário de funcionamento de ambos é o mais indicado, uma vez que, necessitando os bancos de gelo de 11 horas para carregarem, esse período abrange na totalidade o período de vazio normal e super vazio, apanhando no entanto uma hora do período de cheias, das 22h às 23h.



**Figura 53** – Histograma de carga e descarga dos bancos de gelo, face ao caudal de descarga térmica.

O controlo de carga dos bancos de gelo é efetuado por dois transdutores de pressão, os quais monitorizam o nível de carga dos bancos de gelo, e está programado para que quando um deles atingir 95% da carga, ocorre a paragem de carregamento de ambos os *chillers*. Contudo, dos dados recolhidos através do SGTC, é notório o desfasamento que existe entre os dois bancos de gelo, cerca de 30%, o que se traduz numa perda significativa da capacidade de utilização dos sistemas. No entanto é de realçar que durante a climatização dos edifícios, não é necessário os sistemas entrarem em produção direta.

Os bancos de gelo estão programados para que, durante o ciclo de descarga quando atingirem 30% da sua carga, inicia-se o ciclo de produção direta, de modo a evitar que os bancos de gelo descarreguem por completo. No ciclo de produção direta, os *chillers* funcionam com uma temperatura de retorno de 7,5°C, para se obter 7°C no secundário do permutador de placas, designado por PP1.

No ciclo de descarga dos bancos de gelo, o qual se inicia a partir das 09h00, a energia latente armazenada nos bancos de gelo é utilizada para produzir água refrigerada a 7°C, num permutador de placas, designado por PP2.

- **Subestação de aquecimento**

A subestação de aquecimento, que se localiza no interior do edifício E, é munida com três caldeiras da marca TERMEC, modelo Condor Minor, alimentadas a Gás Natural, que produzem vapor e o fornecem a uma segunda subestação térmica localizada no interior do edifício D, para posterior distribuição de AQS e aquecimento ambiente, podendo ser consultados no anexo 10, os diagramas referentes às instalações mencionadas.



**Figura 54** – Caldeiras de vapor na estação de produção de calor.

As caldeiras possuem um rendimento baixo, exigem muita manutenção e pessoal especializado (fogueiros), por se tratar de equipamentos sobre pressão. O seu rendimento rondará os 56%. São compostas por queimadores WEISHAUPPT do tipo G, com um rendimento nominal de 85% [conforme ficha técnica], com uma potência térmica unitária de 190 kW. O vapor é produzido e distribuído a 150°C por tubagens isoladas termicamente, até à subestação de produção de água quente, onde recebe o vapor produzido num permutador de placas vapor-água, designado por PP4. A distribuição dos caudais de água quente é realizada por 4 eletrobombas de caudal variável (trabalham 2 a 2, alternadamente).

Após a transferência de calor (no PP4), o fluido retorna a um depósito de condensados, a partir do qual se faz o abastecimento de água à caldeira, que no entanto sofre um tratamento para a eliminação do carbonato de cálcio (calcário) e correção do pH.

Gerador	Registo	Fabricante	Ano	Área Aquec.	Vaporização	Capacidade
1	8827/L	TERMEC	1981	50 m <sup>2</sup>	2000 kg/h	3900 litros
2	8828/L	TERMEC	1981	50 m <sup>2</sup>	2000 kg/h	3900 litros
3	8829/L	TERMEC	1981	75 m <sup>2</sup>	3000 kg/h	6570 litros

**Tabela 17** – Características das Caldeiras a Vapor.

- **Distribuição de frio e calor**

Um aspeto importante observado para aproveitamento de energia, é o facto do *chiller* 2 dispor de um sistema de recuperação de calor, para preparação de águas quentes sanitárias, em que a potência de recuperação nominal é de 122 kW. A água do recuperador é circulada num permutador de placas água-água, designado por PP3.



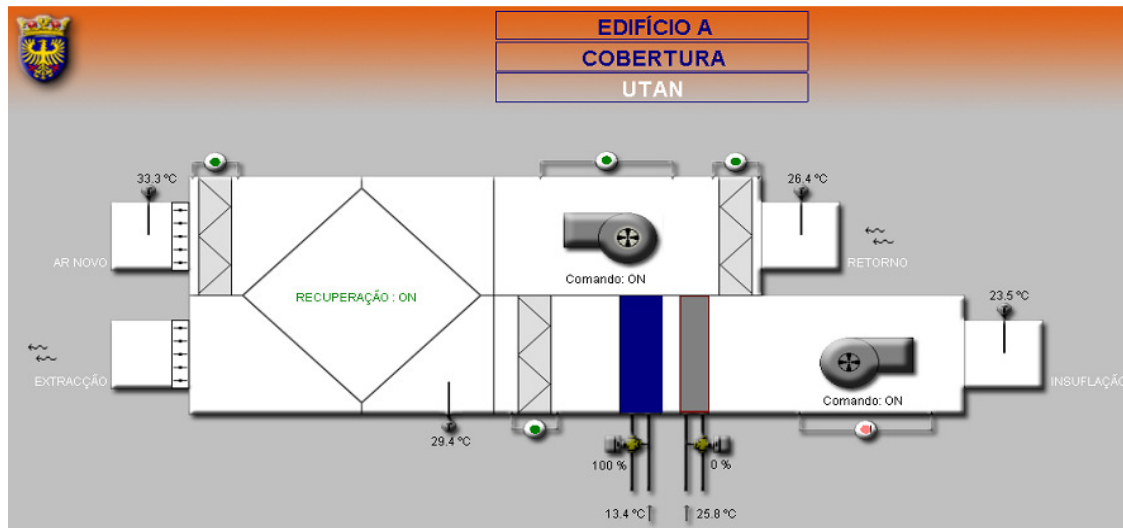
**Figura 55** – Permutador de placas nº 3, do tipo água-água.

No entanto, as AQS servem apenas as cozinhas, pelo que nas copas, as máquinas de lavar loiça têm no interior resistências elétricas para o aquecimento da água (entre 60 a 80°C). As características dos permutadores de placas do sistema AVAC A/D, estão resumidas na tabela seguinte.

Refª Proj	Potência	Nº Placas	Caudal Primário	Temp. Ent/Saída	Caudal Secundário	Temp. Ent/Saída
PP1	663 kW	119	114 m <sup>3</sup> /h	5°C / 10°C	120 m <sup>3</sup> /h	12°C / 7°C
PP2	1080 kW	205	200 m <sup>3</sup> /h	5°C / 10°C	186 m <sup>3</sup> /h	12°C / 7°C
PP3	58 kW	23	5 m <sup>3</sup> /h	50°C / 40°C	2 m <sup>3</sup> /h	10°C / 40°C
PP4	930 kW	24	1600 kg vapor/h	150°C	80 m <sup>3</sup> /h	55°C / 65°C

**Tabela 18** – Descrição dos permutadores de placas. Fonte: especificações técnicas dos equipamentos.

A distribuição (de frio e calor) é conseguida através de tubagens hidráulicas com água fria a baixa pressão, e água quente, para 154 unidades interiores (ventiloconvectores) e cinco unidades de tratamento de ar, cada uma com recuperador de energia através de permutadores do tipo placas cruzadas, que se localizam na cobertura dos edifícios A e D.



**Figura 56** – Esquema da UTAN responsável pela renovação de ar novo no edifício A. Fonte: SGTC.

Outros esquemas dos diversos equipamentos de climatização podem ser consultados no anexo 3, bem como um exemplo de distribuição das unidades individuais interiores num dos sete pisos do edifício A.

No sistema “tudo ar”, o ar é aquecido ou arrefecido através de baterias, e é transportado ao local a climatizar por condutas isoladas termicamente, previamente aquecido ou arrefecido, respetivamente, nas UTAs. O ar tratado na UTA é distribuído a todas essas salas nas mesmas condições de temperatura e humidade.

### **Edifício A**

A instalação de climatização e ventilação é constituída por uma UTAN, que faz a filtragem e tratamento térmico do ar novo a introduzir no edifício, e por um conjunto de unidades de ventiloconvectores, que fazem a correção de temperatura localmente nos

gabinets em que estão instalados. As unidades ventiloconvectors estão instaladas sobre o teto falso, em posição horizontal.

A cada ventiloconvector está ligado um terminal de *interface* (comando / sensor) instalado numa parede próxima da unidade, e equipado com um módulo de interface, que recebe informação do sistema principal do SGTC, e do módulo de comando. Este módulo de comando disponibiliza as seguintes informações: temperatura ambiente do espaço, indicador de velocidade do ventilador, indicador se está em aquecimento ou em arrefecimento, comandos para subir ou descer a temperatura. Neste comando só é possível corrigir  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  da temperatura, de um *set-point* definido no SGTC.

### **Edifício D**

Já no edifício D, as UTAs, equipadas com recuperadores de energia do tipo estático, de placas de fluxo cruzado, possuem um registo onde é controlada a compensação de ar novo introduzido, as quais dispõem de ventiladores de insuflação e ventiladores de extração. Consoante as condições interiores nos espaços, haverá recirculação parcial ou a insuflação de 100% de ar novo. Só é possível a definição do valor da temperatura no sistema de gestão centralizado. Na cozinha a exaustão da hotte central é assegurada por um ventilador do tipo axial, instalado no topo da courete, e o ar novo é pré-aquecido no inverno, por duas UTVs. Nos armazéns, a ventilação é assegurada por um conjunto de ventiladores, e por uma rede de condutas.

Os caudais de ar foram verificados efetivamente nos equipamentos de distribuição (UTAN e UTAs). Verificou-se que os valores tendem a ser mais baixos do que os de projeto, constatando-se que as unidades funcionam com uma percentagem de ar novo de aproximadamente 40%.

Equipamento	Marca / Modelo	Caudal ar insuflado (m <sup>3</sup> /h)	Zona que climatiza	Ocupação máxima
UTAN	TRANE / CCTA-062	27.504	Edifício A	200
UTA 1D	TRANE / CCTA-040	15.140	Bares	150
UTA 2D	TRANE / CCTA-040	15.196	Restaurante	150
UTA 3D	TRANE / CCTA-050	18.777	Restaurante	150
UTA 4D	TRANE / CCTA-023	8.297	Restaurante	40

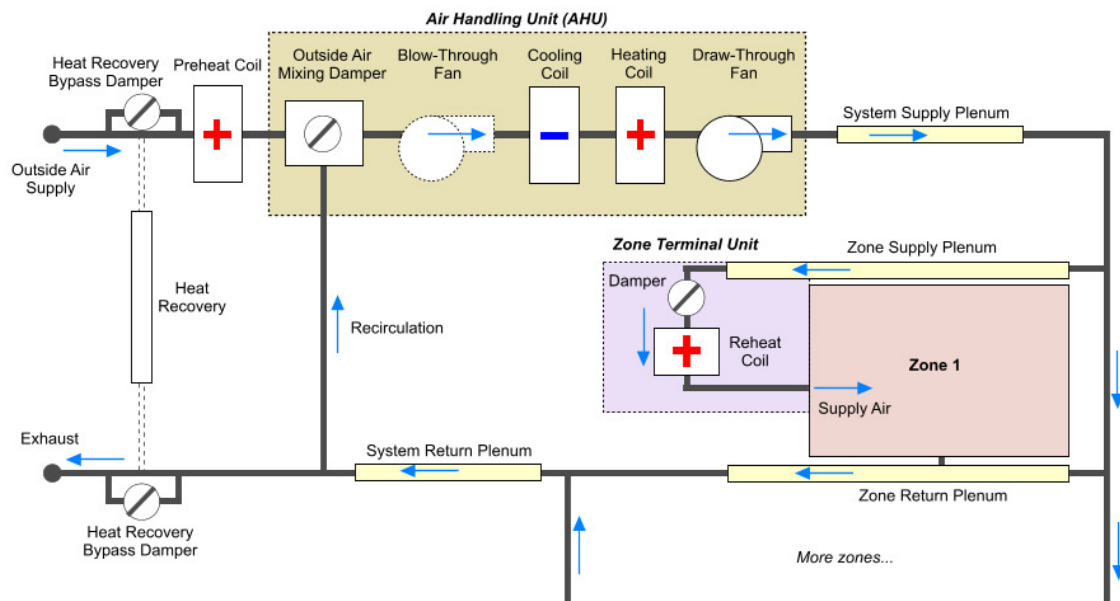
**Tabela 19** – Caudal de ar novo das várias UTAs dedicadas ao edifício D. Fonte: UAL.

As características dos sistemas de climatização consideradas no modelo de simulação detalhada devem corresponder à dos equipamentos efetivamente instalados. O *DesignBuilder* disponibiliza 5 *templates* em modo compacto, para a caracterização do sistema AVAC:

- “Unitary Single Zone” (sistema simples de expansão direta, volume de ar constante);
- “Fan Coil Units” (ventiloconvectores);
- “Unitary Multizone” (sistema de expansão direta, volume de ar constante, com várias opções de aquecimento);
- VAV (sistema de volume de ar variável);
- CAV (sistema de volume de ar constante).

O sistema de aquecimento “tudo-ar” instalado no edifício é de conduta simples com Volume de Ar Constante (CAV). Este permite insuflar ar a um caudal constante, alterando a temperatura de insuflação do mesmo, por forma a garantir a inserção da carga térmica necessária para atingir as condições de conforto. A climatização é efetuada por mistura, ou seja, o ar lançado no espaço a climatizar mistura-se com o ar da sala.

O sistema CAV escolhido para o modelo de simulação, apresenta várias opções de “Preheat Coil”, “Reheat Coil” e Recuperador de Calor. Apenas é possível ter um sistema CAV por edifício na simulação, como tal foi apenas escolhida a opção que é adequada às UTAs do edifício em estudo.



**Figura 57** - Esquema representativo do sistema AVAC tipo CAV disponível para simulação. Fonte: <http://www.designbuilder.co.uk/helpv3>.

Assim é permitido definir o sistema de climatização com um maior detalhe como a introdução de dados sobre a caldeira. A simulação neste modo apenas permite obter todos os resultados do IEE a nível do edifício, e não por tipologias, devido à impossibilidade de separar os consumos por zonas. É também definido apenas um COP para a estação de aquecimento e outro para a estação de arrefecimento.

Para os sistemas individuais, tipo ventiloconvectores, presentes nos gabinetes, foi escolhido o sistema “Unitary Single Zone”. As condições de conforto interior de referência, apresentadas no RCCTE são as que estão definidas: para o período de Inverno a temperatura do ar é de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  e humidade relativa não inferior a 40%, e uma temperatura do ar de  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento (artigo 14º do RCCTE).

Nos casos de estratégia de circulação do ar por mistura há sempre algum ar insuflado que é extraído sem que passe na proximidade dos ocupantes. No sentido de harmonizar o modo de atuação dos Peritos Qualificados nesta temática, é entendimento do grupo de peritos que integram a Coordenação Científica do SCE, a utilização apenas dos valores de

60, 70, 80 e 90% para a eficiência de ventilação (fonte: Perguntas & respostas, RSECE – QAI) de acordo com o posicionamento das condutas de insuflação e extração em cada divisão a ser climatizada. Para o sistema de ventilação presente nos edifícios foi considerada uma eficiência de 70%, pois a insuflação e a extração são feitas pelo teto.

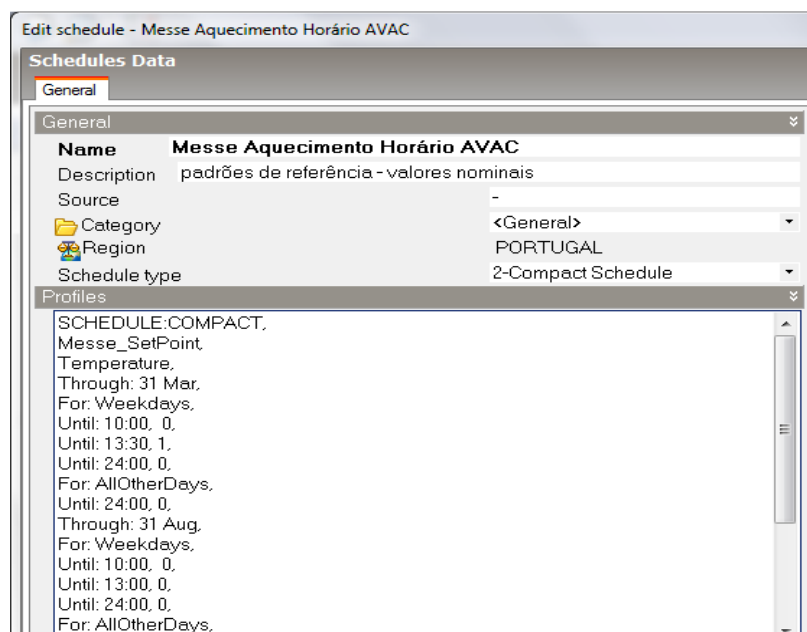
O horário atual de funcionamento dos equipamentos foi fornecido pelo Departamento de Manutenção, e está dividido em dois horários distintos, horário de Verão e horário de Inverno. Como existem repetições típicas, deve-se recorrer à caracterização do ano por tipos de dias (e.g. dia de semana, sábado, domingo, feriado, mês, inverno, verão, etc.). Os dados recolhidos foram registados em tabelas que podem ser consultadas no anexo 2.

As unidades em estudo dedicadas ao edifício D, são responsáveis pela climatização das zonas dos bares e refeitórios, espaços que só estão ocupados entre o período das 12h00 e 14h00. No entanto estas entram em funcionamento às 10h00, pelo que entre as 10h00 e as 12h00 não existe razão para que estas zonas estejam climatizadas, no entanto, e no caso destas unidades ligarem mais tarde será necessária uma potência muito maior para remover a carga térmica, que foi aumentando no período em que as unidades não estavam ligadas. Após alguns testes ao funcionamento das UTAs, os horários já definidos foram mantidos. Contudo, o facto da UTA 3D funcionar até mais tarde, deve-se por esta unidade também climatizar a zona das copas, a qual funciona até mais tarde.

Com base nos dados recolhidos, foram introduzidos os respetivos valores no *DesignBuilder*, para as diferentes tipologias, como exemplificado na figura abaixo:

### **Edifício D**

Aquecimento - O horário de aquecimento do edifício D é das 10h00 às 13h00 durante o período de aquecimento (de 01 de Outubro a 31 de Março).



**Figura 58** – Introdução da programação do horário de funcionamento dos sistemas AVAC no *DesignBuilder*.

Os restantes dados introduzidos no *software* de simulação podem ser consultados no anexo 2.

### 5.2.8 Renovação de ar

O caudal de ar novo usado em condições nominais de simulação dinâmica, tem em consideração a ocupação nominal prevista no Anexo XV do RSECE, enquadráveis no tipo de atividade do local a climatizar, ou a área do mesmo. No entanto, no Anexo VI apresenta os dois valores, pelo que foi considerado para efeitos de simulação o maior caudal de ar novo.

De modo a introduzir esta condição no modelo em construção, foi escolhida a opção “5-Min fresh air (Max per person and per área)”, esta faz com que o programa considere o valor de caudal máximo em m<sup>3</sup>/s, obtido pelo cálculo:

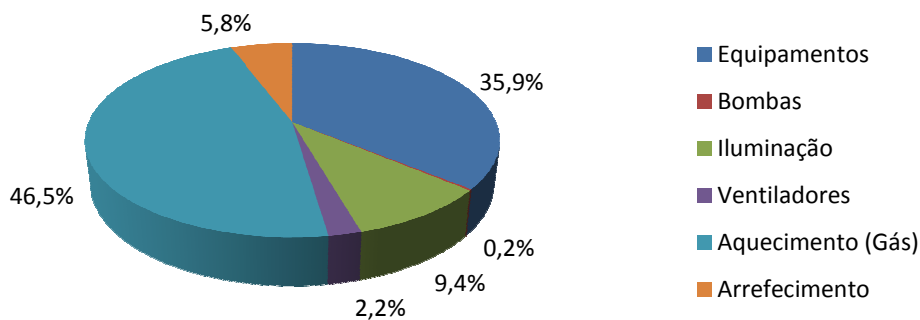
$$(1/s\cdot m^2 \times ZoneFloorArea / 1000) \text{ e } (MinFreshAir \times NumberPeople/ 1000)$$

- “ZoneFloorArea”: é a área real do espaço;
- “MinFreshAir”: é a taxa mínima de ar fresco por área (l/s-m<sup>2</sup>);
- “NumberPeople”: densidade de ocupação (people/m<sup>2</sup>) x Zone floor area (m<sup>2</sup>);
- “MinFreshAir”: é a taxa mínima de ar novo por pessoa (l/s/person).

### 5.3 Análise de resultados

Foram necessárias várias tentativas para atingir um grau de comparação entre os valores reais e os simulados, que tivessem o máximo de coerência possível.

Já com o modelo definido e calibrado, registaram-se os dados obtidos pela simulação (anexo 4) e desagregaram-se, de modo a perceber o peso que cada componente tem face ao consumo obtido.



**Figura 59** – Consumos desagregados dos edifícios A e D. Fonte: DesignBuilder/Simulation.

É notório os principais consumidores de energia, nos edifícios A e D. Em relação ao aquecimento, uma vez que é necessário uma considerável quantidade de gás natural com a finalidade de produzir vapor, que por sua vez aquece água a 60/65°C, era de esperar que fosse um grande consumidor de energia. Por outro lado, face ao número de equipamentos elétricos em uso na cozinha, também era de esperar que houvesse um grande consumo. Em terceiro está a iluminação, uma vez que estão instaladas cerca de 2332 lâmpadas nos dois edifícios (417 de 10W, 742 de 18W, 112 de 36W e 1061 de 58W).

Energia (kWh/ano)	Equipamentos	Iluminação	Ventiladores	Bombas	Aquecimento (Gás)	Arrefecimento
<b>Edifício A</b>	152.997	129.687	6.903	1.368	477.273	31.275
<b>Edifício D</b>	547.956	54.115	35.249	2.540	431.355	81.378

**Tabela 20** – Desagregação dos consumos dos edifícios A e D. Fonte: DesignBuilder/Simulation.

Em relação à climatização dos edifícios, verifica-se que o consumo para o aquecimento é em média oito vezes superior ao de arrefecimento, uma vez que por serem equipamentos relativamente recentes, são também mais eficientes, assim como a fonte energética é diferente. Isto significa que, pelos resultados obtidos, o consumo médio de gás corresponde a 46,6% do consumo global.

### 5.3.1 Determinação do IEE nominal

Para determinar o indicador de eficiência energética obtido pela simulação, é necessário separar os consumos em Aquecimento, Arrefecimento, e outras energias, e converter os resultados em energia primária.

- **Edifício A**

		IEE nominal
IEE para aquecimento	2,32 kgep/m <sup>2</sup> .ano	8,36 kgep/m <sup>2</sup> .ano
IEE para arrefecimento	0,42 kgep/m <sup>2</sup> .ano	
IEE para outros consumos	5,62 kgep/m <sup>2</sup> .ano	

**Tabela 21** – Determinação do IEE nominal do edifício A.

- **Edifício D**


		IEE nominal
IEE para aquecimento	6,45 kgep/m <sup>2</sup> .ano	47,69 kgep/m <sup>2</sup> .ano
IEE para arrefecimento	3,32 kgep/m <sup>2</sup> .ano	
IEE para outros consumos	37,93 kgep/m <sup>2</sup> .ano	

**Tabela 22** – Determinação do IEE nominal do edifício D.

## 6. Classificação energética

O Certificado Energético, emitido por um PQ para cada edifício ou fração autónoma, é a face visível da aplicação dos regulamentos (RCCTE e RSECE). Inclui a classificação do imóvel em termos do seu desempenho energético, determinada com base em pressupostos nominais (condições típicas ou convencionadas de funcionamento).

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+ corresponde a um edifício com melhor desempenho energético, e a classe G corresponde a um edifício de pior desempenho energético. No entanto os edifícios novos (com pedido de licença de construção após entrada em vigor do SCE), as classes energéticas variam apenas entre as classes A+ e B-. Os edifícios existentes podem ter qualquer classe.



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-	$IEE_{ref} - 0,25.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref}$
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	$IEE_{ref} + 2.S < IEE_{nom}$

**Figura 60** – Metodologia para determinação da Classe Energética em Edifícios de Serviços. Fonte: SCE.

A Classificação Energética de edifícios de serviços com sistemas de climatização superior ou igual a 25 kW de potência instalada, é calculada a partir dos valores do IEE<sub>nom</sub>, IEE<sub>ref</sub> e do valor de parâmetro S<sup>8</sup>, em que S é a soma dos consumos específicos para aquecimento, arrefecimento e iluminação, conforme determinados na simulação dinâmica que deu origem aos valores limites de referência para edifícios novos que constam no regulamento. As metodologias de cálculo utilizadas na determinação da classe energética de um edifício dependem da sua tipologia.

<sup>8</sup> O valor de S não é determinado pelo Perito Qualificado, é um valor de referência que se encontra disponível na Regulamentação de Energia em Edifícios – RSECE.

Tipologia	IEE <sub>ref</sub>	S	Área útil
IEE <sub>gabinetes</sub> (Escritórios)	35	15	14.490
IEE <sub>refeitório</sub> (Restaurantes)	120	33	781
IEE <sub>bar</sub> (Pastelarias)	140	58	758
IEE <sub>cozinha</sub> (Cozinhas)	121	5	432
IEE <sub>arrumos</sub> (Armazéns)	15	5	3.451

**Tabela 23** – Parâmetros para determinação da classe energética dos edifícios.

Foi adotado o mesmo método descrito no ponto 4.1, na determinação do IEE referência. Dos valores obtidos foram determinadas as classes energéticas dos edifícios, individualmente. Os valores considerados na determinação da classe energética do edifício foram:

Edifício A		
IEE <sub>nominal</sub>	IEE <sub>referência</sub>	S <sub>ponderado</sub>
8,36 kgep/m <sup>2</sup> .ano	34,29 kgep/m <sup>2</sup> .ano	14,65 kgep/m <sup>2</sup> .ano
Edifício D		
IEE <sub>nominal</sub>	IEE <sub>referência</sub>	S <sub>ponderado</sub>
47,69 kgep/m <sup>2</sup> .ano	60,49 kgep/m <sup>2</sup> .ano	17,68 kgep/m <sup>2</sup> .ano

**Tabela 24** – Parâmetros para determinação da classe energética do edifício A.

A metodologia para determinação da classe energética dos edifícios A e D encontra-se nos anexos 5 e 6. Os resultados obtidos indicam que o edifício A tem classe energética A+ e o edifício D tem classe energética A. Este resultado deverá ter forte influência pelas áreas consideráveis que compõem o edifício e dos muitos dias em que a climatização não se encontra em funcionamento, bem como as inúmeras luminárias que se encontram apagadas, comprometendo o conforto e o bem-estar dos ocupantes. Para além disto, o isolamento existente contribui de alguma forma para os resultados apresentados, uma vez que no caso das paredes exteriores temos um U de 1,562 W/m<sup>2</sup>.°C, embora no terraço tenha-mos um U de 3,158 W/m<sup>2</sup>.°C, mas que devido ao número considerável de pisos, diminui o seu impacto.

## 7. Plano de Racionalização de Energia

O propósito das medidas de melhoria é o de indicar soluções que quando aplicadas torne o edifício mais eficiente em termos energéticos. Para que tal se verifique, é oportuno o estudo a várias alterações em aspetos que tenham relevante influência nos consumos energéticos do edifício. Estas alterações têm de estar associadas a um *pay back* mínimo para que sejam consideradas economicamente viáveis.

### 7.1 Implementação de Caldeira para AQS

Um dos principais pontos consumidores de gás natural é na produção de águas quentes sanitárias para uso no edifício D, na cozinha. A implementação de uma caldeira visa diminuir os gastos com AQS que são elevados, no Complexo de Alfragide.

É disponibilizado no ponto 2 do anexo VI do RCCTE, o método de cálculo da energia dispensada com sistemas convencionais utilizados na preparação de AQS durante um ano, dada pela seguinte expressão:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4.187 \times \Delta T \times n_d}{3.600.000} \text{ (kWh/ano)}$$

**Equação 7** – Energia despendida com sistemas convencionais na preparação de AQS.

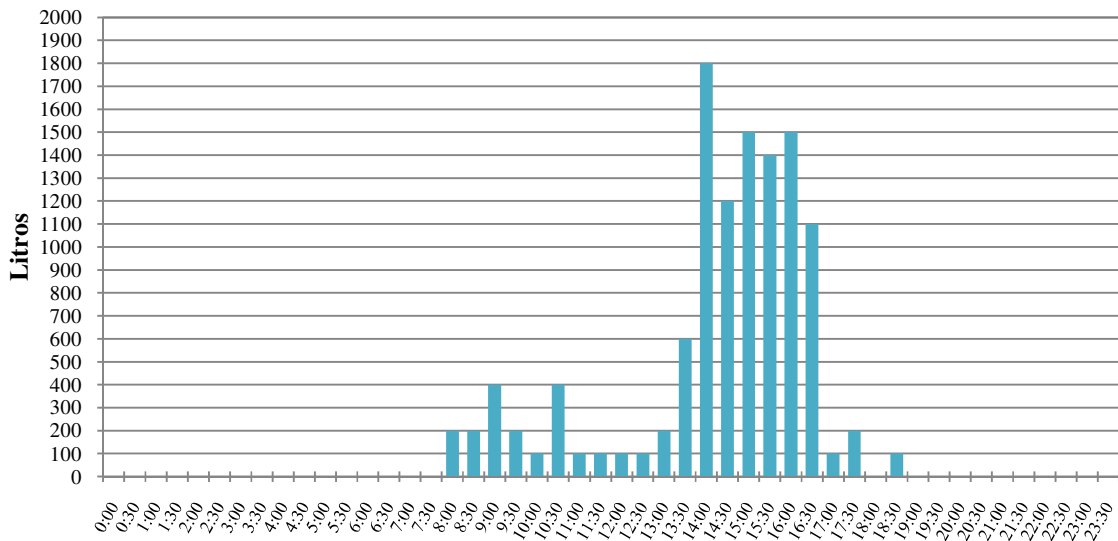
Sendo:

$M_{AQS}$  - Consumo médio diário de referência de AQS Projetos;

$\Delta T$  - Aumento da temperatura necessário para preparar AQS;

$n_d$  - Número anual de dias de consumo de AQS.

Para análise do consumo diário de água quente na cozinha, foram utilizados dados já anteriormente recolhidos pela Esquadra de Manutenção. Foram feitas leituras de 30 em 30 minutos, estimando o consumo diário de AQS, num dia típico de funcionamento da cozinha.



**Figura 61** – Registo de leituras no contador de fornecimento de águas quentes sanitárias. Fonte: dados registados pela Esquadra da Manutenção, em 04/06/2014.

Temos que o consumo diário é de aproximadamente 12.000 lts, com um  $\Delta T$  de 45°C, considerando que a água da rede pública de abastecimento é disponibilizada a uma temperatura média anual de 15°C e que deve ser aquecida à temperatura de 60°C, conforme descrito no ponto 2.2 do anexo VI do RCCTE.

O número anual de dias de consumo de AQS ( $n_d$ ) depende do período convencional de utilização dos edifícios e é indicado no quadro VI.2 do RCCTE, pelo que foi adotado 261 dias de utilização, uma vez que a cozinha não necessita de AQS aos fins-de-semana. Calculou-se o consumo médio anual em energia para AQS, não esquecendo que este valor tem de ser afetado pela eficiência da caldeira atual.

$$Q_a = \frac{12.000 \times 4.187 \times 45 \times 261}{3.600.000} = 163.921 \text{ kWh/ano}$$

Significa que são necessários cerca de 163.921 kWh de energia útil num ano para a preparação de AQS para utilização na cozinha. Com a eficiência da caldeira atual de 56%, a energia necessária para o efeito será de 292.716 kWh/ano.

Deste modo faz-se a comparação entre o valor do consumo referente a uma nova caldeira, e o valor da energia quando fornecida pela caldeira atual, fazendo a comparação da poupança relativamente ao investimento inicial, determinando o tempo de retorno do investimento.

Necessidades de Energia para preparação de AQS	163.921 (kWh/ano)
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS (caldeira atual)	56% (kWh/ano)
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS (caldeira nova)	90% (kWh/ano)
Energia útil dispensada com sistemas convencionais de preparação de AQS (caldeira atual)	292.716 (kWh/ano)
Energia útil dispensada com sistemas convencionais de preparação de AQS (caldeira nova)	182.134 (kWh/ano)
Custo de gás natural	0,08 (€/kWh)
Redução da fatura energética c/ caldeira nova	8.324,85 (€)
Custo da caldeira nova	25.000 (€)
Retorno do investimento	3 (anos)

**Tabela 25** – Tempo de retorno do investimento inicial da implementação de nova caldeira.

Para implementação de um sistema de produção de AQS seria necessário implementar, dois depósitos de acumulação para AQS com capacidade individual de 6000 litros, e todos os acessórios inerentes à instalação. Tendo em conta uma caldeira com tecnologia de condensação, alimentada a gás natural, e de elevado rendimento acima dos 90%, a escolha refletiu-se na marca ACV modelo Prestige 50 Solo Mk2.

## 7.2 Implementação de Sistema Solar Térmico

Trata-se de uma instalação que permite utilizar a inesgotável fonte de energia natural que é o sol, para aquecimento de água. A superfície do painel solar transforma a luz solar em calor aproveitável. Este calor é absorvido pelo líquido solar que se encontra dentro do painel e é transportado com a ajuda de uma bomba através de tubos devidamente

isolados, até ao depósito de água quente. A água quente está agora disponível num depósito acumulador. O material isolante deste, impede o arrefecimento da água, sendo possível utilizar a água quente através da energia solar em períodos onde não existe sol, i.e., durante a noite. Trata-se de otimização da energia, uma vez que a água é pré-aquecida antes de ir ao queimador, reduzindo a diferença do aumento da temperatura.

Associando esta medida de eficiência energética à anteriormente descrita (Implementação de Caldeira para AQS) visa ainda mais a redução do consumo de gás. Contudo, considera-se o sistema atual, com uma caldeira de performance de 0,56%, e sabendo que a necessidade de energia útil para preparação de AQS é cerca de 163.921 kWh num ano. O *software* Solterm é um excelente aplicativo auxiliar no projeto de sistemas solares térmicos. Considerou-se 12 módulos para satisfazer a necessidade de 9.000 litros de capacidade de armazenamento, e sistema auxiliar a gás natural, tendo em conta o perfil diário de necessidades. Uma vez que se estão a implementar medidas para redução do consumo de água na cozinha (como a aplicação de redutores de caudal) e não sobredimensionando o sistema, apenas considerou-se ser necessário 9.000 litros de armazenamento de água pré-aquecida pelos painéis solares térmicos, da marca Vulcano, modelo FKT-2S, orientados a sul, que irão fornecer 18.724 kWh anuais de energia solar. Deste modo é possível comparar a energia necessária para aquecimento das águas sanitárias durante um ano, com a energia que será fornecida pelo sistema solar térmico.

Energia fornecida pelo sistema solar térmico	18.724	(kWh/ano)
Eficiência do atual sistema de preparação de AQS	56%	(kWh/ano)
Energia útil dispensada com o sistema convencional de preparação de AQS	33.436	(kWh/ano)
Custo do gás natural	0,08	(€/kWh)
Redução da fatura energética com sistema solar térmico	2.517,12	(€)
Custo do sistema solar térmico	20.000,00	(€)
Retorno do investimento	8	(anos)

**Tabela 26** - Tempo de retorno do investimento inicial da implementação do sistema solar térmico.

### 7.3 Implementação de Sistema Solar Fotovoltaico

A implementação do sistema solar fotovoltaico visa diminuir os gastos com a energia elétrica, que são elevados, levando deste modo a uma poupança de eletricidade no uso diário dos edifícios A e D. No autoconsumo produz-se eletricidade através do sistema fotovoltaico, que é exatamente igual à que provém da rede do fornecedor. Desta forma, vai-se consumir diretamente a eletricidade que se produz e apenas irá ser utilizada a da rede durante o período noturno (que é quando o valor da eletricidade de rede é o mais baixo) ou houver algum pico de corrente de potência superior ao do sistema fotovoltaico instalado.

O consumo de eletricidade através do sistema fotovoltaico traduz-se em enormes vantagens Ecológicas, Práticas e Económicas:

- ✚ Na vertente **Ecológica**, utiliza-se uma fonte de energia limpa, inesgotável e gratuita, conseguindo-se uma redução acentuável da emissão de CO<sub>2</sub>;
- ✚ Na vertente **Prática**, é altamente flexível pois em qualquer altura se pode ampliar o sistema fotovoltaico sem prejuízo do que já foi instalado e com custos mais reduzidos. É possível a sua monitorização em qualquer computador, e mesmo fornecendo informação “in time” da produção fotovoltaica;
- ✚ Finalmente na vertente **Económica**, existem inúmeros atrativos. Sendo um sistema duradouro, vem com garantia de produção acima dos 90% a 20 anos e acima dos 80% aos 25 anos, tornando assim o seu *pay back* extremamente atrativo relativo ao período de produção. O início de retorno é imediato e reduz drasticamente o consumo da rede (e nos períodos onde os valores são mais altos), utilizando a totalidade da produção fotovoltaica, além de que fica menos dependente das constantes subidas dos preços e taxas do fornecedor.

No estudo para uma instalação de produção de energia elétrica através de painéis solares fotovoltaicos, pressupôs-se que o edifício oferece uma estrutura correta que suporta o sistema fotovoltaico, e teve-se em conta os diversos sistemas instalados em cada PT, bem

como a execução das infraestruturas elétricas necessárias a instalar entre o ponto de ligação do distribuidor de energia e o lado AC do inversor fotovoltaico, e sistema de gestão de autoconsumo, que inviabiliza o fornecimento de energia à rede.

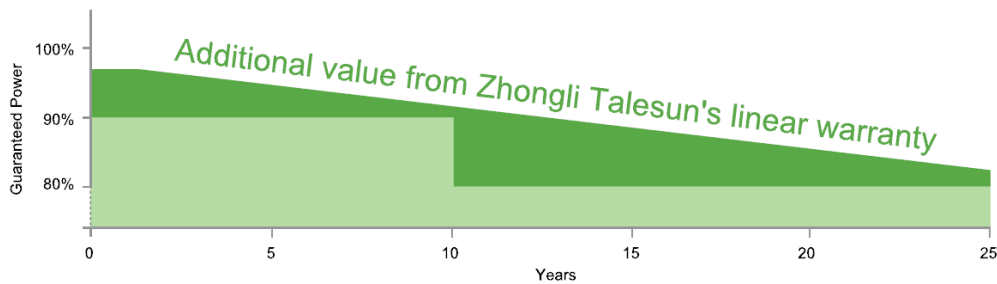
Será considerado, como exemplo de investimento, um sistema composto por painéis fotovoltaicos com uma potência total de 180,075 kWp instalados/integrados na cobertura do edifício A, perfazendo uma área de utilização dos painéis de 1.170,60m<sup>2</sup> a 10° Sul (dados adquiridos pelo *software* Solterm), tendo em conta os diferentes valores de radiação solar. Para efeitos de cálculo foram considerados os valores médios de produtividade de 1.575 kWh/kWp<sup>9</sup>. Com os consumos já conhecidos de energia elétrica, necessários para o funcionamento normal dos edifícios A e D, e tendo em atenção ao não sobredimensionamento da instalação, foi realizado o seguinte estudo:

Ano	kWp	Performance	kWh	kWh/Ano	Valor referência	Rentabilidade/Ano
1	180,075	97,0%	1.528	275.110	0,16€	44.017,53€
2	180,075	96,3%	1.517	273.124	0,16€	43.699,88€
3	180,075	95,6%	1.506	271.139	0,16€	43.382,23€
4	180,075	94,9%	1.495	269.154	0,16€	43.064,58€
5	180,075	94,2%	1.484	267.168	0,16€	42.746,92€
6	180,075	93,5%	1.473	265.183	0,16€	42.429,27€
7	180,075	92,8%	1.462	263.198	0,16€	42.111,62€
8	180,075	92,1%	1.451	261.212	0,16€	41.793,97€
9	180,075	91,4%	1.440	259.227	0,16€	41.476,31€
10	180,075	90,7%	1.429	257.242	0,16€	41.158,66€
11	180,075	90,0%	1.418	255.256	0,16€	40.841,01€
12	180,075	89,3%	1.406	253.271	0,16€	40.523,36€
13	180,075	88,6%	1.395	251.286	0,16€	40.205,71€
14	180,075	87,9%	1.384	249.300	0,16€	39.888,05€
15	180,075	87,2%	1.373	247.315	0,16€	39.570,40€
16	180,075	86,5%	1.362	245.330	0,16€	39.252,75€
17	180,075	85,8%	1.351	243.344	0,16€	38.935,10€
18	180,075	85,1%	1.340	241.359	0,16€	38.617,44€
19	180,075	84,4%	1.329	239.374	0,16€	38.299,79€
20	180,075	83,7%	1.318	237.388	0,16€	37.982,14€
21	180,075	83,0%	1.307	235.403	0,16€	37.664,49€
22	180,075	82,3%	1.296	233.418	0,16€	37.346,83€
23	180,075	81,6%	1.285	231.432	0,16€	37.029,18€
24	180,075	80,9%	1.274	229.447	0,16€	36.711,53€
25	180,075	80,2%	1.263	227.462	0,16€	36.393,88€
<b>6.282.141</b>						<b>1.005.142,64€</b>

**Tabela 27** – Estudo para avaliação do sistema.

<sup>9</sup> Valores para a tecnologia cristalina, ângulo ótimo de inclinação, sem contar com as perdas do sistema (inversores, cabos, etc.), para sistemas integrados em edifícios. Fonte: www.PVGIS.com.

A performance dos painéis solares foi tida em conta em função dos dados fornecidos pelo fabricante, indicando que durante o primeiro ano a empresa garante uma performance não inferior a 97% e do 2º ao 24º um decréscimo não inferior a 0,7%, pelo que no 25º ano não será inferior a 80%, atendendo à eficiência de 15,1% do painel.



**Figura 62** – Performance do painel solar durante 25 anos. Fonte: dados do fabricante, TALESUN, TP660P.

Para uma incidência de 1.575 kWh/kWp tem-se uma previsão energética anual no primeiro ano de 275.110 kWh e um total em 25 anos de 6.282.141 kWh, correspondendo a um rendimento expectável no primeiro ano de 44.017,53€ e ao longo dos 25 anos de 1.005.142,64€, evitando a emissão em cerca de 39.616 kg anuais de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013 do Diário da República, 2.ª série - N.º 234 de 3 de Dezembro. Contudo, este estudo teria que ser em separado, um para o PT2 e outro para o PT3, uma vez que a circulação da tensão se faz em média tensão.

Quantidade de Energia para os Edifícios A e D laborarem	994.128	(kWh/ano)
Contribuição média do sistema de coletores solares para a produção de eletricidade	251.286	(kWh/ano)
Custo espectável da tarifa de eletricidade	0,16	(€/kWh)
Custo da Energia	159.060,51	(€/ano)
Redução na fatura energética c/ sistema solar fotovoltaico	40.205,71	(€/ano)
Custo do sistema solar fotovoltaico (incluído operação e manutenção)	219.987,90	(€)
Retorno do investimento	5	(anos)

**Tabela 28** – Estudo do retorno do investimento da implementação de sistema fotovoltaico.

Deste modo fez-se a comparação entre o ganho utilizando os painéis solares, e o valor da energia elétrica quando fornecida pela distribuidora atual, fazendo a comparação da poupança relativamente ao investimento inicial do sistema fotovoltaico, e calculou-se o retorno do investimento.

## **7.4 Substituição de Balastros Eletromagnéticos**

Balastro, ou reator, é um limitador de corrente utilizado nas lâmpadas fluorescentes e em outros dispositivos elétricos que necessitam limitar a intensidade da corrente elétrica que os atravessa durante o funcionamento. Os dois principais tipos de balastros utilizados são os eletromagnéticos e os eletrônicos.

- **Eletromagnético:** aparelho indutor com núcleo em ferro, que transforma a tensão da rede na potência necessária correta. A sua aplicação mais comum é em lâmpadas fluorescentes tubulares. Produzem o efeito de reactância num fluxo elétrico, transformando-o por momentos em ondas eletromagnéticas nas suas bobinas internas e em seguida, retornando por efeito de indução à condição de condução de corrente. No caso das lâmpadas fluorescentes, a sua função é dupla: durante o processo de partida da lâmpada produz um impulso elétrico com um potencial mais alto, previsto pela Lei de Lenz, capaz de iniciar o processo de ionização da fase ionizável existente dentro da lâmpada. Com a lâmpada em operação, o balastro limita a corrente durante o seu funcionamento a uma região segura e sem a sua presença, a lâmpada acesa explodiria devido a uma ionização excessiva e descontrolada.
- **Eletrónico:** dispositivo com as mesmas funções de um balastro eletromagnético, com menores dimensões e peso, utilizando intensivamente a ação de componentes eletrônicos para o seu funcionamento, inclusive com os dispositivos de partida incorporados. Pode ser miniaturizado para ser incluído na base das chamadas

lâmpadas eletrônicas, substitutas diretas das mais antigas lâmpadas incandescentes.

Os balastros eletromagnéticos dissipam calor, desequilibram o fator de potência da instalação originando energia reativa e provocam diversos efeitos indesejáveis. Por estas razões houve necessidade de abandonar esta tecnologia e utilizar outra mais eficiente. Por outro lado, os balastros eletrônicos melhoram o rendimento das lâmpadas fluorescentes convertendo a frequência 50 Hz da rede em alta frequência, geralmente nos 25 kHz. A utilização de balastros eletrônicos tem portanto uma série de vantagens.

- Aumento do rendimento luminoso: as lâmpadas podem produzir cerca de mais 10% de fluxo luminoso para a mesma potência absorvida ou alternativamente a potência absorvida pode ser reduzida, para o mesmo fluxo luminoso;

- Eliminação do efeito audível: como os balastros eletrônicos funcionam acima da gama audível de frequências, o problema do ruído é eliminado. O familiar ruído dos balastros convencionais é provocado pelas vibrações mecânicas das chapas laminadas do seu núcleo, e possivelmente também pela bobine, vibrações estas que se propagam à armadura e à superfície na qual está fixada, ampliando ainda mais o ruído.

- Aumento da duração de vida da lâmpada: um balastro eletrônico efetua um pré-aquecimento dos elétrodos antes de aplicar um impulso controlado de tensão, diminuindo o desgaste do material emissor de elétrons dos elétrodos. Isto aumenta a duração de vida da lâmpada.

Em suma, os balastros eletrônicos oferecem um conjunto de vantagens em relação aos balastros convencionais, entre as quais podemos salientar as seguintes:

- ✓ Poupança de energia entre 20% e 30%;
- ✓ Ausência de cintilação durante o funcionamento, devido à alta frequência;
- ✓ Desliga automaticamente as lâmpadas em caso de anomalia;

- ✓ Religação automática das lâmpadas após correção da anomalia;
- ✓ Baixo campo magnético;
- ✓ Alto fator de potência (> 0,95);
- ✓ Baixa temperatura de funcionamento;
- ✓ Fluxo constante independente da tensão de alimentação;
- ✓ Vida útil da lâmpada aumenta cerca de 50%;
- ✓ Funcionamento em Corrente Contínua CC.

No edifício A, dos sistemas luminosos existentes já praticamente todos têm balastros eletrônicos. Por outro lado, no edifício D, pisos 1 e 2 (zona dos refeitórios e bares), todas as luminárias têm balastros eletromagnéticos. Foi instalado no quadro elétrico do 2º piso relógios para controlo horário da iluminação, havendo três perfis horários distintos: entre as 11h45 às 14h30 (período de almoço), das 08h00 às 20h00 (almoço, jantar e limpezas no piso 1), e das 10h00 às 16h00 (almoço e limpezas no piso 2).

Edifício D		Tipo de lâmpada (W)					horas/dia
		10	11	36	40	58	
Piso 1	Zona 1	104	24		1	15	2,75
	Zona 2			17		64	12
Piso 2	Zona 1	104	24		1		2,75
	Zona 2			17		64	6

**Tabela 29** – Registo do número de luminárias.

Os balastros a aplicar seriam:

- Para lâmpada de 10W e 11W: Marca BLINCK, ref E8CF, de 17,80€/un.
- Para lâmpada de 36W: Marca CAJAF, ref BE.208136, de 14,21€/un.
- Para lâmpada de 40W e 58W: Marca CAJAF, ref BE.308158, de 14,70€/un.

A título experimental, e com a medição antes e após instalação dos balastros em algumas luminárias, verificou-se que a redução de consumos é de aproximadamente 20% em todos os casos. Com estes dados, e recorrendo às tarifas em uso praticadas pela

distribuidora no ano de 2013, determina-se o impacto do investimento, considerando 261 dias anuais.

Contudo, após realizada a devida análise, considerando a substituição de todos os balastros existentes por eletrônicos, o tempo de retorno de investimento seria de 14 anos, tornando o investimento inviável. Outra opção de investimento, e este mais apeteável, é o de direcionar a aquisição de balastros eletrônicos apenas para as lâmpadas de potências de 36W e 58W, obtendo-se 6 anos para amortização do investimento. Por último, seria apenas a substituição dos balastros eletrônicos nas lâmpadas com 58W, diminuindo o tempo de amortização do investimento para 5 anos.

Quantidade de Energia necessária para iluminação (balastro eletromagnético)	2.586	(kWh/ano)
Quantidade de Energia necessária para iluminação (balastro eletrônico)	2.099	(kWh/ano)
Custo da Energia (balastro eletromagnético)	2.100,12	(€/ano)
Custo da Energia (balastro eletrônico)	1.704,52	(€/ano)
Redução na fatura energética c/ balastro eletrônico	395,60	(€/ano)
Custo do conjunto de balastros eletrônicos	2.102,10	(€)
Retorno do investimento	5	(anos)

**Tabela 30** - Tempo de retorno do investimento para as lâmpadas de 58W.

## 7.5 Implementação de Iluminação a LED

Uma vez que é no edifício A que sobressai a quantidade de utilização de luminárias do tipo 18W, 36W e 58W, e uma vez que as armaduras já dispõem de balastros eletrônicos, é pertinente a análise à viabilidade da implementação de lâmpadas do tipo LED.

A quantidade de luminárias é aproximadamente de 742 de 18W, 75 de 36W e de 888 para 58W. Contudo são excluídas as lâmpadas de 36W uma vez que estas estão na sua maioria instaladas em vestiários e em alguns espaços sanitários, o que equivale dizer que é do tipo de iluminação que permanece pouco tempo acesa. Após consulta no mercado, foram selecionadas as lâmpadas para substituição:

- Marca Philips, modelo CorePro LEDtube 600mm 10W 840 C, de 9,99 €/un;
- Marca Philips, modelo CorePro LEDtube 1500mm 25W 840 C, de 12,99 €/un;

Contudo existem vantagens e desvantagens. Por um lado o consumo é menor e o tempo de vida útil da lâmpada aumenta de 15.000 h para 30.000 h, mas por outro compromete o conforto nos gabinetes, uma vez que a luminosidade diminui de 4800 Lm para 2000 Lm no caso das lâmpadas tubulares com 1500mm.

Quantidade de Energia necessária para a iluminação atual	16.579	(kWh/ano)
Quantidade de Energia necessária para a iluminação a LED	7.163	(kWh/ano)
Custo da Energia com iluminação atual	14.261,90	(€/ano)
Custo da Energia com iluminação a LED	6.162,29	(€/ano)
Redução na fatura energética	8.099,62	(€/ano)
Custo da empreitada	21.465,70	(€)
Retorno do investimento	3	(anos)

**Tabela 31** – Tempo de investimento da instalação de iluminação LED.

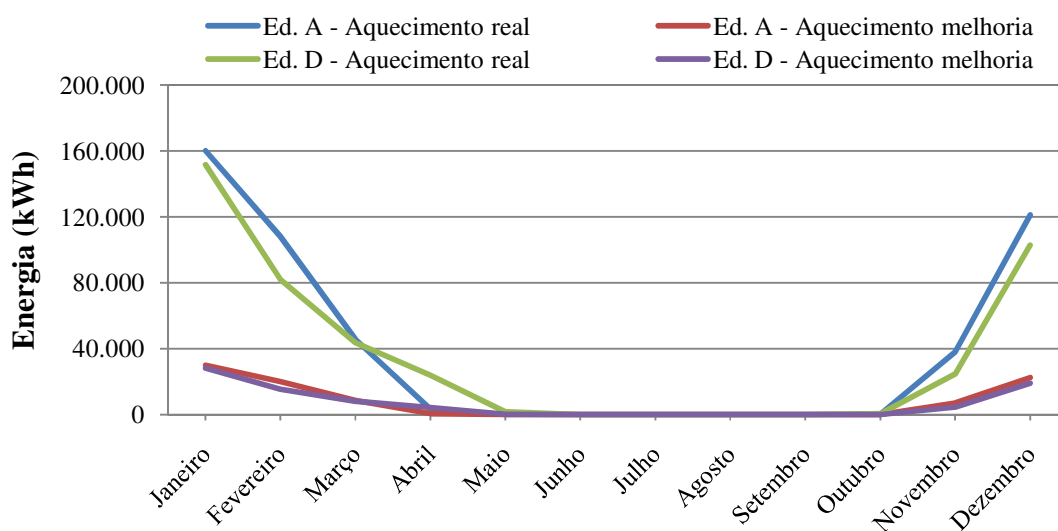
## 7.6 Implementação de Bomba de Calor para Aquecimento Ambiente

Apesar dos sistemas de climatização e refrigeradores serem exemplos comuns de bombas de calor, o termo “bomba de calor” é mais usual em sistema AVAC. Quando a bomba de

calor é usada para aquecimento, ela emprega o mesmo ciclo de refrigeração usado por sistemas de ar condicionado, mas no sentido contrário, libertando calor no espaço condicionado ao invés de fazê-lo no ambiente ao redor.

Como conceção básica da instalação pensou-se num sistema de climatização, que recorre a unidades de expansão direta, bomba de calor tipo VRV com tecnologia *inverter*, associados a unidades de tratamento de ar, com uma considerada percentagem de ar novo se as condições do ar exterior assim o permitam, assegurando a boa qualidade do ar interior. A cada UTA estão associadas duas ou mais unidades de climatização. Com a instalação de diversos equipamentos instalados na própria UTA, tais como sensores de temperatura, pressostatos diferenciais, registos motorizados, é feito o controlo de temperatura. Devem possuir também recuperadores de calor do tipo rotativo de forma a recuperar a energia térmica (sempre que haja condições) entre o ar de extração e o ar novo, e sistema de filtragem.

Através da análise das temperaturas de exterior e de recirculação, o controlo gere a abertura e fecho dos registos de ar novo, extração e mistura, otimizando o consumo energético da instalação. A Bomba de calor apresenta um COP de 3, enquanto que a caldeira geradora de vapor atual apresenta uma eficiência de 0,56, logo os valores serão bastante significativos.



**Figura 63** – Necessidades energéticas para climatização dos edifícios.

A aplicação da bomba de calor em substituição da caldeira existente, para aquecimento ambiente do edifício A, resulta numa elevada diminuição nos consumos de energia relativos a aquecimento. Os valores de consumo de energia descem de 441.268 kWh para 21.049 kWh, uma redução de consumo em 95 % por ano, durante os meses de Inverno.

Semelhante à condição verificada no caso anterior, no edifício D existe uma poupança energética muito significativa. Os valores de consumo de energia descem de 475.191 kWh para 64.068 kWh, uma redução de consumo em 86,5 % por ano, durante os meses de Inverno.

Quantidade de energia para climatização dos edifícios A e D	513.217	(kWh/ano)
Quantidade de energia utilizada pela caldeira (eficiência de 0,56 %)	916.459	(kWh/ano)
Quantidade de energia utilizada com bomba de calor (COP de 3)	171.072	(kWh/ano)
Custo da energia elétrica (valores de 2013)	0,15	(€/kWh)
Custo do gás natural (valores de 2013)	0,07	(€/kWh)
Redução na fatura energética c/ sistema c/ bomba de calor	38.491,28	(€/ano)
Custo do sistema com bomba de calor	100.000,00	(€)
Retorno do investimento	3	(anos)

**Tabela 32** – Análise do tempo de retorno do investimento da aplicação de bomba de calor.

O tipo de combustível é diferente, sendo que a bomba de calor utilizaria energia elétrica que é mais cara que o gás natural, embora tenha um valor COP superior. Contudo a poupança energética é de tal forma elevada que a poupança em € é mesmo assim muito apreciável.

## 7.7 Beneficiação do Isolamento das Conduitas

Um adequado isolamento térmico potencia a qualidade do processo produtivo e aumenta os ganhos de eficiência energética. O investimento no isolamento tem um retorno muito rápido. O *pay back* pode ser atingido em menos de um ano, no caso em que as tubagens e equipamentos não estejam isolados ou estejam danificados, dados do relatório “*Climate Protection With Rapid Pay Back*” da *European Industrial Insulation Fondation* (EIIF).

O estudo da ECOFYS promovido pela EIIF identifica um elevado potencial de ganhos de eficiência energética e poupança para as empresas que apostem no isolamento das suas condutas. Este estudo revela que mais de 10% das condutas e equipamentos na Europa ou não estão isolados ou estão com isolamentos danificados. Este estudo ainda aponta para uma poupança potencial de 66% das perdas de calor, caso se opte por isolar todas as superfícies com base numa preocupação custo/benefício.

Usualmente é utilizado espuma elastomérica como material isolante, uma espuma flexível de estrutura celular fechada, destinado à aplicação de sistemas frios e de água quente. Atua na conservação de energia das instalações, evita a acumulação de humidade, controla a temperatura superficial evitando a condensação e também apresenta boa redução acústica, sendo a sua faixa de aplicação de -40°C a 105°C.

Durante as visitas de campo foram detetadas várias deficiências a nível de isolamento, principalmente nas tubagens, tanto na ida como no retorno, de água fria e água quente que servem a UTAN. Outro ponto que merece alguma urgência é o estado de conservação do coletor de distribuição de águas quentes, situado na subestação térmica de aquecimento.



**Tabela 33** – Registos fotográficos de deficiências detetadas no isolamento térmico.

Através de termografia, utilizando uma câmara de imagem termal, equipamento da marca Fluke, modelo Ti10, fez-se uma análise à situação atual, de modo a ter-mos uma ideia das perdas térmicas existentes.

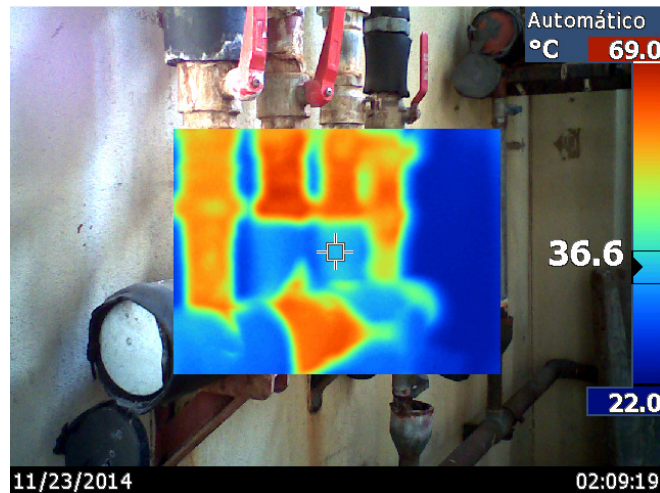


Figura 64 – Registo termográfico do coletor de águas quentes.

Pelo registo termográfico verifica-se que, nas zonas onde efetivamente existe isolamento, verifica-se pouca perda de calor, sendo a temperatura cerca de 37°C, por outro lado, zonas onde o isolamento é inexistente, regista-se temperaturas de 70°C, sendo ainda a área descoberta, considerável. Do levantamento das necessidades estipulou-se:

- Espuma elastomérica para DN50, quantidade 35 metros;
- Espuma elastomérica para DN65, quantidade 35 metros;
- Espuma elastomérica para DN80, quantidade 35 metros;
- Espuma elastomérica para DN100, quantidade 35 metros;
- Cinta auto-adesiva.

## 7.8 Software para Encerramento de Computadores

Durante as visitas aos espaços alvo de estudo, foram contabilizados os postos de trabalho pelos vários gabinetes e salas de reunião, pelo que associado a cada posto está instalado

um computador. Apesar de os ocupantes estarem sensibilizados para as poupanças em termos de energia, muitos ainda são aqueles que ao terminarem o dia de trabalho se esquecem de encerrar os seus equipamentos de escritório, nomeadamente e em maior número, os computadores.

Os computadores utilizados pela organização são da marca HP, modelo Compaq dc7100SFF. Dados do fabricante indicam que o consumo nominal deste equipamento ronda os 240W, no entanto em modo *standby* desce aos 80W. De modo a ter dados reais do consumo de um computador, foi utilizado um equipamento rudimentar com a função de indicar o consumo instantâneo e o total, como ilustrado na figura abaixo.



**Figura 65** – Leitura do consumo do computador em pleno funcionamento.



**Figura 66** - Leitura do consumo do computador em *standby*.

Considerando que o software enviaria um aviso de encerramento às 18h00 (caso o utilizador rejeite o encerramento, o computador permanece sempre ligado, até novo aviso do dia seguinte), e sabendo que o edifício A tem cerca de 300 computadores, e o edifício D tem 4, tendo em conta a tarifa em vigor, é determinado o retorno do investimento. A metodologia de cálculo encontra-se no anexo 8.

Encerramento automático dos computadores	
Consumo anual dos computadores (funcionamento entre as 18h e as 08h)	80.193 (kWh/ano)
Custo anual proveniente do funcionamento dos computadores (das 18h as 20h)	5.867,52 (€/ano)
Custo de implementação de software	0,00 (€/ano)
Retorno do investimento	Imediato (anos)

**Tabela 34** - Análise da aplicação para encerramento dos computadores.

## 7.9 Ventilação noturna

Durante o período diurno, a massa térmica absorve o calor resultante da incidência direta da radiação solar e, durante o período noturno, devolve-o ao espaço. A ventilação natural é um processo pelo qual é possível arrefecer os edifícios tirando partido da diferença de temperaturas existentes entre o interior e o exterior em determinados períodos. O nosso clima caracteriza-se por importantes amplitudes diárias no período de verão, que poderão atingir cerca de 20°C (dia-noite). Assim, é possível e desejável implementar a ventilação noturna como uma estratégia muito eficaz de evacuação dos ganhos no interior dos edifícios.

Já com os modelos projetados no *DesignBuilder*, foram utilizados na análise do desempenho da ventilação mecânica noturna. Os critérios de avaliação passam por determinar a que hora do dia a temperatura é normalmente mais baixa, tendo em conta a tarifa horária aplicada em vigor. Foram quantificados os balanços térmicos internos correspondentes a esses horários, caracterizando-se o comportamento dos componentes da envolvente quanto aos ganhos e perdas de calor. Utilizando os dados climatológicos disponibilizados pelo *Solterm*, é indicado que, nos meses de verão, o menor valor da temperatura é atingido por volta das 5h00, e que em média, das 0h00 às 7h00, regista-se a menor taxa de variação, aproximadamente 2 °C. Tendo em conta o período horário mais barato, foi definido o horário das 0h00 às 6h00:

Edifício A (kWh/ano)	Equipamentos	Iluminação	Ventiladores	Bombas	Aquecimento	Arrefecimento
S/ ventilação noturna	152.997	129.687	6.903	1.368	477.273	31.275
C/ ventilação noturna	152.997	129.687	9.388	1.368	477.306	24.932
Diferença	0	0	2.485	0	33	-6.343

**Tabela 35** – Comparação entre a energia necessária para arrefecimento, com e sem ventilação noturna.

Com a ventilação noturna existe um acréscimo do consumo de 2.485 kWh/ano proveniente dos motores ventiladores, responsáveis pela insuflação do ar novo no edifício A no período noturno. Porém, obtém-se uma diminuição significativa no consumo necessário ao arrefecimento dos espaços, de 6.343 kWh/ano.

Energia necessária para arrefecimento, sem ventilação mecânica noturna	31.275 (kWh/ano)
Energia necessária para arrefecimento, com ventilação mecânica noturna	24.932 (kWh/ano)
Quantidade de Energia poupada	6.343 (kWh/ano)
Valor da poupança acumulada	618,67 (€/ano)
Quantidade de Energia na ventilação mecânica noturna	2.485 (kWh/ano)
Custo para ventilação noturna	180,33 (€/ano)
Redução da fatura energética	438,34 (€/ano)
Custo da implementação da medida	0,00 (€/ano)
Retorno do investimento	Imediato (anos)

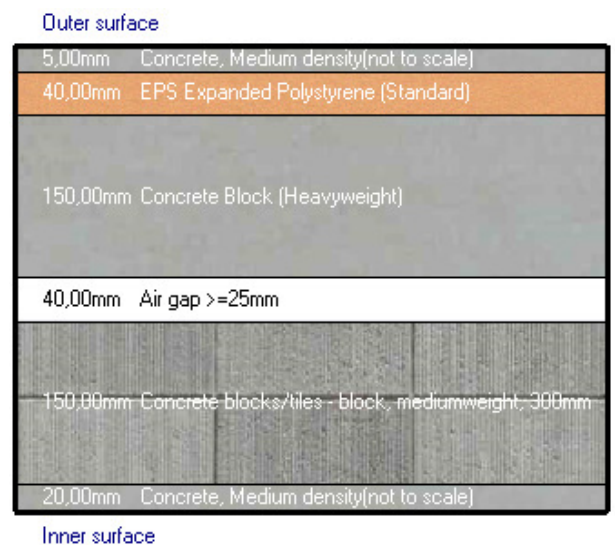
**Tabela 36** - Análise de viabilidade para ventilação nocturna na época de verão.

## 7.10 Aplicação de Isolamento em Parede Exterior

Como anteriormente descrito no ponto 5.2.3 do presente trabalho, as paredes exteriores dos edifícios possuem falta de isolamento. A sua aplicação na envolvente traria vários benefícios tais como a otimização dos recursos energéticos, reduz os custos para aquecer

ou arrefecer os espaços, conforto térmico, produz efeitos benéficos quanto ao isolamento sonoro, ou ainda a diminuição de custos de manutenção (protege toda a estrutura das amplitudes térmicas e da infiltração de chuva). Da oferta disponível no mercado, o tipo de isolamento mais adequado passa pelo poliestireno expandido (EPS). Os ensaios do LNEC e as homologações existentes apontam o EPS como o material mais indicado. Comparando com o poliestireno extrudido (XPS), o EPS é menos suscetível à fissuração porque é menos rígido e tem menor índice de absorção de água [33].

Parede Exterior (Cor média)				
Elemento de Camada	e (m)	$\rho$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Resistência interior	-	-	0,130	<b>0,608</b>
Reboco cimento	0,020	1,300	0,015	
Bloco de betão	0,150	-	0,200	
Caixa-de-ar	0,040	-	0,180	
Betão armado	0,150	2,000	0,075	
Isolamento EPS	0,04	-	1,000	
Reboco cimento	0,005	1,300	0,004	
Resistência exterior	-	-	0,040	
	<b>0,405</b>		<b>1,644</b>	



**Tabela 37** - Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica da parede exterior com isolamento. Fonte: ITE50.

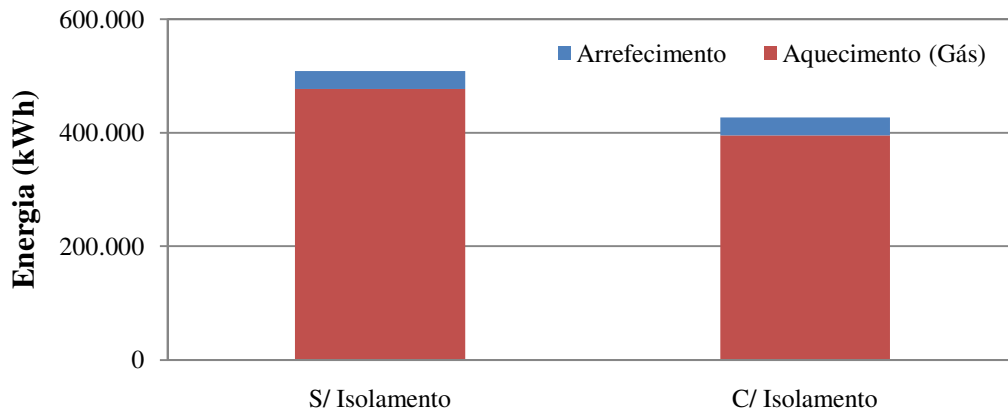
**Figura 67** - Esquema da parede exterior com isolamento. Fonte: DesignBuilder/Construction.

Para aumentar a resistência ao choque devem ser usadas duas camadas de rede de fibra de vidro reforçadas. Contudo, as simulações tiveram em conta apenas uma camada exterior de EPS com 4 cm de espessura, e reboco, aplicado no edifício A.

Edifício A (kWh/ano)	Equipamentos	Iluminação	Ventiladores	Bombas	Aquecimento	Arrefecimento
S/ isolamento	152.997	129.687	6.903	1.368	477.273	31.275
C/ isolamento	152.997	129.687	9.388	1.368	395.667	31.027
Diferença	0	0	0	0	-81.606	-248

**Tabela 38** - Energia necessária para arrefecimento e aquecimento, com e sem isolamento exterior.

Como esperado, uma vez que existe uma grande área de envolvente exterior, o seu isolamento levaria a uma melhoria térmica do edifício, levando deste modo a uma diminuição dos consumos energéticos, em cerca de 16,1%.



**Figura 68** – Influência nos consumos anuais, com e sem isolamento exterior.

A aplicação de isolamento nas paredes exteriores permitirá uma melhoria nas condições térmicas de conforto, levando a menor existência de picos de temperatura, existindo deste modo maior estabilidade da temperatura no interior do edifício.

Quantidade de Energia necessária para climatização, sem isolamento exterior	508.548	(kWh/ano)
Quantidade de Energia necessária para climatização, com isolamento exterior	426.694	(kWh/ano)
Quantidade de Energia poupada	81.854	(kWh/ano)
Redução da fatura energética	12.278,10	(€/ano)
Área da envolvente exterior	2.900	(m <sup>2</sup> )
Custo do EPS	32,00	(€/m <sup>2</sup> )
Custo da implementação da medida	107.200,00	(€)
Retorno do investimento	8	(anos)

**Tabela 39** - Análise de viabilidade para aplicação de isolamento exterior.

## 8. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi alcançado, na medida em que se pretendia efetuar o estudo comportamental dos consumos energéticos dos edifícios, e correspondente simulação dinâmica através de programa acreditado pela norma ASHRAE 140-2004, e análise dos resultados obtidos.

Com a redução orçamental, um aspeto alvo de correção é o consumo de energia elétrica, e como tal teriam que ser corrigidos alguns parâmetros de funcionamento de alguns equipamentos. Como se constatou da análise dos consumos dos últimos anos, o consumo de energia elétrica tem vindo a diminuir gradualmente, uma parte pela contribuição da racionalização do tempo de funcionamento dos sistemas AVAC, mas também pela introdução de medidas que visam o uso racional da energia, como a substituição da maioria dos balastos antigos por atuais eletromagnéticos, ajuste do horário de funcionamento dos equipamentos de climatização, ou mesmo pela sensibilização dos ocupantes em não desperdiçar a energia. O ajuste dos horários de funcionamento das UTAs tem vindo a ser feito de ano para ano, assim como o valor setpoint da temperatura, ou mesmo o desligar dos sistemas durante alguns dias em pleno verão.

Devido à quantidade de energia necessária para conforto térmico no interior dos edifícios, deu-se ênfase ao capítulo 5.2.7, daí ser o mais longo pelo facto de ser a maior fonte de consumo. Sendo a energia primária para o arrefecimento a energia elétrica, e para o aquecimento o gás natural, é neste último que se verifica demasiado consumo para satisfazer as necessidades. Para além disso, a envolvente dos edifícios A e D do Complexo de Alfragide, revela algum isolamento, i.e., as paredes exteriores são constituídas apenas por betão armado, caixa-de-ar, blocos de betão e reboco, a carga térmica criada para o conforto dos ocupantes é de certa forma influenciada pelo exterior devido ao baixo coeficiente de transmissão da estrutura, o que permite algumas perdas de energia consideráveis. Contudo, o elemento forte na constituição do edifício é os envidraçados, uma vez que, por ser vidro duplo, permite a criação de um bom isolante

térmico muito superior aos vidros comuns, permitindo reduzir as perdas de calor, obtendo uma maior regulação da luz natural e a redução dos ruídos provenientes do exterior, e com a vantagem de que, na estação de arrefecimento não se revelam críticos por possuírem bom sombreamento, proporcionado por palas na envolvente e estores exteriores.

Na simulação dinâmica do edifício utilizando como ferramenta base o *software Design Builder*, depressa se identificou que a simulação estava limitada a um máximo de 50 zonas. Contudo solicitou-se um acesso que eliminasse a restrição do número de zonas, pelo que o pedido foi atendido. Deste modo, após o modelo calibrado foi possível identificar e desagregar convenientemente os consumos, passando ao cálculo do IEE nominal para determinação da classe energética. Contudo, após cerca de 50 simulações, cada uma com a duração aproximada de 2h30m para finalizar e apresentar os resultados finais para comparação com os resultados reais, o modelo ficou com uma discrepância de 11%, uma margem de erro que poderia ter sido melhorada substancialmente para uma apresentação de resultados mais próximos do real.

Por se tratar de edifícios com várias tipologias, determinou-se, de acordo com RSECE, o indicador de eficiência energética ponderado de 40,73 kgep/m<sup>2</sup>.ano, e da análise das faturas de energia (eletricidade e gás natural) dos últimos três anos, o indicador de eficiência energética real de 17,55 kgep/m<sup>2</sup>.ano. A discrepância entre os valores é assumida principalmente pela não utilização dos sistemas AVAC, e acentuada diminuição na iluminação na maior parte das zonas comuns. Por este motivo, tem-se uma área consideravelmente grande com pouco consumo de energia. Podemos sempre reduzir o consumo energético com a redução da produção, mas o objetivo é reduzir o custo energético para a mesma unidade de produção ou produzir mais com o mesmo ou menos consumo energético.

Embora o IEE real fosse inferior ao IEE de referência e estivesse de acordo com a legislação seguida, foram adotadas várias medidas que visam o uso racional da energia. A aquisição de uma nova caldeira com o objetivo de fornecer AQS à cozinha seria uma

ótima medida para uma redução acentuada na fatura de gás natural, uma vez que atualmente se produz vapor, que por sua vez troca calor num permutador de placas, donde provém a água quente a utilizar na cozinha, grande parte do consumo para limpeza da mesma.

Por ser também a gás natural que é gerado o aquecimento ambiente dos edifícios, e pelos sistemas em utilização terem baixa performance, foi estudado a viabilidade da substituição dos mesmos por sistemas com bomba de calor. Pelo simples facto de um rendimento de 0,56% poder ser substituído por um sistema de COP igual a 3, é importante compreender o impacto que esta medida trará para o futuro.

A implementação de um sistema solar térmico também é uma medida a ter em conta, que por utilizar uma fonte de energia renovável, trás ganhos acrescidos da sua utilização. Uma vez que a água é pré-aquecida pelos painéis solares, antes de ir ao queimador, a diferença de temperaturas a que a água tem que ser aquecida deixa de ser tão elevada, e com a vantagem de que, nos dias mais quentes do ano, possa surgir a que a caldeira nem necessite de funcionar, tudo depende do bom dimensionamento da instalação.

Outra medida cada vez mais usual, passa pela instalação de um sistema solar fotovoltaico, não com a intenção de vender a energia elétrica produzida, mas sim consumi-la, uma vez que o perfil de utilização dos edifícios se adequa ao autoconsumo. Outra vantagem que faz a diferença é a não necessidade de utilização de um banco de baterias para armazenamento de energia elétrica, pois os consumos noturnos são diminutos. Uma instalação com durabilidade de 25 anos, i.e., durante o período de garantia de produção, o valor investido é recuperado cerca de 4,57 vezes, refletindo uma redução direta na despesa da fatura mensal de aproximadamente 12,99 %, um ganho direto e imediato de 3.350,48 €/mês.

A substituição dos balastros eletromagnéticos por eletrónicos, apenas faz sentido no edifício D, uma vez que no edifício A, praticamente todas as luminárias se encontram dotadas deste acessório mais eficiente. No entanto, não deixa de ser pertinente a análise à

viabilidade da iluminação a LED, que apesar de comprometer o conforto térmico por ser um fluxo luminoso menor quando comparado com as tubulares TLD, oferece grandes vantagens a nível económico, pois apresentam nas suas características um valor de aproximadamente metade do seu consumo, tendo a vantagem de que não será necessário mão-de-obra para a sua substituição, reduzindo os encargos associados.

Uma outra medida fácil de implementação mas que ainda não está aplicada, passa pela elaboração de um *software* capaz de ordenar o encerramento dos computadores no período noturno. Apesar de um certo período sem utilização, o monitor entra em modo de *standby* mas o computador em si continua a funcionar normalmente. Utilizando um aparelho para leitura dos consumos, e apesar de este não ser certificado, deu para ter uma noção do consumo e quais as poupanças que podem advir desta medida, realçando o facto de que a Força Aérea dispõe de técnicos e engenheiros informáticos capazes de elaborar esse programa, obtendo-se um retorno de lucro imediato.

Também de lucro imediato é a insuflação noturna, onde os resultados demonstraram os benefícios do emprego da ventilação mecânica noturna, que reduziu a temperatura do ar, incrementando as perdas de calor pela envolvente durante a madrugada. Este estudo possibilitou caracterizar a dinâmica do comportamento térmico do edifício, quantificando o seu desempenho em diferentes períodos do dia, a fim de indicar alternativas para compatibilizar o uso de estratégias híbridas de ventilação aos padrões de ocupação, de acordo com o nível de inércia térmica.

Por último, para o edifício A foram analisadas algumas alterações que não implicassem modificações arquitetónicas. Estas intervenções passariam pela aplicação de isolamento nas fachadas exteriores, de modo a minimizar as perdas pela envolvente, e assim melhorar as características térmicas do edifício, estabilizando a temperatura interior, resultando numa maior comodidade e eficiência energética. Outras medidas a estudar passam pelo semelhante isolamento da cobertura do edifício, ou ainda pela beneficiação dos vãos envidraçados, que pela análise aos vários locais permitiu concluir que os vãos envidraçados encontram-se em relativo mau estado de conservação, nomeadamente na

caixilharia que apresenta algum estado de degradação, sendo um dos principais locais de perdas de energia, uma vez que o isolamento através das mesmas é de fraca eficiência, observando-se em alguns casos que existem condensações no interior da caixa-de-ar, levando a concluir que o isolamento é muito débil.

Antes da aplicação de qualquer uma das medidas descritas, é aconselhável a adoção de medidas de poupança de energia indiretas. Estas consistem na instalação de um equipamento no quadro elétrico relativo aos edifícios A e D, de forma a medir os consumos de diferentes cargas (AVAC, equipamentos, iluminação, etc.) ao longo de um ano com elevada exatidão. Desta forma será possível um futuro diagnóstico com maior precisão, mas mais importante ainda um maior controlo e racionalização de energia por parte das entidades responsáveis e competentes.

Medida de melhoria	Investimento (€)	Poupança Anual (€)	Retorno (Anos)
Software para Encerramento de Computadores	0,00	5.867,52	Imediato
Ventilação Mecânica Noturna	0,00	438,34	Imediato
Implementação de Caldeira para AQS	25.000,00	8.324,85	3
Implementação de Iluminação a LED	21.465,70	8.099,62	3
Bomba de Calor para Aquecimento Ambiente	100.000,00	38.491,28	3
Implementação de Sistema Solar Fotovoltaico	219.987,90	40.205,71	5
Substituição de Balastros Eletromagnéticos (opção 3)	2.102,10	395,60	5
Implementação de sistema solar térmico	20.000,00	2.517,12	8
Isolamento das Paredes Exteriores	107.200,00	12.278,10	8

**Tabela 40** – Planos de Racionalização de Energia.

Apesar dos estudos elaborados, um ponto importantíssimo a ter em conta passa pela manutenção preventiva aos diversos sistemas/equipamentos, uma vez que possibilita o continuar do bom estado de conservação e de funcionamento dos mesmos, i.e. a manutenção preventiva e limpeza adequada ajudam a diminuir a emissão de poluentes no ambiente, diminui o consumo de energia do aparelho e preserva o aparelho aumentando sua vida útil.

As constantes entrevistas aos operadores e responsáveis pela manutenção ajudaram a identificar situações e alterações nos edifícios/equipamentos e a caracterizar os sistemas. Com a elaboração deste trabalho final de mestrado possibilitou um profundo conhecimento dos sistemas, características sobre o seu funcionamento e dados de manutenção.

Contudo, as expectativas de consumos para 2014 são animadoras, uma vez que até ao mês de Setembro do corrente ano o consumo tem vindo a diminuir, estimando uma redução de 4,63% do consumo de eletricidade quando comparado com o ano transato. Por outro lado, o consumo do gás natural aumenta cerca de 4%, devido às necessidades sentidas durante a estação de inverno.

## Bibliografia

[1] Decreto-Lei n.º 78/2006 de 04 de Abril – Aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

[2] Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril – Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

[3] Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril – Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

[4] Diário da República, 1.ª série - N.º 73 - 15 de Abril de 2010, Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, Estratégia Nacional para a Energia (ENE).

[5] Diário da República, 2.ª série - n.º 218 de 12 de Novembro de 2012, Regulamento n.º 468/2012, Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE).

[6] Decreto-Lei n.º 140/2006, n.º 1 do artigo 63.º, de 26 de Julho, e n.º 2 do artigo 15.º dos Estatutos da ERSE, anexos ao Decreto-Lei n.º 97/2002, de 12 de Abril, estabelece as disposições aplicáveis ao regulamento de relações comerciais (RRC).

[7] Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011, de 12 de Janeiro, Programa de eficiência energética na administração pública – Eco.AP.

[8] EN 771-1:2011, Especificações para Materiais de Alvenaria.

[9] Carlos dos Santos, Luís Matias. Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – ITE 50, LNEC Lisboa 2006.

[10] WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). Transforming the Market: Energy Efficiency in Buildings, Agosto de 2009.

[11] Documento de referência sobre a versão portuguesa do DesignBuilder - Setup Inicial, Guia de Utilização e Notas. Natural Works v.13/07/2011.

[12] Tutorial em vídeo sobre o DesignBuilder, fornecido e registado pelo DesignBuilder, Company.

[13] Professor Rui Cavaca Marcos, Gestão Energética em Edifícios, apontamentos 2013.

[12] Professor João Cardoso, Instalações Técnicas Especiais, apontamentos de 2013.

[14] Documento de referência sobre o “Programa de Manutenção para os Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado do Complexo de Alfragide, elaborado pela Esquadra de Manutenção, em 2009.

[15] Mauro Custódio. Eficiência Energética em Edifícios Escolares, IST Lisboa Outubro 2011.

[16] Joana Cartas. Simulação dinâmica de um edifício de escritórios com os programas EnergyPlus e Trace 700, IST Lisboa Maio 2011.

[17] António Ganhão. Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação, FCT/UNL Lisboa Dezembro 2011.

[18] Site: [www.edpsu.pt/pt/empresas](http://www.edpsu.pt/pt/empresas).

[19] Site: [www.adene.pt](http://www.adene.pt).

[20] Site: [geoportal.lneg.pt](http://geoportal.lneg.pt).

[21] Site: [www.lneg.pt](http://www.lneg.pt).

[22] Site: [www.dgeg.pt](http://www.dgeg.pt).

[23] Site: [www.energiasolar-portugal.com/Sites/pvgis](http://www.energiasolar-portugal.com/Sites/pvgis).

[24] Site: [www.enerwise.pt](http://www.enerwise.pt)

[25] Site: [www.eiif.org](http://www.eiif.org).

[26] Site: [www.sandometal.pt](http://www.sandometal.pt).

[27] Site: [www.tecnitrace.pt](http://www.tecnitrace.pt).

[28] Site: [www.bw-energy.de](http://www.bw-energy.de).

[29] Site: [www.pentaqual.pt](http://www.pentaqual.pt).

[30] Site: [www.hp.com](http://www.hp.com).

[31] Site: [www.philips.pt/iluminacao](http://www.philips.pt/iluminacao).

[32] Site: [www.luxmagna.pt](http://www.luxmagna.pt).

[33] Site: <http://prt.sika.com>.

## **Anexos**

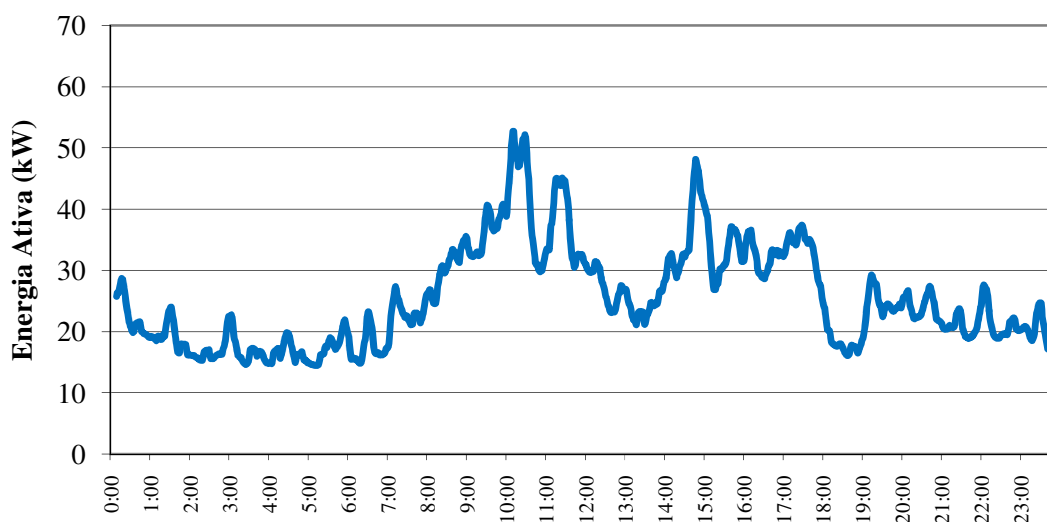
## Índice de anexos

Anexo 1: Registo de dados dos Postos de Transformação .....	113
• Posto de Transformação 1.....	114
• Posto de Transformação 4.....	116
• Posto de Transformação 5.....	117
Anexo 2: Perfil horário .....	119
• Ocupação.....	120
• Equipamento .....	122
• Iluminação.....	124
• Horário de funcionamento de equipamentos.....	126
• Estação de Arrefecimento.....	126
• Estação de Aquecimento .....	127
• Introdução do Horário de funcionamento dos sistemas AVAC .....	128
Anexo 3: Equipamentos de climatização.....	132
Anexo 4: Resultados da Simulação no DesignBuilder .....	135
• Edifício A.....	136
• Edifício D.....	136
Anexo 5: Determinação do Indicador de Eficiência Energética Nominal .....	137
• Edifício A.....	138
• Edifício D.....	139
Anexo 6: Determinação da Classe Energética .....	140
• Edifício A.....	141
• Edifício D.....	141
Anexo 7: Lista de Equipamentos da Cozinha.....	142
• Unidades AVAC.....	143
• Equipamentos de cozinha.....	143
Anexo 8: Folhas de Cálculo.....	145
Anexo 9: Irradiação solar em Portugal .....	157
Anexo 10: Dados climatológicos .....	159
Anexo 11: Diagramas .....	161
Anexo 12: Catálogos.....	165

## **Anexo 1: Registo de dados dos Postos de Transformação**

- **Posto de Transformação 1**

Como já indicado anteriormente, este posto de transformação é responsável pela alimentação elétrica a edifícios que não estão englobados neste estudo, não deixando de ser pertinente a análise dos resultados obtidos. Estão agregados consumos de iluminação, equipamentos de escritório, equipamentos de climatização, etc. No horário normal de trabalho, o consumo durante o dia é superior uma vez que existem alguns postos de trabalho em laboração, e o motivo pelo qual o consumo não é mais diminuto no período noturno é por haver cerca de 200 pessoas a pernoitar no Complexo de Alfragide.



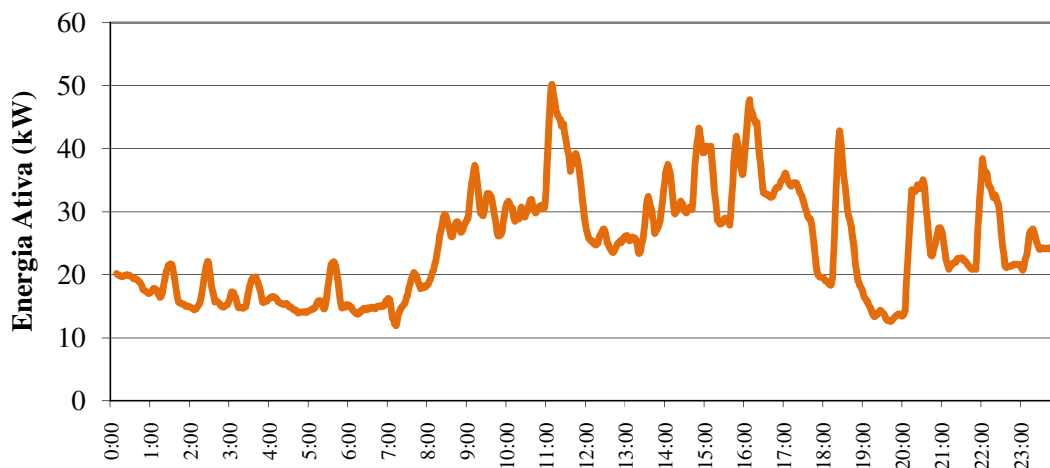
**Figura 69** – Consumo de eletricidade num dia típico de inverno.

Contudo, na figura 69 também se verificam alguns picos acentuados de consumo, nomeadamente às 10h15, 11h15, 14h30, cujo equipamento responsável são as unidades interiores localizadas em dois armazéns (arquivo histórico). Existe também uma lavandaria no edifício J, com uma máquina de lavar e outra de secar, pelo que a sua utilização é motivo de alguns picos de consumo registados.

Durante um dia típico, tanto de inverno (representado a azul) como de verão (representado a laranja), verificam-se duas acentuadas diminuições do consumo de energia, uma no período do almoço, resultará do desligar parcial dos sistemas de

iluminação e dos equipamentos de climatização inerentes aos espaços interiores, ou de equipamentos de escritório (confirma-se a sensibilização dos ocupantes, uma vez conseguir-se uma redução da carga, nesse período), e outro depois da hora de saída. De realçar que no período da 2ª refeição, fica sempre uma pessoa por sala, mantendo-se assim a iluminação ligada.

Verificou-se também que o período de verão é aquele onde se regista menor consumo, uma das causas prováveis é o facto de ser o período preferencial de férias e não haver necessidade de recorrer à iluminação na íntegra, aproveitando a iluminação natural para o efeito. Contudo, na figura 70 também se verificam alguns picos acentuados de consumo (caso idêntico ao da figura 69), nomeadamente às 11h15, 16h00, 18h30, 20h30 e 22h, cujo equipamento responsável são as unidades interiores localizadas em dois armazéns de arquivo histórico. Porém, pode ter coincido com a utilização da lavandaria.



**Figura 70** – Consumo de eletricidade num dia típico de verão.

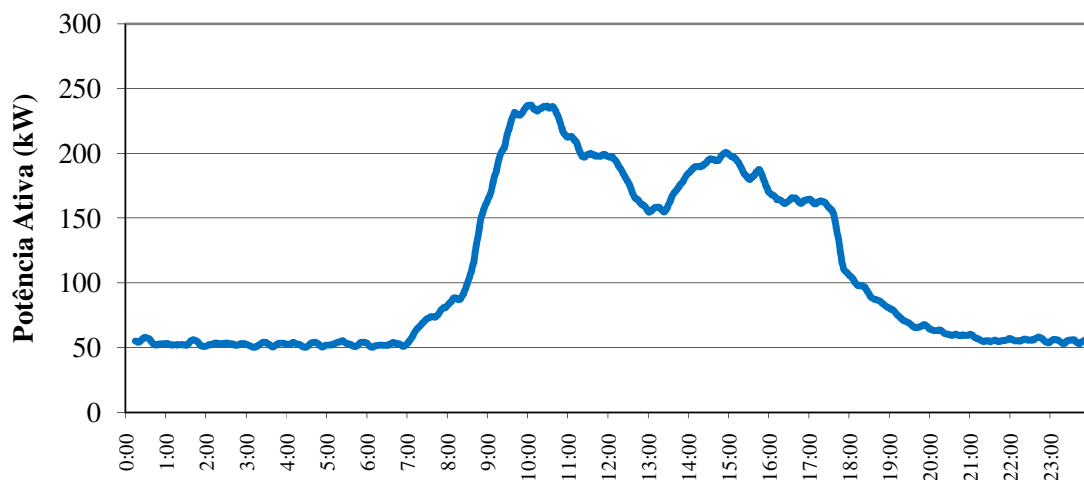
O PT1 alimenta os edifícios E, G, H, I, J e a iluminação exterior. A potência máxima de Verão atinge 50 kW e de Inverno ronda os 55 kW. Este consumo acrescido de Inverno,

pode resultar na utilização de alguns aquecedores locais, que representam sempre um consumo superior em aquecimento do que no processo de arrefecimento.

Da análise ao diagrama de carga do PT1, pode-se concluir que a potência de ponta, é muito inferior à potência nominal do transformador (630 kVA), verificando-se que o transformador funciona praticamente em vazio.

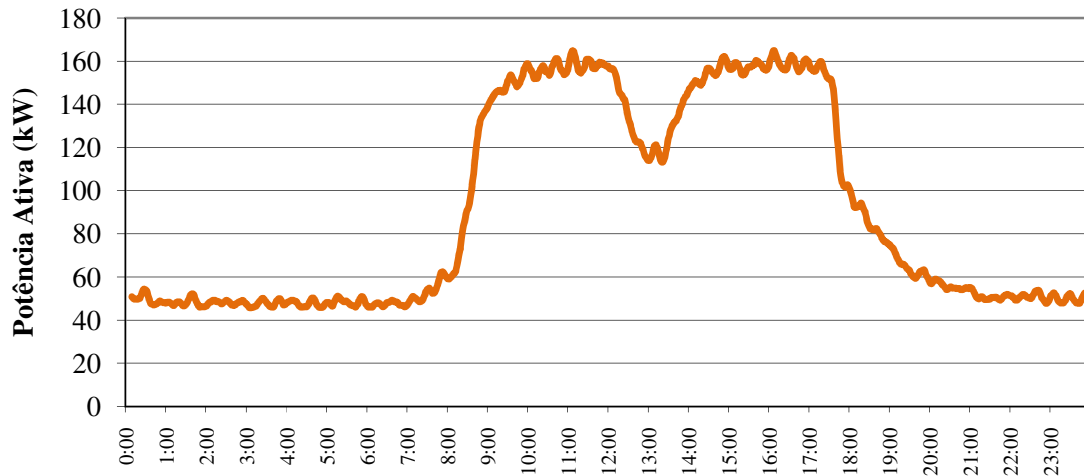
- **Posto de Transformação 4**

O PT4 alimenta os edifícios B e C, circuitos de tomadas e iluminação, 5 elevadores e os *chillers* para arrefecimento das salas de informática (estes equipamentos trabalham praticamente em contínuo para arrefecer os espaços a que estão destinados). No que respeita ao tipo de cargas no PT3 e no PT4, estas são muito semelhantes. Enquanto o PT3 alimenta um único edifício administrativo, o PT4 alimenta dois edifícios administrativos.



**Figura 71** - Consumo de eletricidade num dia típico de inverno.

A potência de base é a mais elevada de todos os PTs, pois existe a necessidade de climatizar algumas salas durante 24 horas. No entanto é possível que também se verifique a utilização de aquecedores portáteis distribuídos por diversos espaços.

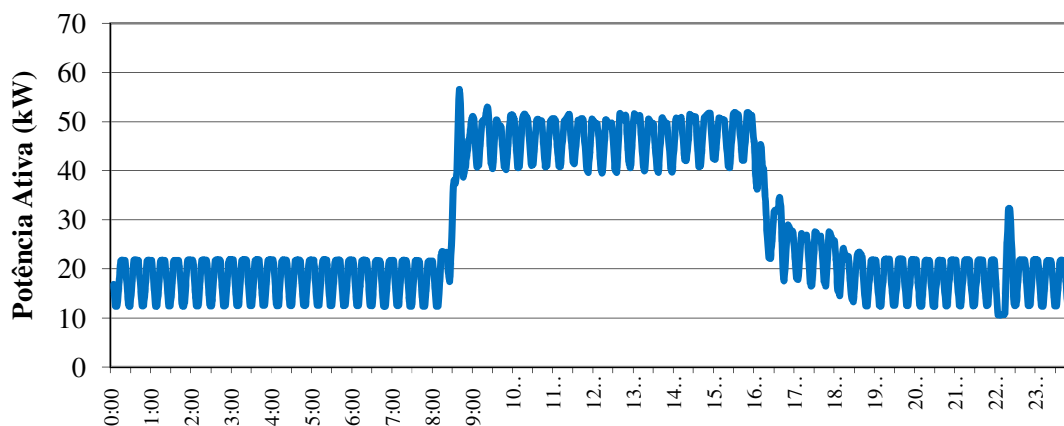


**Figura 72** - Consumo de eletricidade num dia típico de verão.

Tal como no PT1 e no PT3, verifica-se que muitos dos equipamentos existentes deverão estar desligados no período do almoço, sendo notório que se consegue uma redução acentuada da carga neste período, pela sensibilização de todos.

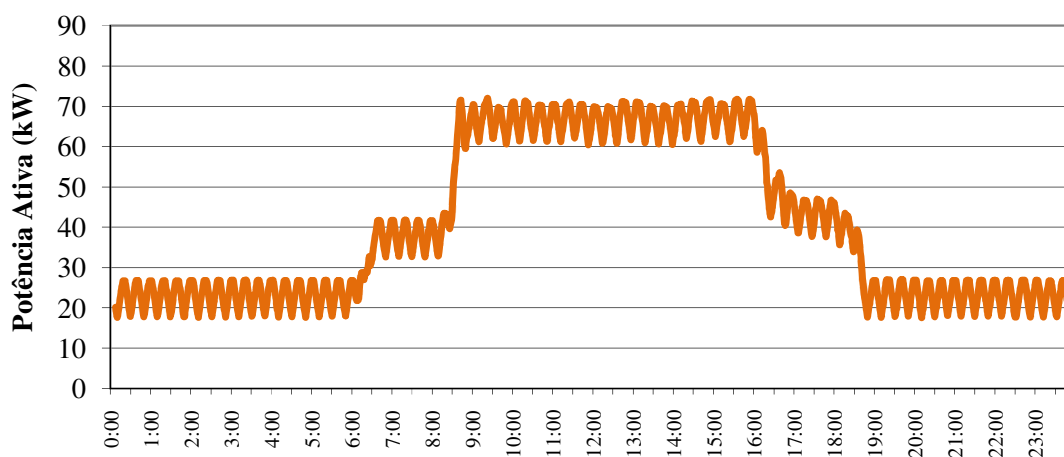
- **Posto de Transformação 5**

O PT5 alimenta apenas instalações técnicas, onde o maior consumidor é o sistema responsável pela climatização dos edifícios B e C. Apesar de ser um sistema recente, instalado em 2012, ainda não está concluído, estando apenas instalados cerca de metade dos equipamentos projetados. Atualmente é constituído por 10 UTAs com recuperador de energia do tipo roda térmica e bomba de calor, representando grande parte dos consumos energéticos, e um sistema VRV de expansão direta para climatização do piso 2, e dois *chillers* para climatização do Centro de Processamento de Dados. Apenas o sistema dedicado ao 2º piso do edifício B dispõe de SGTC, que no entanto funciona apenas dentro do período em que o edifício está ocupado, das 8h30 às 17h30.



**Figura 73** - Consumo de eletricidade num dia típico de inverno.

Dos registos é observada a alternância que o consumo toma ao longo do dia, proveniente da paragem e arranque dos compressores de um dos dois *chillers* de climatização do CPD, localizado no edifício C. No entanto, toma um aumento acentuado entre as 09h00 e as 16h30, proveniente do funcionamento dos equipamentos de climatização dos edifícios, i.e., as 10 UTAs e as VRVs.



**Figura 74** - Consumo de eletricidade num dia típico de verão.

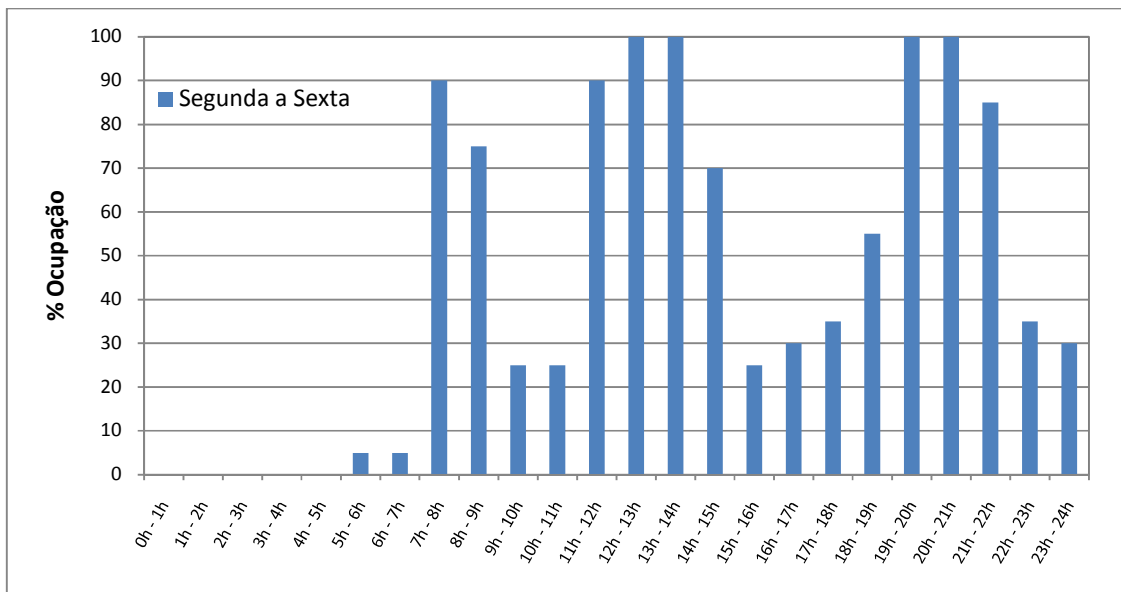
O período de Verão tem perfil semelhante ao de Inverno, uma vez que as VRVs funcionam durante todo o ano. No entanto o consumo geral tende a ser superior.

## **Anexo 2: Perfil horário**

- **Ocupação**

- a) **Bares**

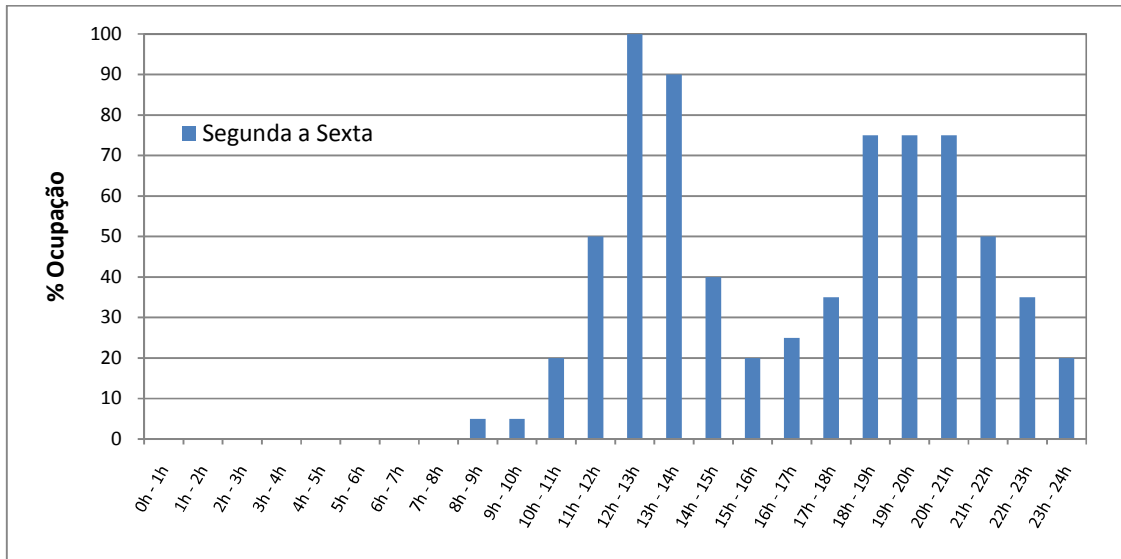
O bar tem densidade de ocupação de 5 m<sup>2</sup>/ocupante, e funciona de segunda a sexta-feira.



**Figura 75** - Evolução diária da percentagem de ocupação nos bares, de segunda a sexta-feira.

- b) **Refeitórios e Cozinha**

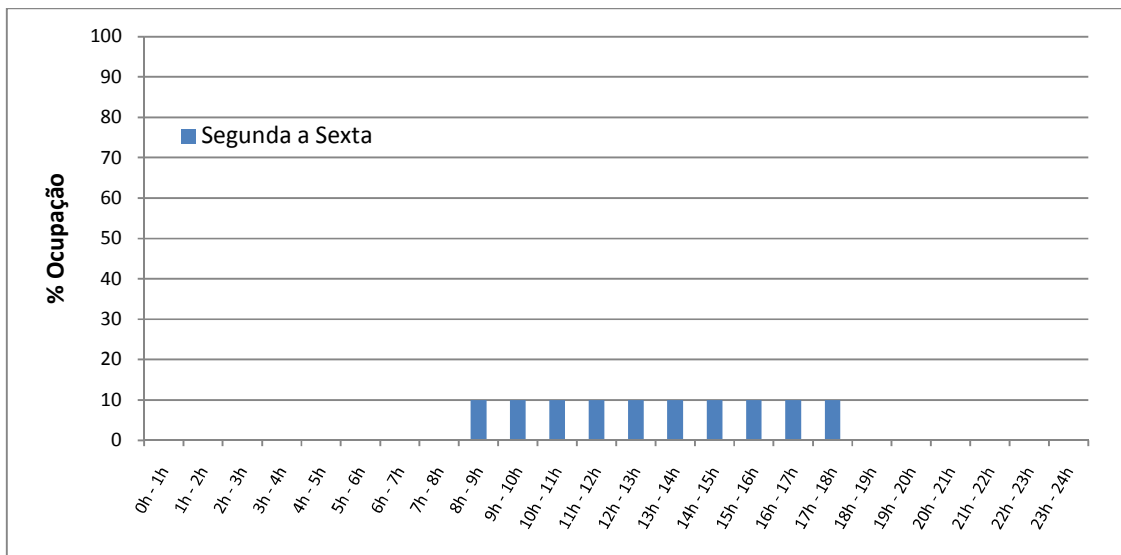
Atualmente no refeitório são servidas refeições três vezes por dia. Contudo considerou-se duas refeições em que, para o período de almoço apresenta uma taxa de ocupação de 100% durante uma hora, e de 75% durante três horas no período de jantar. O perfil de funcionamento das cozinhas é semelhante ao do refeitório, pelo que se considerou ser o mesmo. A densidade de ocupação é de 5 m<sup>2</sup>/ocupante, e considerou-se 1 m<sup>2</sup>/ocupante para a cozinha.



**Figura 76** - Evolução diária da percentagem de ocupação nos refeitórios, de segunda a sexta-feira.

**c) Armazém, Kitchnet e WC**

Estipulou-se que os armazéns, kitchnet e os WC's funcionam cerca de 2 horas por dia. Visto não se saber a altura exata de ocupação, as 2 horas foram distribuídas igualmente ao longo do dia.

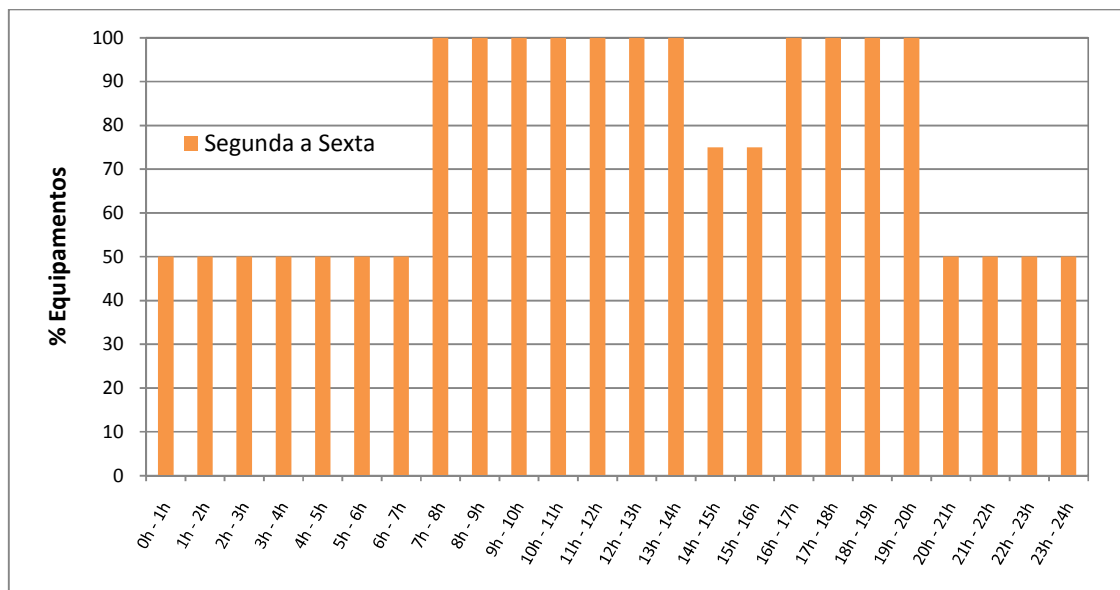


**Figura 77** - Evolução diária da percentagem de ocupação nos armazéns, kitchnet e WC's.

- **Equipamento**

- a) **Bares**

O bar tem densidade de  $30 \text{ W/m}^2$ , e funciona de segunda a sexta-feira.



**Figura 78** - Evolução diária da percentagem de equipamentos em funcionamento nos bares.

- b) **Refeitórios e Cozinha**

Considerou-se duas refeições, servidas de segunda a sexta-feira. O perfil de funcionamento das cozinhas é semelhante ao do refeitório, pelo que se considerou ser o mesmo. A densidade de equipamentos em funcionamento é de  $5 \text{ W/m}^2$ , e de  $250 \text{ W/m}^2$  para a cozinha.

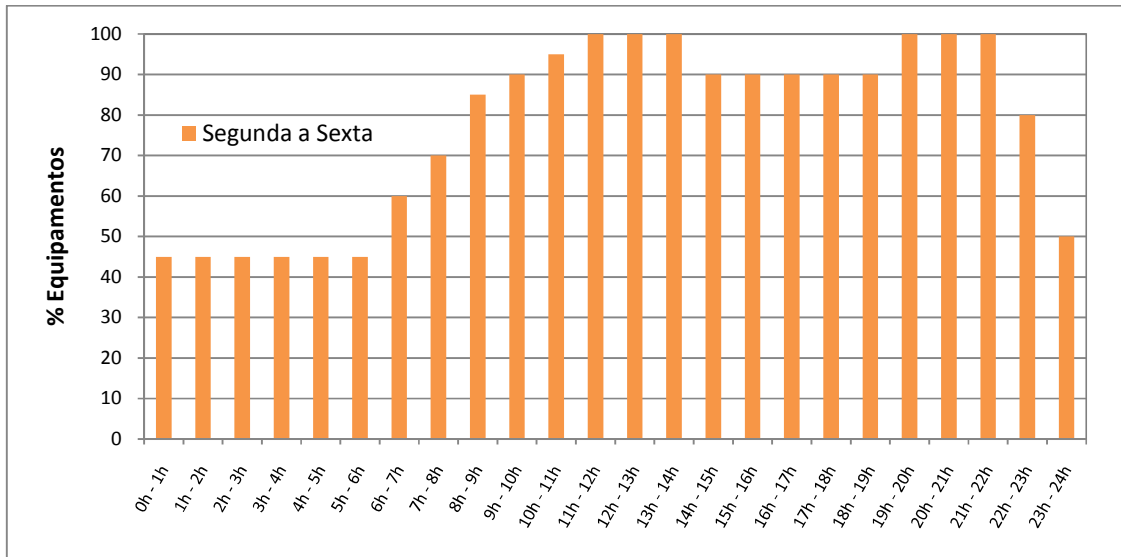


Figura 79 - Evolução diária da percentagem de equipamentos em funcionamento nos refeitórios e cozinha.

c) **Kitchnet**

Estipulou-se que as kitchnet funcionam cerca de 2 horas por dia. Visto não se saber a altura exata de ocupação, as 2 horas foram distribuídas igualmente ao longo do dia.

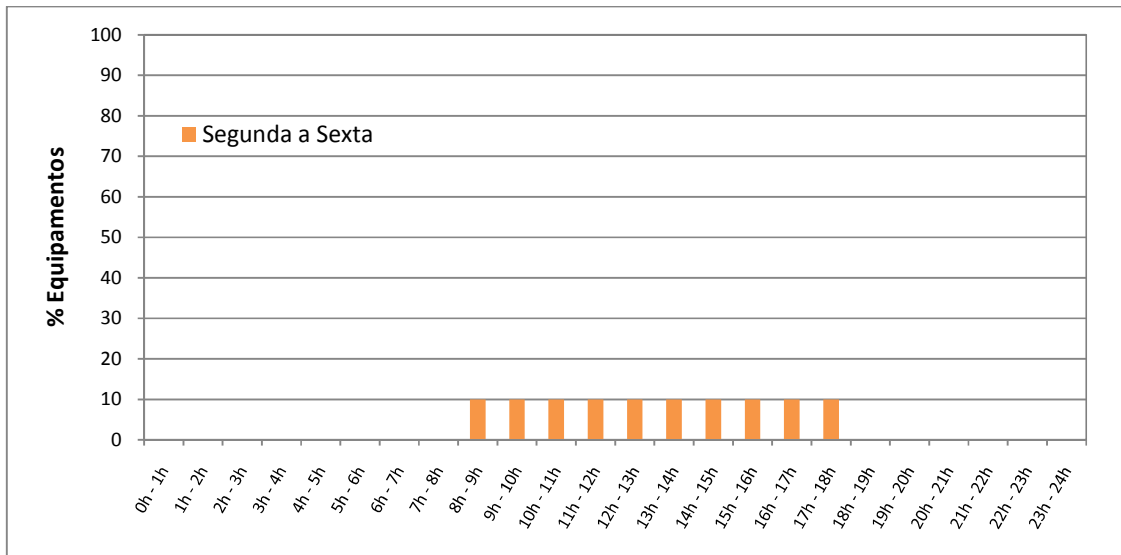
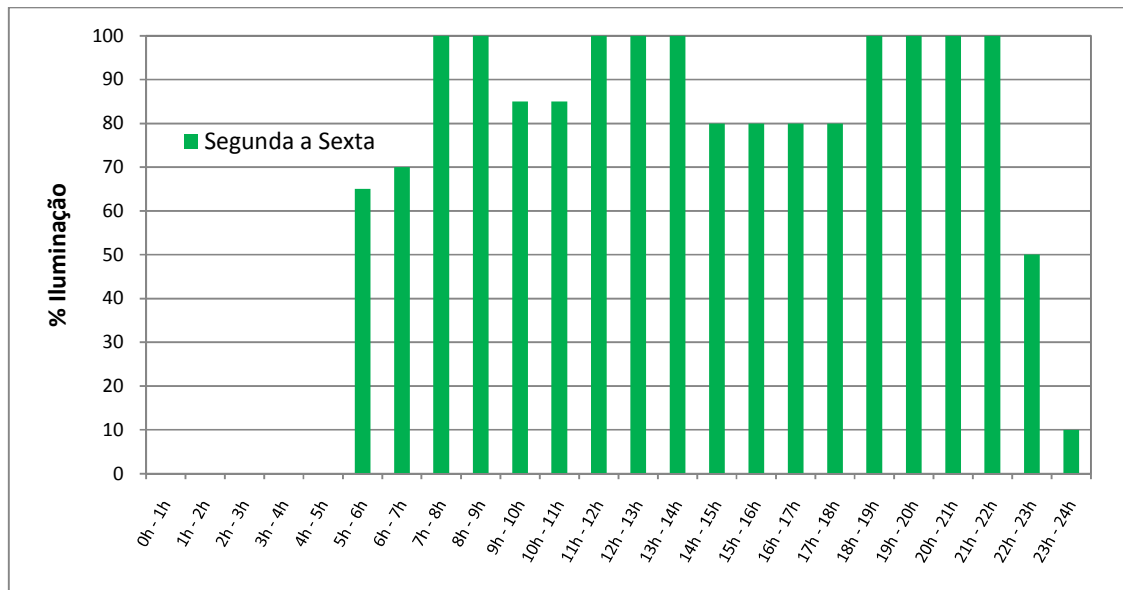


Figura 80 - Evolução diária da percentagem de equipamentos em funcionamento nas kitchnets.

- **Iluminação**

- a) **Bares**

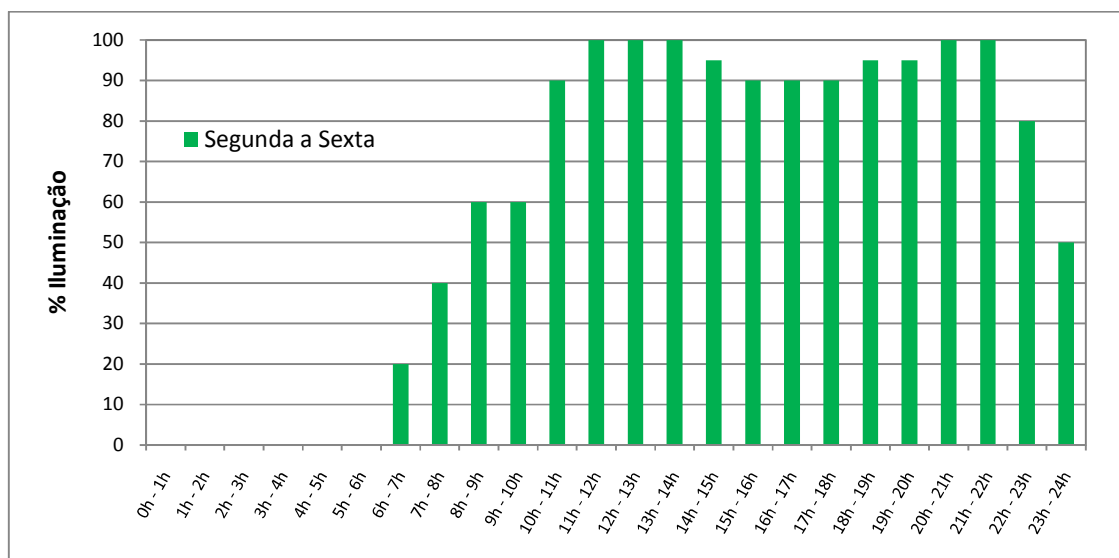
Os bares têm densidade de iluminação de 5 W/m<sup>2</sup>.



**Figura 81** - Evolução diária da percentagem de iluminação ligada nos bares.

- b) **Refeitórios e Cozinha**

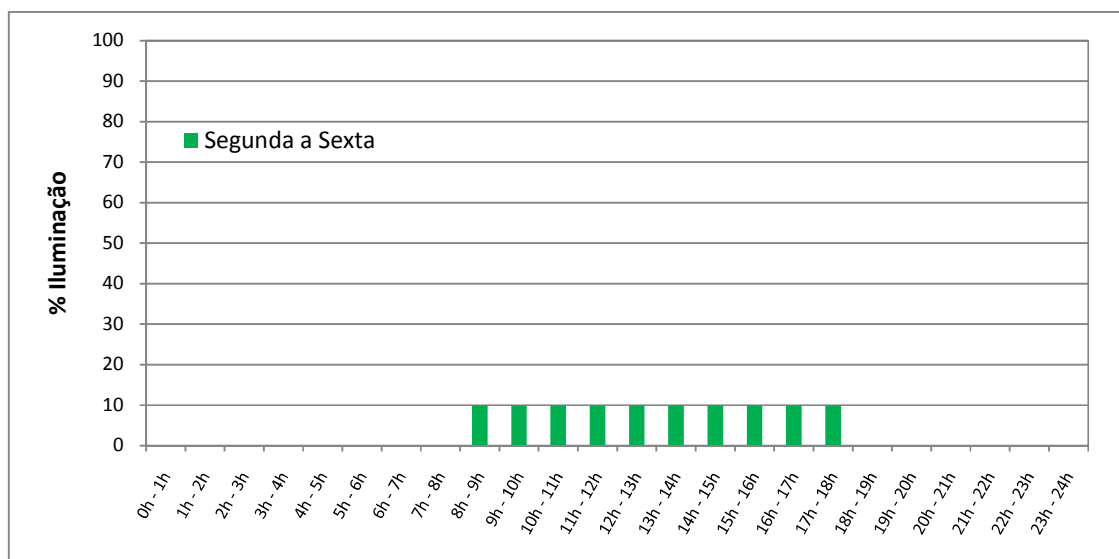
Considerou-se duas refeições, servidas de segunda a sexta-feira. O perfil de funcionamento das cozinhas é semelhante ao do refeitório, pelo que se considerou ser o mesmo. A densidade de iluminação é de 5 W/m<sup>2</sup>, e de 250 W/m<sup>2</sup> para a cozinha.



**Figura 82** - Evolução diária da percentagem de iluminação nos refeitórios e cozinha.

**c) Armazéns, Kitchnet e WC's**

Estipulou-se que as estas três áreas funcionam cerca de 2 horas por dia. Visto não se saber a altura exata de ocupação, as 2 horas foram distribuídas igualmente ao longo do dia. A densidade de iluminação é de 5 W/m<sup>2</sup> para armazéns, de 250 W/m<sup>2</sup> para kitchnets e de 5 W/m<sup>2</sup> para wc's.



**Figura 83** - Evolução diária da percentagem de iluminação nos Armazéns, kitchnets e WC's.

- **Horário de funcionamento de equipamentos**

- **Estação de Arrefecimento**

Sistema	Descrição	Horário de funcionamento	Dias de funcionamento	Valores de SET
Produção de água refrigerada (Chillers)	Carga	22h00 – 08h00	Dom a sexta	--
	Descarga até 30%	09h00 – 16h30	Seg a sexta	--
	Produção direta	--	Seg a sexta	--
	PP1 – Temp. secundário	--	--	T = 7°C
	PP2 – Temp. secundário	--	--	T = 7°C
Subestação térmica	Funcionamento geral	Subestação programada na gestão técnica para “ <u>manual off</u> ”		
	Temperatura PP4 (ajuste no local)			
	Depósito de pré-aquecimento	T = 40°C		
UTAN	WC’s (extração)	08h30 – 17h30	Seg a sexta	T = 24°C
	Salas e corredores (insuflação)	10h00 – 15h30	Seg a sexta	
Ventiloconvectores	Climatização edifício A	10h00 – 15h30	Seg a sexta	
UTA 1D	Climatização do bar e messe (pisos 1)	11h00 – 13h00	Seg a sexta	T = 24°C
UTA 2D	Climatização das copas (1º e 2º pisos)	12h00 – 14h00	Seg a sexta	T = 24°C
UTA 3D	Climatização do bar e messe (pisos 2)	11h00 – 13h00	Seg a sexta	T = 24°C
UTA 4D	Climatização da messe de Gerais	11h00 – 14h30	Seg a sexta	T = 24°C
UTV 1	Climatização das cozinhas	9h00 – 13h00	Seg a sexta	
UTV 2	Climatização das cozinhas	--	Seg a sexta	OFF
VE 3	Extração de ar das hottes	--	Seg a sexta	OFF
VE 4	Armazém	Off		
VE 5	Gabinetes das cozinhas	Off		
VE 6	Extração da sala de reuniões (pisos 5)	Off		

**Tabela 41** – Perfil horário para os equipamentos no período de verão.

- **Estação de Aquecimento**

Sistema	Descrição	Horário de funcionamento	Dias de funcionamento	Valores de SET
Produção de água refrigerada (Chillers)	Carga	--	Dom a sexta	--
	Descarga até 30%	--	Seg a sexta	--
	Produção direta	--	Seg a sexta	--
	PP1 – Temp. secundário	--	--	T = 7°C
	PP2 – Temp. secundário	--	--	T = 7°C
Subestação térmica	Funcionamento geral	08h15 – 15h30	Seg a sexta	--
	Temperatura PP4 (ajuste no local)	--	--	T = 65°C
	Depósito de pré-aquecimento	--	--	--
UTAN	WC's (extração)	08h30 – 17h30	Seg a sexta	T = 20°C
	Salas e corredores (insuflação)	09h00 – 16h30	Seg a sexta	
Ventilocon vectores	Climatização edifício A	09h00 – 16h30	Seg a sexta	
UTA 1D	Climatização do bar e messe (pisos 1)	10h00 – 13h00	Seg a sexta	T = 20°C
UTA 2D	Climatização das copas (1º e 2º pisos)	12h00 – 14h00	Seg a sexta	T = 24°C
UTA 3D	Climatização do bar e messe (pisos 2)	10h00 – 13h00	Seg a sexta	T = 24°C
UTA 4D	Climatização da messe de Gerais	11h00 – 14h30	Seg a sexta	T = 24°C
UTV 1	Climatização das cozinhas	8h30 – 14h00	Seg a sexta	
UTV 2	Climatização das cozinhas	8h30 – 14h00	Seg a sexta	
VE 3	Extração de ar das hottes	09h00 – 13h00	Seg a sexta	--
VE 4	Armazém	Off		
VE 5	Gabinetes das cozinhas	Off		
VE 6	Extração da sala de reuniões (pisos 5)	Off		

**Tabela 42** - Perfil horário para os equipamentos no período de inverno.

- **Introdução do Horário de funcionamento dos sistemas AVAC**

O código abaixo foi introduzido no *software* para simulação do horário de funcionamento dos equipamentos de climatização.

- **Edifício A - Aquecimento**

O horário de aquecimento dos Gabinetes do edifício A é das 9h00 as 16h30 durante o período de aquecimento (de 01 de Outubro a 31 de Marco).

```
SCHEDULE:COMPACT,  
Edifício A_SetPoint,  
Temperature,  
Through: 31 Mar,  
For: WeekDays,  
Until: 09:00, 0,  
Until: 16:30, 1,  
Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0,  
Through: 30 Sep,  
For: WeekDays,  
Until: 09:00, 0,  
Until: 16:30, 0,  
Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0,  
Through: 31 Dec,  
For: WeekDays,  
Until: 09:00, 0,  
Until: 16:30, 1,  
Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0;
```

- **Edifício A - Arrefecimento**

O horário de arrefecimento dos Gabinetes do edifício A é das 9h00 as 16h30 durante o período de arrefecimento (de 01 de Abril a 30 de Setembro).

```
SCHEDULE:COMPACT,  
Edifício A_SetPoint,  
Temperature,  
Through: 31 Mar,  
For: WeekDays,  
Until: 09:00, 0,  
Until: 16:30, 0,  
Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0,  
Through: 30 Sep,  
For: WeekDays,  
Until: 09:00, 0,  
Until: 16:30, 1,  
Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0,  
Through: 31 Dec,  
For: WeekDays,  
Until: 09:00, 0,  
Until: 16:30, 0,  
Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0;
```

- **Edifício D - Aquecimento**

A climatização d edifício é realizada durante a hora de almoço (das 10h00 às 13h00), fazendo-se o aquecimento dos espaços de 01 de Outubro a 31 de Março.

```
SCHEDULE:COMPACT,  
Edifício D_SetPoint,  
Temperature,
```

Through: 31 Mar,  
For: WeekDays,  
Until: 10:00, 0,  
Until: 13:00, 1,  
Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0,  
Through: 30 Sep,  
For: WeekDays,  
Until: 10:00, 0,  
Until: 13:00, 0,  
Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0,  
Through: 31 Dec,  
For: WeekDays,  
Until: 10:00, 0,  
Until: 13:00, 1,  
Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0;

- **Edifício D - Arrefecimento**

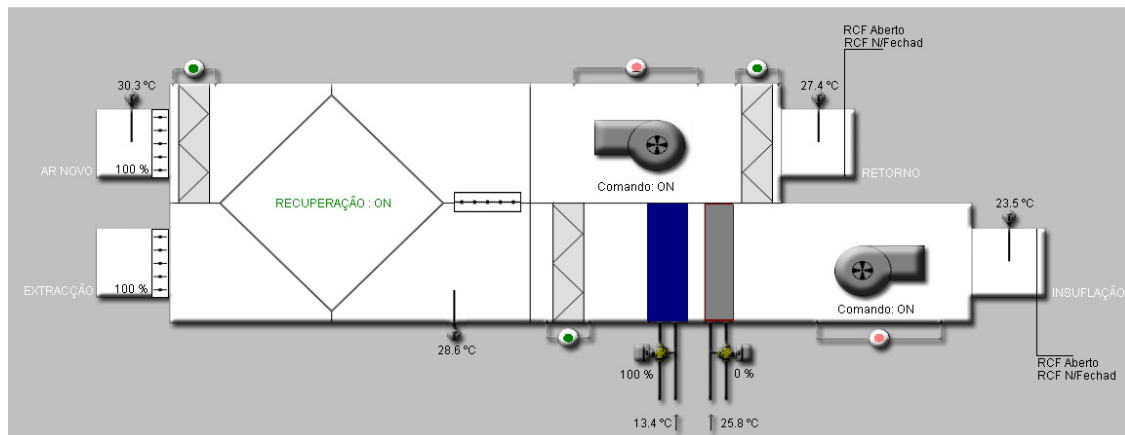
A climatização deste espaço é realizada durante a hora de almoço (das 10h00 às 13h00), fazendo-se o arrefecimento de 01 de Abril a 30 de Setembro.

SCHEDULE:COMPACT,  
Edifício D\_SetPoint,  
Temperature,  
Through: 31 Mar,  
For: WeekDays,  
Until: 10:00, 0,  
Until: 13:00, 0,  
Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0,  
Through: 30 Sep,  
For: WeekDays,  
Until: 10:00, 0,  
Until: 13:00, 1,

Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0,  
Through: 31 Dec,  
For: WeekDays,  
Until: 10:00, 0,  
Until: 13:00, 0,  
Until: 24:00, 0,  
For: AllOtherDays,  
Until: 24:00, 0;

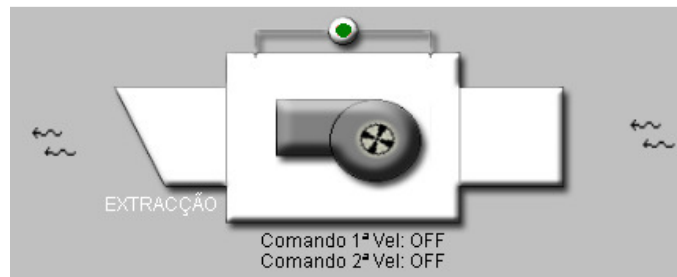
### **Anexo 3: Equipamentos de climatização**

- **UTA**



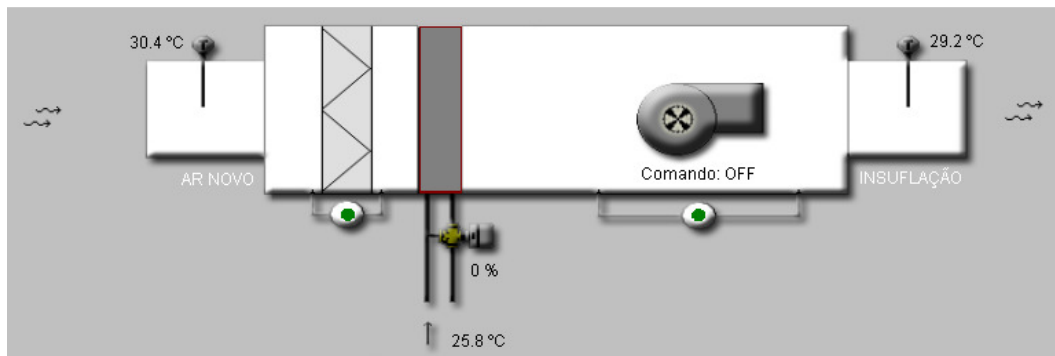
**Figura 84** – Uma das quatro Unidades de Tratamento de Ar, localizadas na cobertura do edifício D.

- **VE3**



**Figura 85** – Ventilador de extração, instalado nas hottes da cozinha.

- **UTV**



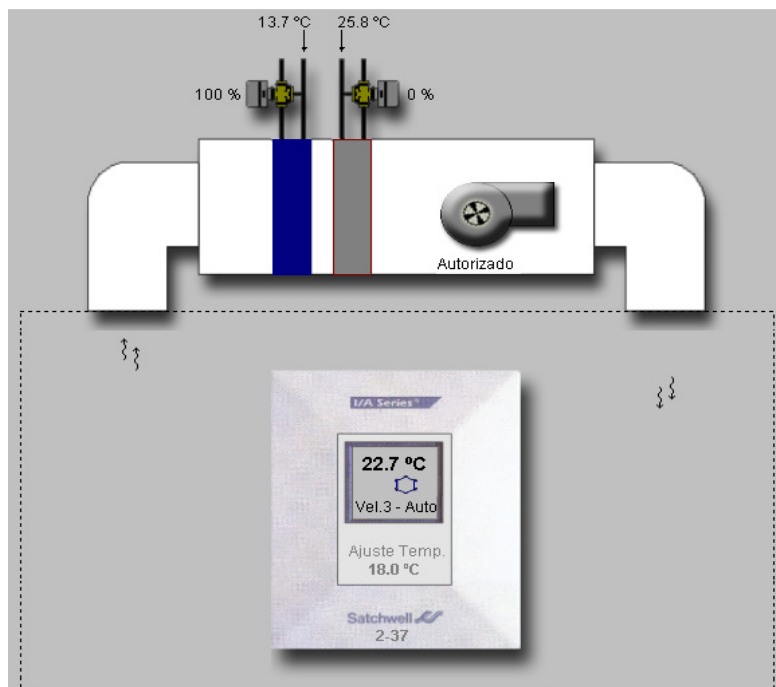
**Figura 86** – Unidade de tratamento e ventilação.

- **Disposição de equipamentos**



**Figura 87** – Disposição das unidades interiores e controladores locais, nas salas do piso 3 do edifício A.

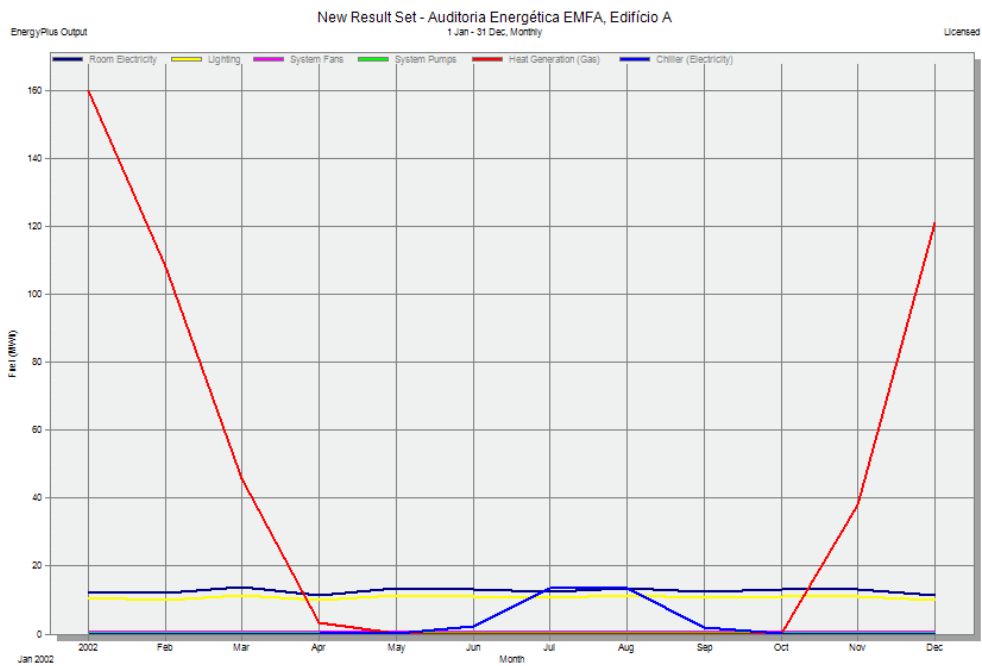
- **Ventiloconvector**



**Figura 88** – Unidade interior e respetivo controlador local.

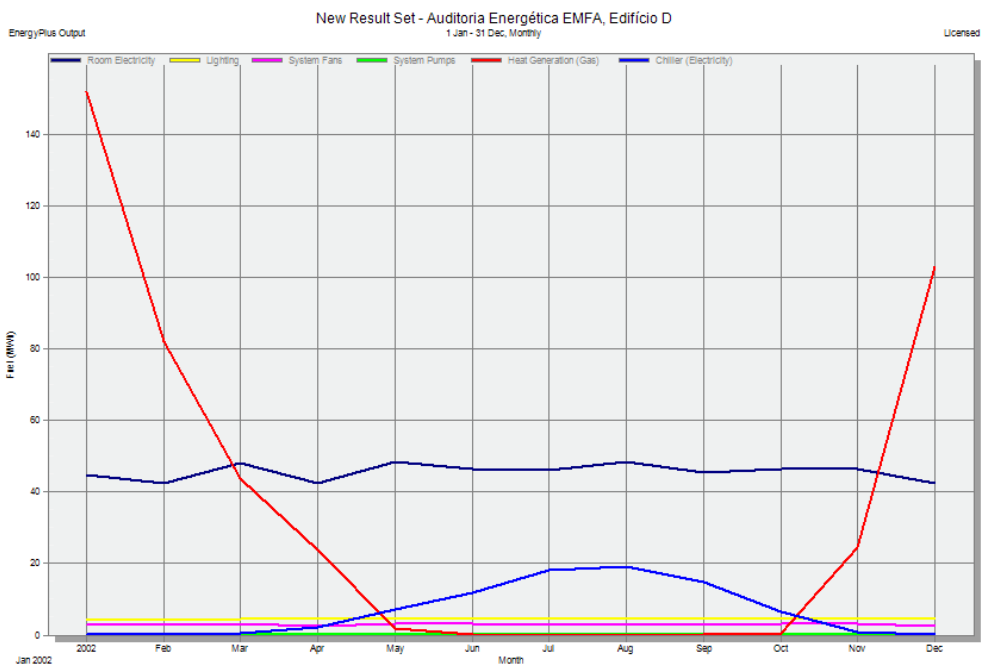
## **Anexo 4: Resultados da Simulação no DesignBuilder**

- **Edifício A**



**Figura 89** – Evolução dos consumos do edifício A.

- **Edifício D**



**Figura 90** – Evolução dos consumos no edifício D.

## **Anexo 5: Determinação do Indicador de Eficiência Energética Nominal**

- **Edifício A**

Edifício localizado em Lisboa, valor de Graus Dia (GD) de 1.190, Zona II/V1 Sul, com área útil total de 15.020 m<sup>2</sup>. O aquecimento é feito exclusivamente a partir do uso de gás natural em caldeira. Os consumos anuais verificados são os descritos no ponto 5.3 deste trabalho. Considerando um Fator de Forma (FF) no valor de 1:

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_{util}} \times F_{CI} = \frac{Q_{aq}}{A_{util}} \times \frac{N_{I1}}{N_{Ii}}$$

Para  $N_I = 4,5 + (0,021 + 0,037 \times FF) \times GD$

$$IEE_I = \frac{477273 \times 0,086}{15020} \times \frac{4,5 + (0,021 + 0,037 \times 1) \times 1000}{4,5 + (0,021 + 0,037 \times 1) \times 1190} = 2,32 \text{ kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_{util}} \times cv = \frac{Q_{arr}}{A_{util}} \times \frac{N_{C1}}{N_{Ci}} = \frac{31275 \times 0,290}{15020} \times \frac{22}{32} = 0,42 \text{ kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$IEE_{Outros} = \frac{Q_{Outros}}{A_{util}} = \frac{(152997 + 129687 + 6903 + 1368) \times 0,290}{15020} = 5,62 \text{ kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$IEE = IEE_I + IEE_V + IEE_{Outros} = 8,36 \text{ kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$$

- **Edifício D**

Edifício localizado em Lisboa, valor de Graus Dia (GD) de 1.190, Zona II/V1 Sul, com área útil total de 4.904 m<sup>2</sup>. O aquecimento é feito exclusivamente a partir do uso de gás natural em caldeira. Os consumos anuais verificados são os descritos no ponto 5.3 deste trabalho. Considerando um Fator de Forma (FF) no valor de 1:

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_{util}} \times F_{CI} = \frac{Q_{aq}}{A_{util}} \times \frac{N_{I1}}{N_{Ii}}$$

Para  $N_I = 4,5 + (0,021 + 0,037 \times FF) \times GD$

$$IEE_I = \frac{431355 \times 0,086}{4892} \times \frac{4,5 + (0,021 + 0,037 \times 1) \times 1000}{4,5 + (0,021 + 0,037 \times 1) \times 1190} = 6,45 \text{ kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_{util}} \times F_{CV} = \frac{Q_{arr}}{A_{util}} \times \frac{N_{C1}}{N_{Ci}} = \frac{81378 \times 0,290}{4892} \times \frac{22}{32} = 3,32 \text{ kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$IEE_{Outros} = \frac{Q_{Outros}}{A_{util}} = \frac{(547956 + 54115 + 35249 + 2540) \times 0,290}{4892} \\ = 37,93 \text{ kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$IEE = IEE_I + IEE_V + IEE_{Outros} = 47,69 \text{ kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$$

## **Anexo 6: Determinação da Classe Energética**

- **Edifício A**

Classe energética	IEEnom (kgep/m2.ano)			
A+	8,36	<	8,36	≤ 23,31
A	23,31	<	8,36	≤ 26,97
B	26,97	<	8,36	≤ 30,63
B-	30,63	<	8,36	≤ 34,29
C	34,29	<	8,36	≤ 41,62
D	41,62	<	8,36	≤ 48,94
E	48,94	<	8,36	≤ 56,26
F	56,26	<	8,36	≤ 63,59
G	63,59	<	8,36	

IEE nominal	IEE referência	S ponderado
8,36 kgep/m <sup>2</sup> .ano	34,29 kgep/m <sup>2</sup> .ano	14,65 kgep/m <sup>2</sup> .ano

- **Edifício D**

Classe energética	IEEnom (kgep/m2.ano)			
A+	47,69	<	47,69	≤ 47,23
A	47,23	<	47,69	≤ 51,65
B	51,65	<	47,69	≤ 56,07
B-	56,07	<	47,69	≤ 60,49
C	60,49	<	47,69	≤ 69,33
D	69,33	<	47,69	≤ 78,17
E	78,17	<	47,69	≤ 87,02
F	87,02	<	47,69	≤ 95,86
G	95,86	<	47,69	

IEE nominal	IEE referência	S ponderado
47,69 kgep/m <sup>2</sup> .ano	60,49 kgep/m <sup>2</sup> .ano	17,68 kgep/m <sup>2</sup> .ano

## **Anexo 7: Lista de Equipamentos da Cozinha**

- **Unidades AVAC**

Equipamento	Marca / Modelo	Descrição	Potência elétrica (W)
UTA 1D	TRANE CCTA 040	Ventilador insuflação	10.030
		Ventilador extração	7.258
UTA 2D	TRANE CCTA 040	Ventilador insuflação	6.142
		Ventilador extração	5.760
UTA 3D	TRANE CCTA 040	Ventilador insuflação	8.007
		Ventilador extração	7.803
UTA 4D	TRANE CCTA 040	Ventilador insuflação	3.077
		Ventilador extração	2.652
UTV1	ASEA MBL 112M28	Unidade térmica de ventilação	3.204
UTV2	ASEA MBL 112M28	Unidade térmica de ventilação	2.973
VE3	DLK VDVB 1000-100-6	Ventilador de extração	15.000

- **Equipamentos de cozinha**

- **Gás natural**

Equipamento	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Potência elétrica
Marmitas	2,38	111.940
Fogão	3,81	89.010
Placas	1,9	44.376
Grelhadores	1,44	67.080

- **Eletricidade**

Equipamento	Potência nominal (W)	Potência total (W)
Máquina lavar loiça	22.000	22.000
Forno elétrico	43.000	43.000
Máquina lavar pequena	7.500	7.500
Micro-ondas grande	73.200	146.400
Micro-ondas pequeno	31.500	31.500
Varinha mágica	1.500	1.500
Estufas	1.500	3.000
Fritadeiras 36A	16.596	33.192
Fritadeira 40A	18.440	18.440
Fritadeiras basculantes	18.440	36.880
Grelhadores de frangos (154kW)	45.000	135.000
Máquina de café	1.000	1.000
Batedeiras industriais	2.000	4.000
Serrotes	2.000	6.000
Descascador de batatas	2.000	4.000
Corta legumes	2.000	4.000
Monta-cargas	2.000	2.000
Máquina de gelo	370	740
Monta-pratos	2.000	10.000
Frigorífico	5.000	20.000

## **Anexo 8: Folhas de Cálculo**

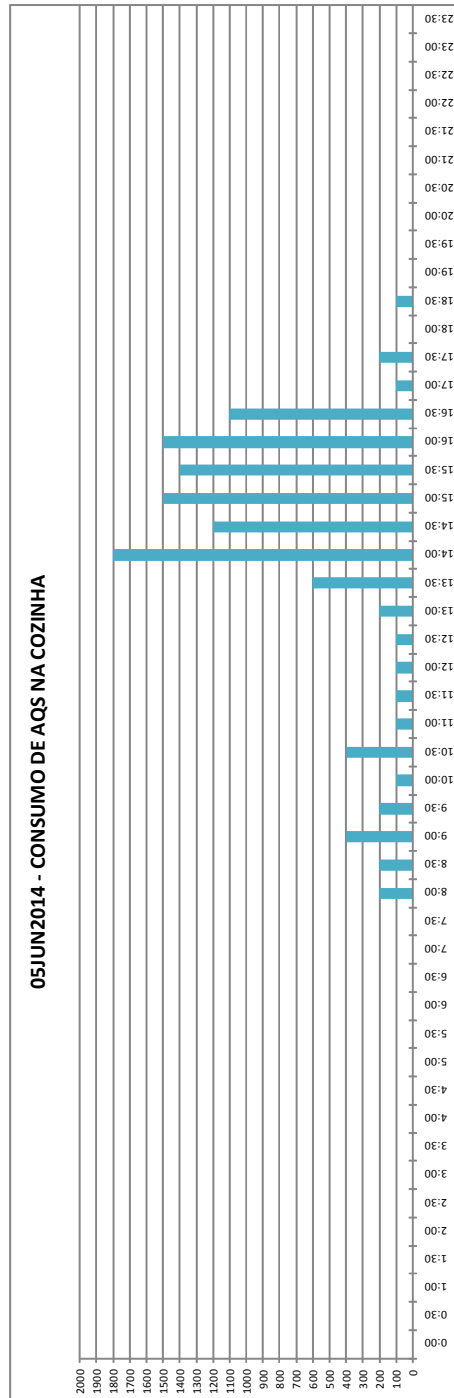
	Iluminação	Potência (W)	Tempo de funcionamento (h)	Observações
1	Fluorescente tipo 1	21,5	10	Lâmpada de 18 W
2	Fluorescente tipo 2	43	10	Lâmpada de 36 W
3	Fluorescente tipo 3	69	10	Lâmpada de 58 W
4	Fluorescente compacta	11	10	Lâmpada de 10 W
5	Incandescente		10	
	Equipamentos escritório	Potência (W)	Tempo de funcionamento (h)	
6	Portátil	100	8	
7	PC	240	8	
8	Impressora	300	3	
9	Impressora grande	500	3	
10	Fotocopiadora	500	3	
11	TV	100	8	
12	TV LCD	100	8	
13	DVD/BOX	100	8	
14	UPS	100	8	
15	Triturador de papel	100	0,25	
16	Plotter	100	1	
17	Rádio	100	8	
18	Scanner	100	0,3	
19	FAX	100	0,15	
20	AC Portátil/Termo ventilador	2300	4	
21	Ventoinha	200	4	
22	Projektor	400	1	
23	Aquecedor elétrico (óleo)	2000	4	
	Equipamentos café	Potência (W)	Tempo de funcionamento (h)	
24	Máquina de café	250	1	
25	Cafeteira	200	1	
26	Frigorífico	500	24	
27	Torradeira	500	1	
28	Micro-ondas	1500	1	

**Tabela 43** - Tabela auxiliar com a identificação dos diversos equipamentos e iluminação distribuída.



Hora	Consumo
00:00	0
00:30	0
01:00	0
01:30	0
02:00	0
02:30	0
03:00	0
03:30	0
04:00	0
04:30	0
05:00	0
05:30	0
06:00	0
06:30	0
07:00	0
07:30	0
08:00	200
08:30	200
09:00	400
09:30	200
10:00	100
10:30	400
11:00	100
11:30	100
12:00	100
12:30	100
13:00	200
13:30	500
14:00	1800
14:30	1200
15:00	1500
15:30	1400
16:00	1500
16:30	1100
17:00	100
17:30	200
18:00	0
18:30	100
19:00	0
19:30	0
20:00	0
20:30	0
21:00	0
21:30	0
22:00	0
22:30	0
23:00	0
23:30	0

TOTAL 11600



Implementação de nova caldeira	
Necessidades de Energia para preparação de AQS	163.921 (kWh/ano)
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS (caldeira actual)	56% (kWh/ano)
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS (caldeira nova)	90% (kWh/ano)
Energia utili dispensada de preparação de AQS (caldeira actual)	292.716 (kWh/ano)
Energia utili dispensada de preparação de AQS (caldeira nova)	182.134 (kWh/ano)
Custo de gás natural	0,08 (€/kWh)
Redução da factura energética c/ caldeira nova	3.324,85 (€)
Custo da caldeira nova	25.000 (€)
Retorno do investimento	3 (anos)

Tabela 45 – Estudo da viabilidade da instalação de nova caldeira.

Balanço energético mensal e anual						
Mês	Rad. Horiz. (kWh/m <sup>2</sup> )	Rad. inclin. (kWh/m <sup>2</sup> )	Desperdiçado (kWh)	Fornecido (kWh)	Carga (kWh)	Apoio (kWh)
Janeiro	63	98	0	1217	2987	1770
Fevereiro	81	111	0	1147	2574	1426
Março	118	143	0	1388	2789	1401
Abril	156	168	0	1628	2610	982
Maior	197	195	0	1912	2772	860
Junho	207	197	0	1699	2451	751
Julho	228	220	0	2025	2497	473
Agosto	210	219	0	2209	2604	396
Setembro	148	173	0	1640	2301	661
Outubro	107	142	0	1571	2758	1186
Novembro	73	111	0	1230	2766	1536
Dezembro	59	96	0	1058	2716	1658
Anual	1647	1873	0	18724	31825	13100

Implementação de sistema solar térmico	
Energia fornecida pelo sistema solar térmico	18.724 (kWh/ano)
Eficiência do actual sistema de preparação de AQS	56% (kWh/ano)
Energia utili dispensada com o sistema convencional de preparação de AQS	33.436 (kWh/ano)
Custo do gás natural	0,08 (€/kWh)
Redução da factura energética com sistema solar térmico	2.517,12 (€)
Custo do sistema solar térmico	20.000,00 (€)
Retorno do investimento	8 (anos)

**Tabela 46** – Estudo da viabilidade da implementação de sistema solar térmico.

Ano	kWp	Performance	kWh	kWh/Total	Valor referência	Rentabilidade/Ano
1	180,075	97,0%	1.528	275.110	0,16€	44.017,53€
2	180,075	96,3%	1.517	273.124	0,16€	43.699,88€
3	180,075	95,6%	1.506	271.139	0,16€	43.382,23€
4	180,075	94,9%	1.495	269.154	0,16€	43.064,58€
5	180,075	94,2%	1.484	267.168	0,16€	42.746,92€
6	180,075	93,5%	1.473	265.183	0,16€	42.429,27€
7	180,075	92,8%	1.462	263.198	0,16€	42.111,62€
8	180,075	92,1%	1.451	261.212	0,16€	41.793,97€
9	180,075	91,4%	1.440	259.227	0,16€	41.476,31€
10	180,075	90,7%	1.429	257.242	0,16€	41.158,66€
11	180,075	90,0%	1.418	255.256	0,16€	40.841,01€
12	180,075	89,3%	1.406	253.271	0,16€	40.523,36€
13	180,075	88,6%	1.395	251.286	0,16€	40.205,71€
14	180,075	87,9%	1.384	249.300	0,16€	39.888,05€
15	180,075	87,2%	1.373	247.315	0,16€	39.570,40€
16	180,075	86,5%	1.362	245.330	0,16€	39.252,75€
17	180,075	85,8%	1.351	243.344	0,16€	38.935,10€
18	180,075	85,1%	1.340	241.359	0,16€	38.617,44€
19	180,075	84,4%	1.329	239.374	0,16€	38.299,79€
20	180,075	83,7%	1.318	237.388	0,16€	37.982,14€
21	180,075	83,0%	1.307	235.403	0,16€	37.664,49€
22	180,075	82,3%	1.296	233.418	0,16€	37.346,83€
23	180,075	81,6%	1.285	231.432	0,16€	37.029,18€
24	180,075	80,9%	1.274	229.447	0,16€	36.711,53€
25	180,075	80,2%	1.263	227.462	0,16€	36.393,88€
				6.282.141		1.005.142,64€

Implementação de sistema fotovoltaico	
Quantidade de Energia para os Edifícios A e D laborarem*	994.128 (kWh/ano)
Contribuição média do sistema solar para a produção de electricidade	251.286 (kWh/ano)
Custo especialável da tarifa de electricidade	0,16 (€/kWh)
Custo da Energia	159.060,51 (€/ano)
Redução na factura energética c/ sistema solar fotovoltaico	40.205,71 (€/ano)
Custo do sistema solar fotovoltaico	219.987,90 (€)
Retorno do investimento	5 (anos)

\* Utilizando as percentagens atribuídas a cada PT.

Valor recuperado	4,57
Porcentagem redução mensal	12,99%
Garho imediato por mês	3.350,48 €

<http://www.enervise.pt/index.php?cd=15>

kwh	kwp
1	0,75
2100	1575

**Tabela 47** – Estudo da viabilidade da instalação de um sistema solar fotovoltaico.

Edifício D	Tipo de lampada (W)	11,9	13,1	43,0	47,8	69,3	Preço (€)		
							Inverno	Verão	
Piso 1	Zona 1			15	2,75	2.857,7	1,0	0,27€	0,28€
	Zona 2			64	12	53.205,3	4,4	5,15€	5,21€
Piso 2	Zona 1				2,75	0,0	0,0	0,00€	0,00€
	Zona 2			64	6	26.602,7	4,4	2,58€	2,59€
Total diário						82.665,7	9,9	8,09€	8,09€
Edifício D	Tipo de lampada (W)	9,7	10,7	34,9	38,8	56,2	Total (kW/h)		
Piso 1	Zona 1			15	2,75	2.319,4	0,8	0,23€	0,23€
	Zona 2			64	12	43.182,9	3,6	4,18€	4,23€
Piso 2	Zona 1				2,75	0,0	0,0	0,00€	0,00€
	Zona 2			64	6	21.591,5	3,6	2,09€	2,10€
Total diário						67.093,8	8,0	6,50€	6,57€
Diferença						15.571,9	1,9	1,51€	1,52€
Poupança média diária:									

Tipo de tarifa	Preço (€/h) - 2013 (€/kW)		Quantidade de horas					
	Inverno	Verão	Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3	
Cheias	0,0954	0,0955	9	2	4,5	4	2,75	0,75
Ponta	0,1013	0,1011	3	9	1,5	2		2
Vazio normal	0,0750	0,0751		1				

L	L-Bf	L-Be
10	11,9	9,7
11	13,1	10,7
36	43,0	34,9
40	47,8	38,8
58	69,3	56,2

Perfil	Tipo 1	12 h/dia	08h - 20h
Tipo 2	6 h/dia	10h - 16h	
Tipo 3	2,75 h/dia	11h45 - 14h30	

Nº de dias/ano
261

Tipo	Quantidade	Preço/un
10W	0	17,80€
11W	0	17,80€
36W	0	14,21€
40W	0	14,70€
58W	143	14,70€

L	Lampada
Bf	Balastro ferromagnético
Be	Balastro e lectromagnético

Implementação de balastos electrónicos	
Quantidade de Energia necessária para iluminação (balastro electromagnético)	2.586 (kWh/ano)
Quantidade de Energia necessária para iluminação (balastro electrónico)	2.099 (kWh/ano)
Custo da Energia (balastro electromagnético)	2.100,12 (€/ano)
Custo da Energia (balastro electrónico)	1.704,52 (€/ano)
Redução na factura energética c/ balastro electrónico	395,60 (€/ano)
Custo do conjunto de balastos electrónicos	2.102,10 (€)
Retorno do investimento	5 (anos)

Tabela 48 – Estudo da viabilidade da substituição de balastos.

Edifício A			
<b>Tipo iluminação (W)</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Consumo (kWh)</b>	<b>Consumo anual (kWh)</b>
18	742	67,7	16.578,7
36	78		
58	888		
<b>Iluminação LED (W)</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Consumo (kWh)</b>	<b>Consumo anual (kWh)</b>
9	742	29,2	7.163,3
16	78		
24	888		
<b>Horário a que ligam</b>	<b>90,00%</b>	<b>Hora a que desligam</b>	<b>10,00%</b>
Às 8h00		Às 18h00	
		Ficam ligadas	
<b>Tipo de tarifa</b>	<b>Preço (€/kWh) - 2013 (€/kWh)</b>	<b>Horário</b>	<b>Número de horas</b>
Chéias	0,0954	Inverno	8
Ponta	0,1013	Verão	7
Supervazio	0,0709		2
Vazio normal	0,0750		--
			1

Iluminação actual			
<b>Custo (€/dia)</b>	<b>Dias úteis</b>	<b>Poupança (€/ano)</b>	
Inverno   Verão	Inverno   Verão		
46,48 €   40,71 €	123   122	14.261,90 €	
12,34 €   12,31 €	123		
0,00 €   0,00 €			
0,00 €   4,57 €			

Iluminação a LED			
<b>Custo (€/dia)</b>	<b>Dias úteis</b>	<b>Poupança (€/ano)</b>	
Inverno   Verão	Inverno   Verão		
20,08 €   17,59 €	123   122	6.162,29 €	
5,33 €   5,32 €	123		
0,00 €   0,00 €			
0,00 €   1,98 €			

Custo	
600mm 10W 840 C	10,99 €
1500mm 25W 840 C	14,99 €
Custo empreitada	21.465,70 €

Instalação de iluminação a LED			
Quantidade de Energia necessária para a iluminação actual	16.579	(kWh/ano)	
Quantidade de Energia necessária para a iluminação a LED	7.163	(kWh/ano)	
Custo da Energia com iluminação actual	14.261,90	(€/ano)	
Custo da Energia com iluminação a LED	6.162,29	(€/ano)	
Redução na factura energética	8.099,62	(€/ano)	
Custo da empreitada	21.465,70	(€)	
Retorno do investimento	3	(anos)	

Tabela 49 – Estudo da viabilidade da instalação de iluminação LED.

Implementação de sistema com bomba de calor	
Quantidade de energia para climatização dos edifícios A e D	508.832 (kWh/ano)
Quantidade de energia utilizada pela caldeira (eficiência de 0,56 %)	908.629 (kWh/ano)
Quantidade de energia utilizada com bomba de calor (COP de 3)	169.611 (kWh/ano)
Custo da energia eléctrica (valores de 2013)	0,15 (€/kWh)
Custo do gás natural (valores de 2013)	0,07 (€/kWh)
Redução na factura energética c/ sistema c/ bomba de calor	38.162,40 (€/ano)
Custo do sistema com bomba de calor	100.000,00 (€)
Retorno do investimento	3 (anos)

Consumos (em kWh/ano)	Caldeira	Necessidade	UTA
Edifício A	56%	--	3
Edifício D	431.355	--	--
Total	908.629	508.832	169.611

Date/Time	Edifício A		Edifício D	
	Aquecimento (Gas) kWh	Aquecimento (eletricidade) kWh	Aquecimento (Gas) kWh	Aquecimento (eletricidade) kWh
Janeiro	160.040	29.874	151.709	28.319
Fevereiro	108.243	20.205	82.101	15.325
Março	45.857	8.560	43.787	8.174
Abril	3.479	649	23.859	4.454
Maior	22	4	1.697	317
Junho	0	0	8	2
Julho	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0
Setembro	0	0	7	1
Outubro	339	63	625	117
Novembro	38.132	7.118	24.603	4.593
Dezembro	121.161	22.617	102.958	19.219
TOTAL	477.273	89.091	431.355	80.520

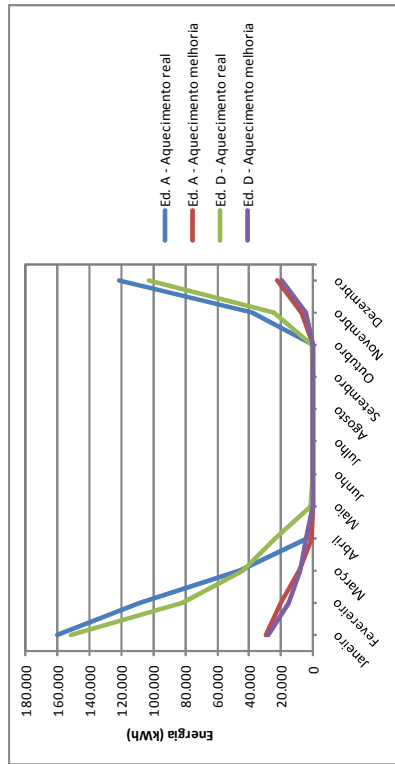


Tabela 50 – Estudo da viabilidade da implementação de sistemas com bomba de calor.

	kW	S/Ventilação nocturna	C/Ventilação nocturna
Glazing		-778,67	-759,70
Walls		-172,46	-140,32
Ceilings (int)		943,00	945,42
Floors (int)		-1.010,36	-1.021,97
Ground Floors		-201,18	-199,89
Partitions (int)		17,80	-32,82
Roofs		269,53	286,55
Floors (ext)		-1,49	-0,81
Sensible Cooling		-1.680,62	-1.529,99
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration		39,65	43,72
External Infiltration		-1.970,07	-1.908,25
External Vent.		22,68	-249,67
Total Cooling		-1.913,39	-1.749,00
Relative Humidity		32,01	32,45
General Lighting		889,56	889,56
Catering Gains		130,11	130,11
Computer + Equip		1.020,60	1.020,60
Occupancy		33,59	35,53
Solar Gains Exterior Windows		2.592,87	2.592,87
Zone Sensible Cooling		-1.677,75	-1.527,81
Air Temperature		33,77	33,59
Radiant Temperature		34,82	34,65
Operative Temperature		34,30	34,12
Outside Dry-Bulb Temperature		27,87	27,87

	Energia (kWh/ano)	Equipamentos	Iluminação	Ventiladores	Bombas	Aquecimento (Gás)	Arrefecimento
S/Ventilação nocturna		152.987	129.687	6.903	1.368	477.273	31.275
C/Ventilação nocturna		152.987	129.687	9.388	1.368	477.306	24.932
Diferença		0	0	2.485	0	33	-6.343
				26,5%			-25,4%

Tipo de tarifa	Preço (€/kWh) - 2013 (€/kWh)		Número de horas		Horário arrefecimento	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	0h00 - 6h00	10h00 - 15h30
Cheias	0,0954	0,0955	0	3,5	0	4,036
Ponta	0,1013	0,1011	0	2	0	2,307
Super-vazio	0,0709	0,0713	0	4	1,657	0
Vazio normal	0,0750	0,0751	0	2	828	0

Ventilação nocturna	
Quantidade de Energia necessária para arrefecimento do edifício A, sem ventilação mecânica nocturna	31.275 (kWh/ano)
Quantidade de Energia necessária para arrefecimento do edifício A, com ventilação mecânica nocturna	24.932 (kWh/ano)
Quantidade de Energia poupada	6.343 (kWh/ano)
Valor da poupança acumulada	618,67 (€/ano)
Quantidade de Energia na ventilação mecânica nocturna	2.485 (kWh/ano)
Custo para ventilação nocturna	180,33 (€/ano)
Redução da fatura energética	438,34 (€/ano)
Custo da implementação da medida	0,00 (€/ano)
Retorno do investimento	Imediato (anos)

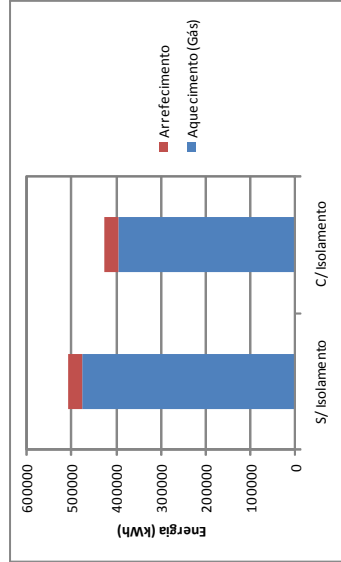
Tabela 51 – Estudo da viabilidade da ventilação mecânica nocturna.

Edifício A (kWh/ano)	Equipamentos	Iluminação	Ventiladores	Bombas	Aquecimento (Gás)	Arefecimento
S/ Isolamento	152997	129687	6903	1368	477273	31275
C/ Isolamento	152997	129687	6903	1368	395667	31027
Diferença	0	0	0	0	-81606	-248

Tarifa  
0,15

508548  
426694  
-16,1%

Edifício A (kWh/mês)	Dados DesignBuilder	
	S/ Isolamento	C/ Isolamento
Janeiro	160.040	136.384
Fevereiro	108.243	93.865
Março	45.857	35.855
Abril	3.479	2.603
Mai	22	9
Junho	0	2.135
Julho	0	13.355
Agosto	0	13.361
Setembro	0	2.043
Outubro	339	32
Novembro	38.132	0
Dezembro	121.161	0
Total	477.273	31.276



Isolamento das paredes exteriores	
Quantidade de Energia necessária para climatização, sem isolamento exterior	508.548 (kWh/ano)
Quantidade de Energia necessária para climatização, com isolamento exterior	426.694 (kWh/ano)
Quantidade de Energia poupada	81.854 (kWh/ano)
Redução da factura energética	12.278,10 (€/ano)
Área da envolvente exterior	2.900 m <sup>2</sup>
Custo do EPS	32,00 (€/m <sup>2</sup> )
Custo da implementação da medida	92.800,00 (€)
Retorno do investimento	8 (anos)

Tabela 52 – Estudo da viabilidade do isolamento de paredes exteriores.

Local	Quantidade	Consumo unitário (W)	Consumo total (kWh)	Consumo (das 18h às 08h) (kWh/ano)
Edifício A	330		23,38	
Edifício D	4	70		80193,4

Horário de encerramento	Hora a que ligam
Às 18h00	Às 8h00
Ficam ligados	100%

Tipo de tarifa	Preço (c/iva) - 2013 (€/kWh)		Número de horas		Custo (€/dia)		Dias úteis		Poupança (€/ano)
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	
Cheias	0,0954	0,0955	2	3	4,01 €	6,03 €	123	122	5.867,52 €
Ponta	0,1013	0,1011	2	2	4,26 €	4,25 €			
Super vazio	0,0709	0,0713	4	4	5,97 €	6,00 €			
Vazio normal	0,0750	0,0751	6	5	9,47 €	7,90 €			

Encerramento automático dos computadores

Consumo anual de todos os computadores (funcionamento entre as 18h e as 08h)  (kWh/ano)

Custo anual proveniente do funcionamento dos computadores (entre as 18h e as 20h)  (€/ano)

Custo de implementação de software para encerramento dos equipamentos  (€/ano)

Retorno do investimento  (anos)

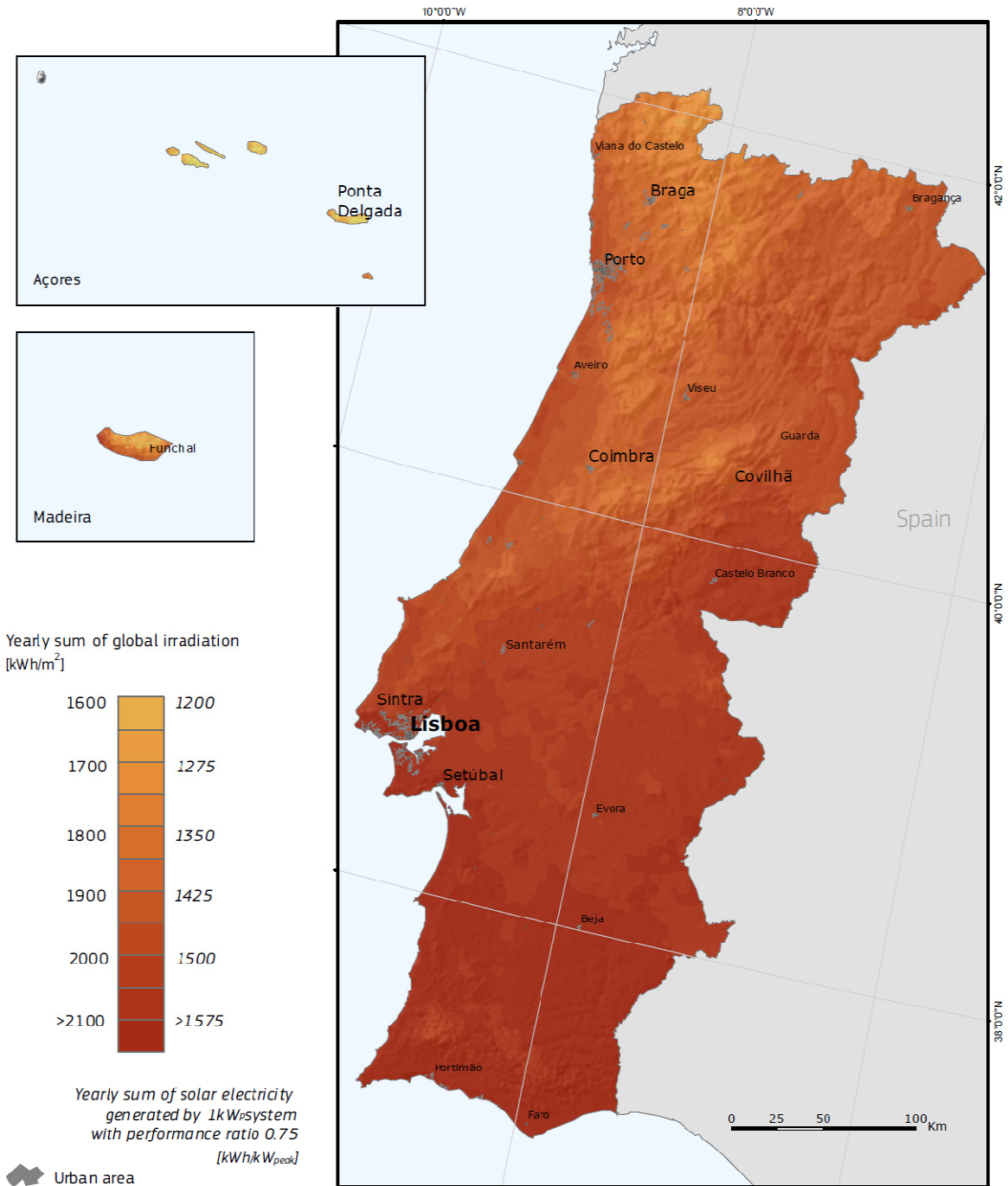
**Tabela 53** – Estudo da viabilidade do encerramento dos computadores.

## **Anexo 9: Irradiação solar em Portugal**

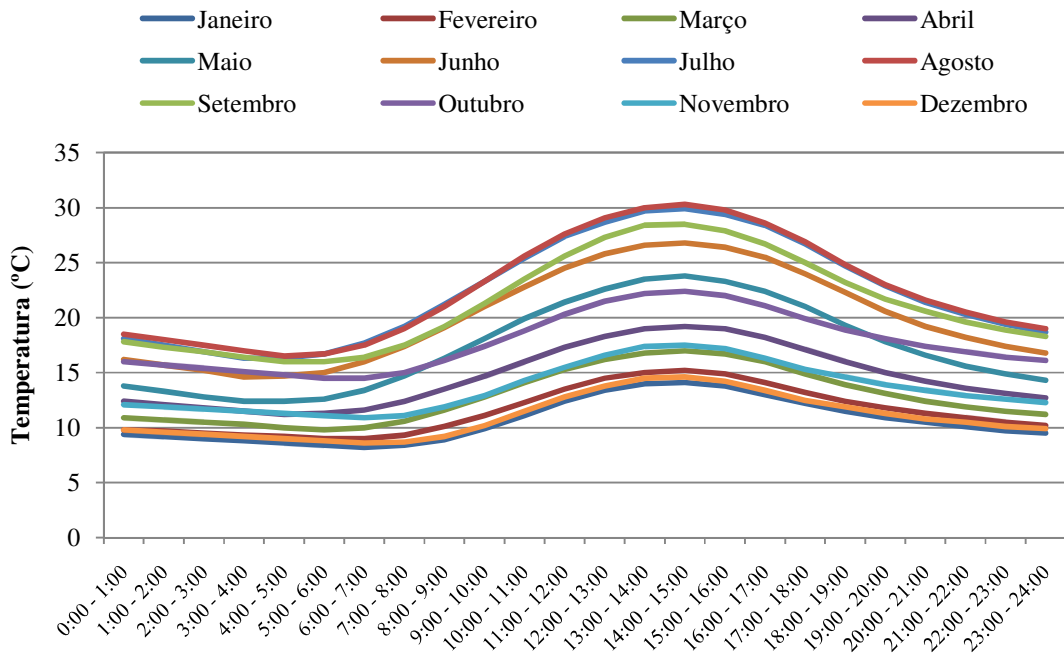
# Global irradiation and solar electricity potential

Optimally-inclined photovoltaic modules

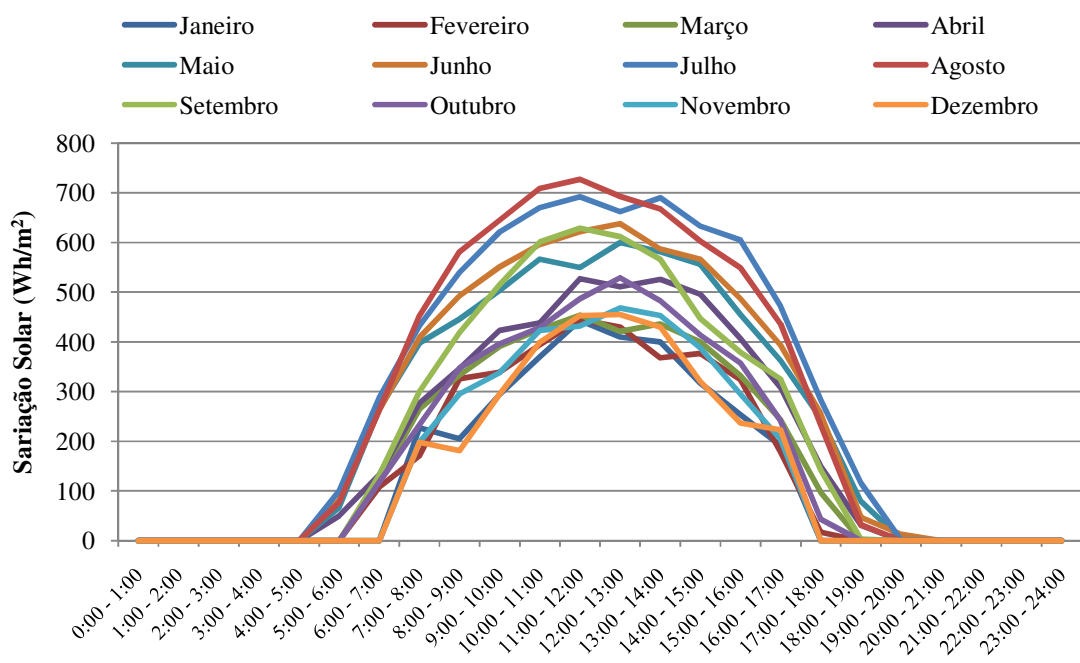
## PORTUGAL



## **Anexo 10: Datos climatológicos**

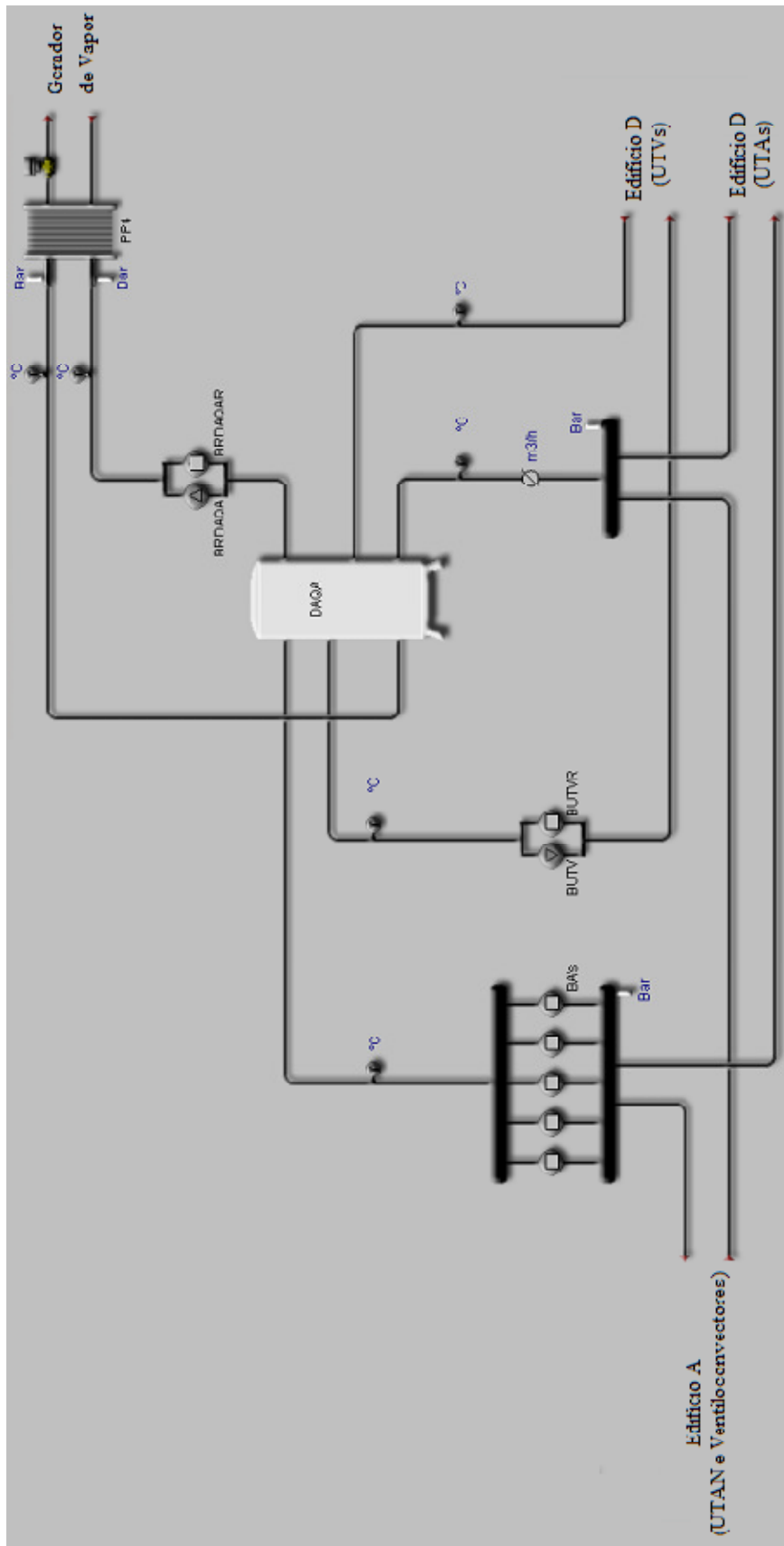


**Figura 91** - Valores médios de temperatura tomados, do ficheiro climático, para cálculo e simulação dinâmica. Fonte: Solterm.

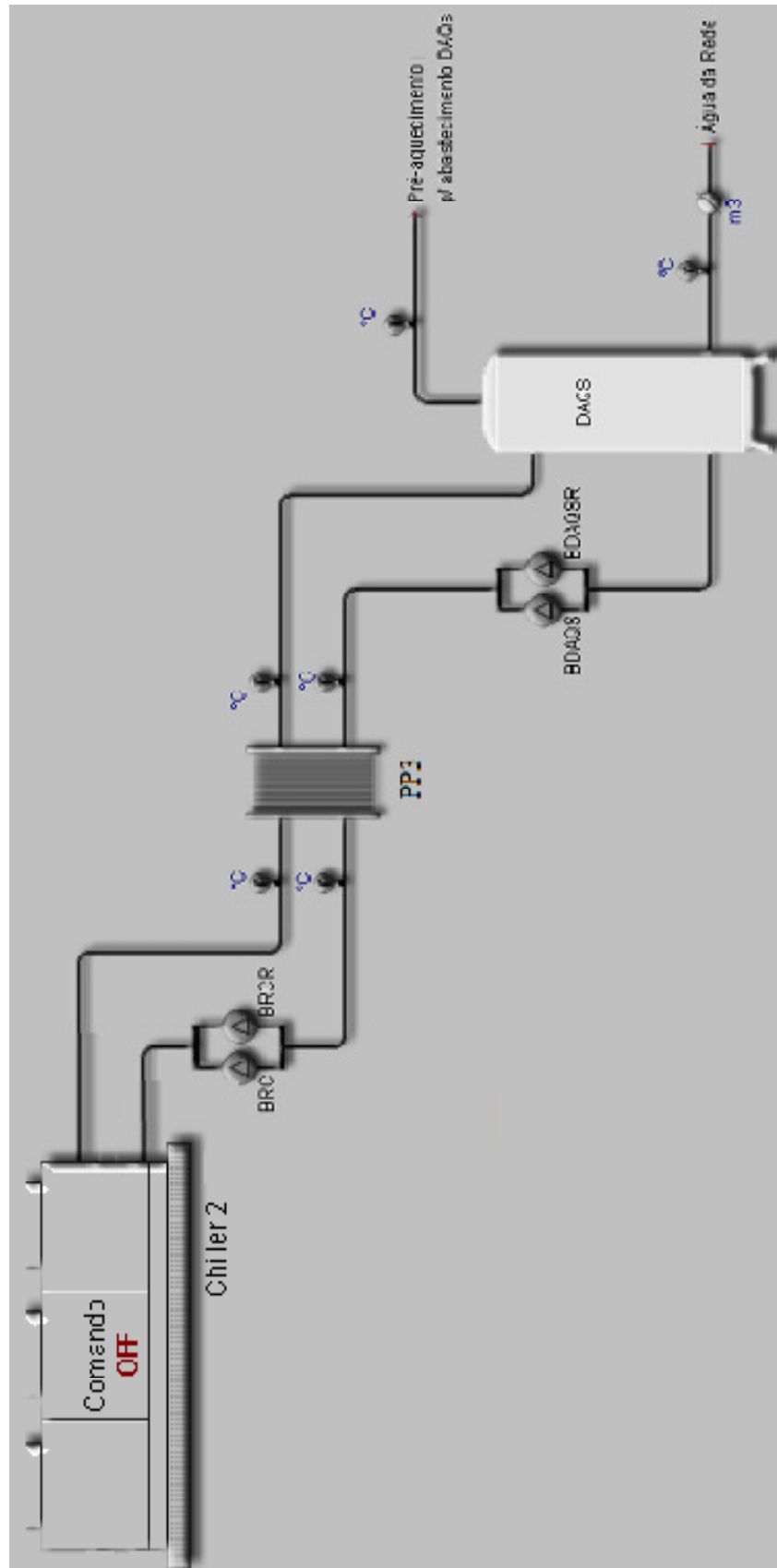


**Figura 92** – Valores médios de Radiação Solar tomados, do ficheiro climático, para cálculo e simulação dinâmica. Fonte: Solterm.

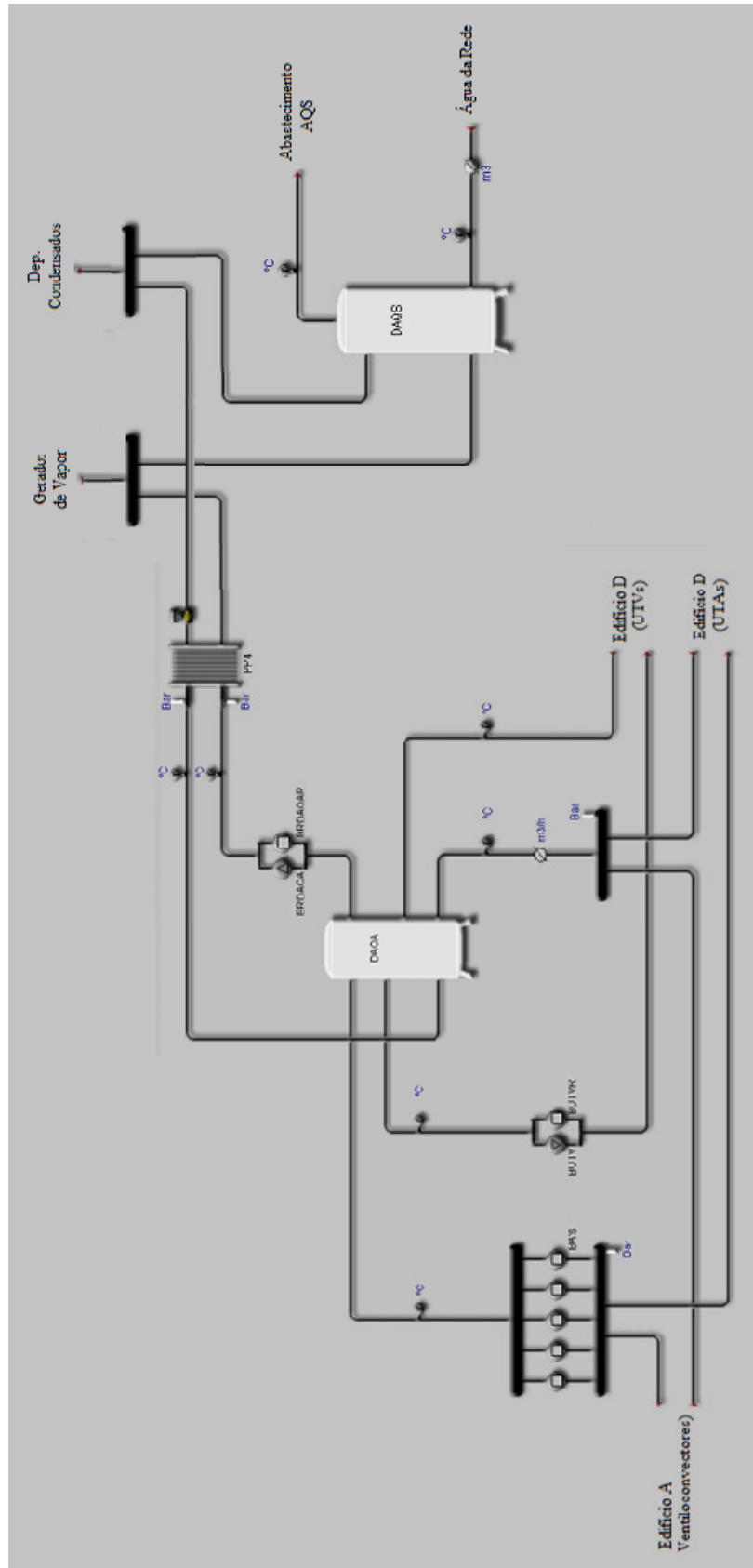
## **Anexo 11: Diagramas**



**Figura 93** - Esquema da produção e distribuição de águas quentes para aquecimento ambiente.



**Figura 94** - Esquema de reaproveitamento de águas quentes do chiller.



**Figura 95** – Esquema geral de aquecimento ambiente e águas quentes sanitárias.

## **Anexo 12: Catálogos**