



Pedro Nuno Brites Bento da Silva

**Soluções de racionalização energética
do Edifício do DEMI/FCT/UNL à luz do
RSECE**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. João José Lopes de Carvalho

Júri:

Presidente: Professor Doutor António Paulo Vale Urgueira
Vogal: Mestre João Paulo Gaspar Martins
Vogal: Professor Doutor José Fernando de Almeida Dias
Vogal: Professor Doutor João José Lopes de Carvalho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março de 2012

Soluções de racionalização energética do Edifício do DEMI/FCT/UNL à luz do RSECE

Copyright © 2012 - Pedro Nuno Brites Bento da Silva e Faculdade de Ciências e Tecnologia –
Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*Dedicado aos meus pais
e avós.*

Agradecimentos

A realização da presente dissertação foi possível graças à colaboração, directa ou indirecta, de várias pessoas. Quero expressar aqui o meu agradecimento às seguintes pessoas:

Ao Professor J. J. Lopes de Carvalho pela orientação que me deu ao longo dos trabalhos a desenvolver para a realização desta dissertação, bem como a sua pronta disponibilidade. À Patrícia Barros pela ajuda na reunião de dados sobre o edifício em estudo.

De uma forma indirecta mas igualmente importante aqui fica registado o meu muito obrigado aos meus pais, José Bento da Silva e Maria Albina Brites, pela oportunidade que me deram em estudar, e pela força que me foi transmitida ao longo dos anos. Ao meu irmão, Marco Bento pelo apoio na integração da vida estudante universitário e ao meu irmão João Bento pelas palavras de apoio. Aos meus amigos, Miguel Carreira e Nuno Gonçalves pelas experiencias partilhadas e vividas ao longo dos últimos anos, que ficaram marcadas para toda a vida. À minha namorada Sónia Olaio pela compreensão, carinho, paciência e apoio que demonstrou desde que nos conhecemos.

O meu mais sincero agradecimento a todos vocês.

Pedro Bento Silva

Resumo

A presente dissertação teve como objectivo estudar medidas de racionalização energética para o Edifício VIII do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, situado no campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa. Esta pode ser considerada dividida em três partes.

A primeira parte do estudo consistiu na análise das leituras efectuadas ao contador de energia eléctrica do edifício VIII, referentes aos anos de 2007 a 2010. Os valores em análise, dos únicos anos com leituras completas (2008 e 2009), revelaram-se à partida desajustados dos valores esperados para a tipologia do edifício em causa. Tendo o D-Lei RSECE como linha de orientação para o presente estudo, o IEE real apresentou-se acima do valor limite ponderado para o IEE de referência.

Para a segunda parte, o Ed.VIII foi submetido a uma simulação dinâmica detalhada multizona, utilizando para tal o software DesignBuilder que está associado ao EnergyPlus. Com a simulação anual em condições nominais, foi possível verificar que o IEE nominal se encontra acima do IEE de referência ponderado inicialmente. A incoerência revelada pelas leituras anuais ao contador de energia eléctrica, ganhou fundamento após o cálculo dos valores nominais.

A última etapa da dissertação, teve como objectivo a apresentação de propostas de medidas de racionalização energética para o presente caso, sendo possível encontrar e apresentar poupanças significativas para o Ed.VIII do DEMI.

Termos chave:

DesignBuilder; EnergyPlus; Eficiência energética; Racionalização energética; RSECE.

Abstract

This thesis is aimed to study the rationalization of energy for building VIII of the Department of Mechanical and Industrial Engineering, located on campus of the Faculty of Science and Technology, for the New University of Lisbon. This thesis can be considered in three parts.

The first part of the study was the analysis of the energetic readings taken from building VIII's energy meter, from the year 2007 to 2010. From the values in question, the only years with complete readings (2008 and 2009), provided unexpected values for the typology of the building in question. Using the D-RSECE Law as a guideline for the present study, the real IEE presented values above the threshold reference for the IEE.

For the second part, the building in question, VIII, was submitted to a detailed multizone dynamic simulation, using software such as DesignBuilder that is associated with EnergyPlus. By simulating annual nominal conditions, we found that the nominal IEE is above the original reference mark. The inconsistency revealed by the annual readings of the electrical energy meter, gained ground after the calculation of the nominal values.

The last step of the dissertation was aimed at the proposal for rationalization of energy for this particular case in question, being possible to provide significant savings for Building.VIII of the DEMI.

Keywords:

DesignBuilder, EnergyPlus, Energy efficiency, energy rationalization; RSECE

Índice de matérias

1.	Introdução	1
1.1.	Enquadramento.....	1
1.1.1.	Edifícios em Portugal	3
1.2.	Objectivo	4
2.	Regulamentos	7
2.1.	RSECE aplicado um edifício de serviço existente	7
2.2.	Sistema de Certificação de Edifícios.....	8
3.	Caso de estudo.....	11
3.1.	Descrição sumaria do edifício	11
3.1.1.	Corpo NORTE.....	12
3.1.2.	Corpo CENTRAL	13
3.1.3.	Corpo SUL	16
3.2.	Análise as facturas energéticas.....	18
3.2.1.	IEE de referência.....	22
3.2.2.	IEE real.....	26
3.2.3.	Análise.....	28
4.	Simulação multizona	31
4.1.	Análise energética	31
4.2.	Simulação dinâmica detalhada	32
4.3.	DesignBuilder e Energy+	34
4.4.	Descrição do edifício.....	35
4.4.1.	Dados climáticos	36
4.4.2.	Envolvente.....	37
4.4.3.	Materiais de Construção.....	39
4.4.4.	Vãos envidraçados e portas	40

4.5.	Ocupação.....	41
4.5.1.	Densidade Ocupacional Real.....	42
4.6.	Equipamentos.....	43
4.7.	Iluminação.....	44
4.8.	Sistema de climatização e ventilação.....	46
4.8.1.	Corpo Norte.....	47
4.8.2.	Corpo CENTRAL.....	47
4.8.3.	Corpo SUL.....	49
4.8.4.	Renovação do ar.....	52
4.9.	Carga térmica.....	56
4.9.1.	Estação de aquecimento.....	56
4.9.2.	Estação de arrefecimento.....	59
4.10.	Simulação anual.....	61
4.10.1.	Consumos anuais de energia.....	62
4.10.2.	Consumos mensais.....	64
5.	Soluções de racionalização energética.....	69
5.1.	PRE1 – Substituição dos balastos das iluminárias.....	70
5.2.	PRE2 – Pressurização do edifício.....	75
5.3.	PRE 1 + PRE 2.....	77
5.3.1.	Análise económica das medidas propostas.....	79
5.4.	Outras formas de poupar energia.....	80
5.4.1.	Sistema AVAC VAC equipado com Reheat.....	80
5.4.2.	Controlo do fluxo eléctrico.....	84
6.	Conclusão.....	85
	Bibliografia.....	87
	Anexos.....	89

Índice de figuras

Figura 1-1 – Consumo de Energia Primária em Portugal (2009); fonte DGEG	1
Figura 2-1: Fluxograma de determinação do valor do IEE referente aos grandes edifícios de serviço existentes.	10
Figura 3-1: Vista da fachada Oeste do corpo Norte, Central e Sul.	11
Figura 3-2: Vista superior do Ed.VIII do DEMI	11
Figura 3-3: Vista superior detalhada do corpo Norte, piso nº2.	12
Figura 3-4: Vista superior detalhada do corpo Norte, piso nº3.	13
Figura 3-5: Vista superior detalhada do corpo Norte, piso nº4.	13
Figura 3-6: Vista superior detalhada do corpo Central, piso nº1.....	14
Figura 3-7: Vista superior detalhada do corpo Central, piso nº2.....	14
Figura 3-8: Vista superior detalhada do corpo Central, piso nº3.....	15
Figura 3-9: Vista superior detalhada do corpo Central, piso nº4.....	15
Figura 3-10: Vista superior detalhada do corpo Sul, piso nº1.....	16
Figura 3-11: Vista superior detalhada do corpo Sul, piso nº2.....	16
Figura 3-12: Vista superior detalhada do corpo Sul, piso nº3.....	17
Figura 3-13: Vista superior detalhada do corpo Sul, piso nº4.....	17
Figura 3-14: Rede de distribuição de Gás Propano (Ed.Dep., Ed.VII, Ed.VIII e Ed.IX).....	18
Figura 3-15: Gráfico das leituras do consumo de electricidade mensal, referentes aos anos de 2008 e 2009 do Ed.VIII.....	19
Figura 3-16: Gráfico comparativo dos consumos mensais referentes aos anos de 2008 e 2009.	19
Figura 3-17: Gráfico representativo da população média mensal no Ed.VIII do DEMI.....	20
Figura 3-18: Gráfico com os consumos mensais de electricidade do Bar do Ed.VIII.	21
Figura 3-19: a) Consumos de electricidade efectivos do Bar e DEMI. b) Consumos de electricidade esperados em relação à área ocupada pelo Bar.	21
Figura 4-1: Hierarquia atribuída à construção do modelo detalhado no programa DesignBuilder.	35
Figura 4-2: Estrutura do modelo representativo do Ed.VIII no programa DesignBuilder.	37
Figura 4-3: Vista do modelo representativo do Ed.VIII no DesignBuilder e orientação geográfica.....	38
Figura 4-4: Vista detalhada do modelo representativo do Ed.VIII, com a função “visualize” do DesignBuilder.	38

Figura 4-5: Comparação da fachada Oeste do corpo Norte, entre o modelo virtual, construído no DesignBuilder e o edifício real.....	39
Figura 4-6: Representação esquemática da constituição das paredes exteriores do Ed.VIII.	40
Figura 4-7: Esquema representativo do sistema AVAC tipo CAV disponível para simulação no DesignBuilder.	51
Figura 4-8: Taxas de renovação horária devidas à ventilação natural (V_x/V), em função do desequilíbrio entre caudais insuflados e extraídos [$(V_{ins}-V_{ext})/V$], e da classe de exposição do edifício.....	53
Figura 4-9: Distância do Ed.VIII ao litoral.	54
Figura 4-10: Altura do Ed.VIII do DEMI.	54
Figura 4-11: Gráfico dos balanços energéticos das necessidades de aquecimento do Ed.VIII. ..	57
Figura 4-12: Comparação entre perdas energéticas do Ed.VIII na estação de aquecimento.....	58
Figura 4-13: Ganhos internos no Gabinete situado no Corpo Norte, piso nº4 (exemplo).....	61
Figura 4-14: Comparação entre consumos anuais nominais desagregados do Ed.VIII do DEMI.	62
Figura 4-15: Consumos anuais nominais de energia eléctrica no Ed.VIII do DEMI.....	63
Figura 4-16 - Consumos mensais nominais de energia eléctrica e gás do Ed.VIII do DEMI.	65
Figura 4-17 – Consumos mensais nominais desagregados do Ed.VIII do DEMI.....	66
Figura 4-18: Consumos diários nominais desagregados do Ed.VIII do DEMI.....	66
Figura 4-19: Gráfico representativo dos consumos desagregados de energia (vários), variação de temperatura, balanços energéticos, energia do sistema AVAC e trocas de ar.	67
Figura 5-1: Gráfico comparativo entre os consumos de energia anuais nominais após a substituição dos balastos nas luminárias.....	73
Figura 5-2: Gráfico comparativo entre os consumos de energia anuais nominais após submeter o Ed.VIII sobrepressão.....	76
Figura 5-3: Gráfico comparativo entre os consumos de energia anuais nominais após a substituição dos balastos das luminárias e da pressurização do Ed.VIII.	78
Figura 5-4: Gráfico representativo da variação de temperatura ao longo de uma semana na Sala de aula (UTV6), e balanço energético.....	80
Figura 5-5: Esquema do sistema VAC instalado no Ed.VIII do DEMI.	81
Figura 5-6: Adaptação do sistema VAC instalado no Ed.VIII do DEMI com um sistema Reheat.	81
Figura 5-7: Gráfico representativo da variação de temperatura ao longo de uma semana na Sala de aula (UTV6) e balanço energético, após a instalação de um sistema Reheat.....	82
Figura 5-8: Gráfico comparativo entre os consumos de energia anuais nominais após a instalação de um sistema Reheat.....	83

Índice de tabelas

Tabela 1-1: Legislação Portuguesa para a Certificação Energética de Edifícios.....	4
Tabela 3-1: Tabela explicativa da diferença entre os vários IEE existentes.	22
Tabela 3-2: Valores limite dos consumos globais específicos dos edifícios de serviço existentes; RSECE, Anexo X.....	23
Tabela 3-3: Áreas das tipologias atribuídas ao Ed.VIII do DEMI.	25
Tabela 3-4: IEE de referência das diferentes tipologias enquadradas no Ed.VIII do DEMI.	26
Tabela 3-5: Consumos de electricidade anuais (2008 e 2009), do DEMI e Bar.	27
Tabela 3-6: Média dos consumos anuais de electricidade do Ed.VIII.	27
Tabela 3-7: Área útil de pavimento do Ed.VIII.....	27
Tabela 4-1: Características climáticas da região de Almada utilizadas no programa de simulação DesignBuilder.	36
Tabela 4-2: População média diária no Ed.VIII do DEMI.....	42
Tabela 4-3: Comparação entre a densidade ocupacional real com a densidade ocupacional nominal.....	42
Tabela 4-4: Características da iluminação instalada no Ed.VIII do DEMI.	44
Tabela 4-5: Características da UTV1, UTV2 e UTV3, instaladas no corpo Norte.....	47
Tabela 4-6: Características da UTV4, do corpo Central, ala Norte.	48
Tabela 4-7: Características da UTV5, UTV6, UTV7 e UTV8, do corpo Central, ala Sul.....	49
Tabela 4-8: Características da UTV9, UTV10, UTV11 e UTV12, do corpo Sul.	49
Tabela 4-9: Permissão para ignorar a taxa de ventilação natural em função da classe de exposição e a taxa de desequilíbrio da ventilação mecânica.....	53
Tabela 4-10: Classificação das classes de exposição ao vento das fachadas do edifício. (RCCTE, Anexo IV, Quadro IV.2)	55
Tabela 4-11: Caudais mínimos de ar novo atribuídas aos espaços das tipologias do Ed.VIII. (RSECE, Anexo VI).....	55
Tabela 4-12: Necessidade de aquecimento – balanços energéticos.	56
Tabela 4-13: Balanços energéticos das necessidades de aquecimento do Ed.VIII. (kW)	58
Tabela 4-14: Necessidades de arrefecimento – balanços energéticos.	59
Tabela 4-15: Consumos anuais nominais desagregados do Ed.VIII do DEMI.	62
Tabela 4-16: Consumos anuais nominais, em energia primária do Ed.VIII do DEMI.	64

Tabela 5-1: Comparação do consumo de energia (lâmpada + balastro) entre diferentes sistemas de balastros.....	72
Tabela 5-2: Consumos anuais de energia desagregados, após a substituição dos balastros nas luminárias.....	72
Tabela 5-3: Poupança advinda da substituição dos balastros das luminárias.....	74
Tabela 5-4: Consumos anuais de energia desagregados, após submeter o Ed.VIII sobrepressão.	75
Tabela 5-5: Poupança relativa à pressurização do Ed.VIII.	76
Tabela 5-6: Consumos anuais de energia desagregados, após a substituição dos balastros das luminárias e pressurização do Ed.VIII.	77
Tabela 5-7: Poupança relativa à substituição dos balastros das luminárias e pressurização do Ed.VIII	78
Tabela 5-8: Consumos anuais de energia desagregados, após a instalação do sistema Reheat... 82	
Tabela 5-9: Poupança relativa à instalação de um sistema Reheat.	83

Lista de abreviaturas e siglas

AQS – Águas quentes sanitárias

AVAC- Sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado.

CE – Certificação Energética

COP – Coefficient Of Performance

DEMI – Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

DL – Decreto-Lei

E4 – Programa de Eficiência Energética e Energias Endógenas

Ed.VIII - Edifício VIII, pertencente ao campus da FCT-UNL, onde funciona o DEMI

FCT-UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

GEE – Gases com efeito de estufa

IEE – Indicador de Eficiência Energética

ONU – Organização das Nações Unidas

P3E – Programa nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios

PQ – Peritos Qualificados

PRE – Plano de Racionalização Energética

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico do Edifícios

RPH – Renovações de ar Por Hora.

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE- Sistema de Certificação Energética

TDL – Tipo de lâmpadas fluorescentes.

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTV – Unidade de Tratamento e Ventilação de ar

VAC – Volume de Ar Constante

VE – Ventilador Extractor

Símbolos

A_p - Área útil de pavimento (m^2)

Q_{global} - Consumo global anual do edifício (kgep/ano) calculado através da soma das diferentes formas de energia utilizadas no edifício, após convertidas para energia primária através dos factores de conversão atrás indicados.

U – Coeficiente de transmissão térmica superficial ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

V – Volume útil da facção autónoma [m^3/h]

V_{ev} – Caudal extraído [m^3/h]

V_f – Caudal devido à ventilação mecânica [m^3/h]

V_{ins} – Caudal insuflado [m^3/h]

V_x – Caudal devido à ventilação natural [m^3/h]

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O acesso à energia é fundamental para o desenvolvimento.

Portugal é um país com escassos recursos próprios, de salientar aqueles que asseguram a maioria das necessidades energéticas dos países ditos desenvolvidos, como o petróleo, gás e carvão. Apesar de uma forte aposta nas energias renováveis desde 1990, segundo a DGEG (Direcção Geral de Energia e Geologia), em 2009 Portugal produziu apenas 18,8% da energia que consome, ficando assim dependente da utilização de energias fósseis importadas. A liderar a tabela de consumo de energia primária em Portugal está o petróleo, destacado das restantes fontes energéticas, representando 48,7% do consumo total de energia primária.

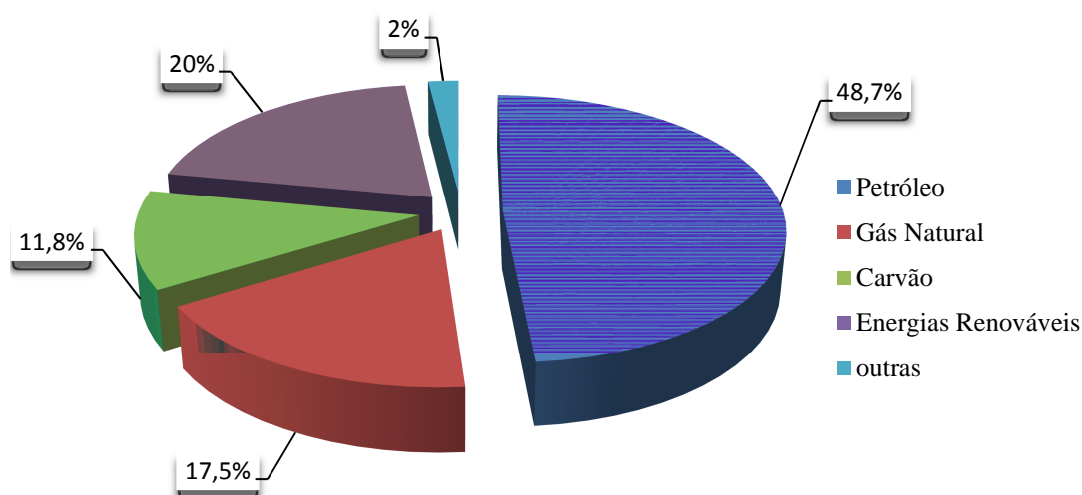


Figura 1-1 – Consumo de Energia Primária em Portugal (2009); fonte DGEG

Estes factos têm consequências directas na economia, tendo em conta que o consumo de combustíveis fósseis importados encarece a produção de bens e serviços em território nacional. A situação torna-se mais preocupante se tivermos em conta o aumento das necessidades energéticas com origem em combustíveis fósseis a nível mundial, visto que as reservas se esgotam a um ritmo acelerado, aumentando o preço das mesmas respeitando a lei da oferta e da procura. Portugal encontra-se assim vulnerável à oferta energética primária, sujeitando-se às flutuações dos preços internacionais, nomeadamente do preço do petróleo.

No entanto, estes objectivos económicos não se dissociam das preocupações sociais e ambientais, como as emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) resultantes da combustão, provocando um aquecimento excessivo do planeta Terra. Existem consequências preocupantes resultantes das alterações climáticas, como: desertificação, migração das populações, erosão da costa marítima consequência do degelo dos glaciares, perda de biodiversidade, etc. A menos que os comportamentos se alterem, será difícil inverter a situação. Entre várias medidas possíveis, ganha relevância a aposta de diversos países na redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE). Neste sentido, foi proposto em 1997 o Protocolo de Quioto, fruto de uma convecção internacional sobre alterações climáticas que, no quadro da ONU, impõe a criação de mecanismos de actuação e a definição de políticas de curto e médio prazo para reduzir as emissões dos GEE, de tal modo que os níveis de emissão no período de 2008-2012 sejam os de 1990. [14] A Portugal, foi permitido aumentar as emissões em 27% em relação a 1990. No entanto, este limite já foi ultrapassado em 9%, segundo dados de 2003. [15] A redução dessas emissões está prevista em várias frentes económicas, com a cooperação dos países signatários através das seguintes acções:

- Reformar os sectores de energia e transportes;
- Promover o uso de fontes energéticas renováveis;
- Eliminar mecanismos financeiros e de mercado inapropriados aos fins da Convenção;
- Limitar as emissões de metano na gestão de resíduos e dos sistemas energéticos;
- Proteger florestas e outros sumidouros de carbono. [16]

O consumo excessivo de combustíveis fósseis levanta também questões a nível estratégico para a Europa, em especial Portugal, visto que depende de países fora da União Europeia para satisfazer as suas necessidades energéticas, alguns deles politicamente muito instáveis. Uma estratégia integrada nas políticas energéticas e ambientais deverá encontrar um ponto de equilíbrio entre as condicionantes ambientais e a viabilidade técnico-económica, tendo em conta a relação custo-eficácia e o desenvolvimento socioeconómico na publicitação de um desenvolvimento sustentável.

Tendo em conta os motivos económicos, sociais e estratégicos, é necessário dar início a uma revolução energética, com o propósito de incentivar o uso de fontes de energia renovável para a suprimir a dependência de energias fósseis importadas. Em resposta a estes problemas e a compromissos assumidos internacionalmente quanto à redução das emissões de gases de efeito de estufa, aquando da assinatura do protocolo de Quioto, a União Europeia solicitou aos seus Estados-Membros alcançarem as seguintes metas até 2020:

- Redução das emissões de gases causadores do efeito de estufa em 20% face aos níveis de 1990;
- Aumento em 20% do uso de fontes de energia renováveis;
- Adopção de medidas com vista à obtenção de uma poupança energética de 20% relativamente aos níveis de consumos actuais. [17]

Através da Resolução do Conselho de Ministros nº 154/2001, de 19 de Outubro, o governo português adoptou formalmente o Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas) com o objectivo de "*...pela promoção da eficiência energética e da valorização das energias endógenas, contribuir para a melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização da nossa sociedade, salvaguardando simultaneamente a qualidade de vida das gerações vindouras pela redução de emissões, em particular do CO₂, responsável pelas alterações climáticas*". O Programa E4 assume-se, assim, como um instrumento de primordial importância na estratégia para as alterações climáticas, dando um contributo decisivo no sentido do cumprimento das obrigações que Portugal assumiu ao subscrever o Protocolo de Quioto. [14]

1.1.1. Edifícios em Portugal

Muito do nosso tempo é passado em edifícios. Em Portugal, os edifícios foram responsáveis por 30% do consumo total de energia primária do país, e 62% dos consumos de electricidade, em 2005. Estes dados tornam evidente a necessidade de uma preocupação com a eficiência energética nos edifícios, é urgente integrar princípios de racionalização energética nos edifícios novos e nos que necessitam de intervenções de reabilitação. [17]

A poupança de energia é a primeira fonte de energia renovável actualmente disponível. A União Europeia propôs a Directiva para a Eficiência Energética dos Edifícios, aprovada em Dezembro de 2001 pelo Conselho e também pelo Parlamento Europeu no início de Fevereiro de 2002. Esta Directiva impõe aos Estados Membros um conjunto de medidas, que no essencial, já estão integradas nos objectivos expressos no Programa E4. É neste enquadramento, que o Ministério da Economia toma a iniciativa de lançar o Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios (P3E), apontando medidas legislativas e de incentivo necessárias à sua concretização. Estas medidas legislativas têm o objectivo de contribuir para o aumento da eficiência energética nos edifícios em Portugal, através do desenvolvimento, de uma forma integrada e coerente, do

vasto leque de medidas do E4, maximizando as possibilidades de Portugal cumprir o calendário de mudanças, e cumprir o Protocolo de Quioto. [14]

A Directiva Comunitária 2002/91/CE – Certificação Energética de Edifícios, Impõe aos estados-membros a emissão de Certificados Energéticos a Edifícios para as diversas situações de transacção e remodelação de edifícios de habitação, bem como para todos os edifícios de serviços com mais de 1.000 m². Deixa no entanto a cada Estado Membro a possibilidade da sua implementação concreta ao nível do detalhe, em função das especificidades construtivas e económicas, dos hábitos e do clima local.

Foi transposta para o direito nacional a 4 de Abril de 2006, através do DL n°78/2006 (Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios - SCE), do DL n°79/2006 (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios - RSECE) e do DL n°80/2006 (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE).

[10]

Tabela 1-1: Legislação Portuguesa para a Certificação Energética de Edifícios.

Legislação Portuguesa		
SCE DL n°78/2006	RSECE DL n°79/2006	RCCTE DL n°80/2006

1.2. Objectivo

A presente dissertação tem como objectivo estudar soluções de racionalização energética do Edifício VIII, do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, situado no campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa, à luz do Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), Decreto-Lei n°79/2006.

Devido à complexidade do edifício VIII, composto por 3 corpos energeticamente autónomos: corpo Norte, Central e Sul, o objectivo inicial do presente estudo era agregar a informação parcelar de 3 trabalhos anteriores, cada um relativo a um corpo, e tirar conclusões sobre todo o

edifício. No entanto, o estudo do corpo Norte [21], acabou por centrar-se no aproveitamento de energia solar térmica para o aquecimento, não contribuindo significativamente para este estudo; o estudo do corpo central [19], contém informação relevante embora publicada tardiamente; o estudo do corpo Sul foi interrompido e, portanto, não constitui referência. Assim sendo, optou-se por estudar o edifício na sua totalidade. Com este estudo pretende-se estabelecer um perfil energético do edifício, com o apoio da simulação energética detalhada (DesignBuilder), com o objectivo de realizar um diagnóstico para apresentar medidas de optimização de eficiência energética com viabilidade económica.

O caso de estudo do Ed.VIII será utilizado para fins de formação e não perdendo de vista o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), como linha de orientação dos trabalhos a desenvolver.

2. Regulamentos

2.1. RSECE aplicado um edifício de serviço existente

O edifício do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial (DEMI), situado no campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa em estudo, tem uma potência de climatização instalada superior a 25 KW, e área útil de pavimento de 4466 m². A construção do edifício ficou concluída no verão de 1998. Tendo estes factos em conta, o Ed.VIII do DEMI insere-se assim no contexto de um Grande Edifício de Serviço Existente para efeitos de estudo a nível regulamentar segundo o RSECE.

O RSECE considera que todos os edifícios não residenciais, dotados de sistemas de climatização cuja potência instalada seja superior a 25 KW, ou não tendo sistema de climatização, tenham uma área útil de pavimento seja superior a 1000 m², são considerados “Grandes Edifícios de Serviço”. (RSECE, Art.2º nº1 alínea a) Para efeitos de verificação do cumprimento do RSECE, consideram-se edifícios “existentes” aqueles cujo procedimento de licenciamento ou autorização de edificação tenha dado entrada na entidade licenciadora até ao dia 4 de Julho de 2006 (90 dias após publicação do D.L. 79/2006 de 4 de Abril, conforme previsto no respectivo Artigo 5º), aplicando-se, nestes casos, os requisitos regulamentares previstos para edifícios existentes. [5]

A Metodologia de verificação do RSECE, para requisitos energéticos em Grandes Edifícios de Serviço Existentes, o RSECE apenas impõe requisitos de eficiência energética. (RSECE Art.1º b) Os indicadores de energia primária são designados por Indicadores de Eficiência Energética – IEE (Kgep/m².ano). Os consumos anuais efectivos englobam a totalidade dos consumos para a climatização, iluminação, e equipamentos. Estes consumos convertidos em energia primária, não devem exceder o valor limite estabelecido do IEE de referência. (RSECE, Art.31º, Anexo X) Os valores máximos para o consumo total efectivo são elaborados segundo o tipo de actividade e tipologia do edifício.

De uma forma sucinta, o RSECE estabelece, para edifícios de serviço existentes, limites máximos de “consumo de energia efectivos” em função do uso dos espaços em condições nominais de funcionamento, e requisitos mínimos de manutenção dos sistemas, da qualidade do ar interior e da monitorização.[10] O estudo a efectuar ao Ed.VIII do DEMI tem por base a análise energética em valores indicativos do consumo energético por m² de um determinado

espaço, com a finalidade verificar se o edifício cumpre com os requisitos energéticos aplicáveis pelo RSECE.

2.2. Sistema de Certificação de Edifícios

Como referência de valores e procedimentos, para uma boa prática da análise energética a efectuar ao Ed.VIII do DEMI, é necessário conhecer os requisitos de eficiência energética impostos pelo RSECE.

Para a verificação dos requisitos de eficiência energética é realizada uma auditoria com os seguintes passos:

- ✓ A auditoria energética ao edifício existente começa por uma simples análise das facturas energéticas dos últimos 3 anos. Essa análise implica o cálculo do IEE real, convertendo a média do consumo de energia anual em energia primária dividida pela área útil de pavimento. O valor do IEE real não deve exceder o valor de referência para a tipologia em causa.

Factores de conversão das fontes de energia:

Electricidade: **0,290** Kgep/KWh

Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos: **0,086** Kgep/KWh

$$IEE_{real} = \frac{\text{Consumo Global}}{\text{Área útil}} \text{ (Kgep/m}^2\text{ano)}$$

- ✓ Caso as condições anteriores não se verifiquem, ou seja $IEE_{real} > IEE_{referencia}$, será necessário calcular o indicador de eficiência energética nas condições nominais de utilização ($IEE_{nominal}$). O cálculo em condições nominais torna necessário o recurso a uma simulação dinâmica detalhada, 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 **Indicador de Eficiência Energética Nominal** é necessário adoptar 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 efectuada 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 aspectos, entre eles:

Caudais de ar

O caudal de ar novo deverá ser o caudal nominal (RSECE, Anexo VI). O caudal nominal será dado pela densidade ocupacional nominal ou pela área do espaço, sendo escolhido para simulação o maior valor. Nos espaços em que não existem requisitos mínimos de ventilação, e para todos os espaços de ocupação não permanente, não deverá ser considerado caudal de ar novo nominal.

Sistema de climatização

Os sistemas de climatização considerados na simulação dinâmica detalhada devem corresponder aos equipamentos efectivamente instalados. A diferença principal entre a simulação real e a simulação nominal no que diz respeito ao sistema de controlo de carga térmica e à ventilação, tem essencialmente a ver com a diferença de densidade de ocupação e de equipamentos.

Iluminação

A potência de iluminação instalada no modelo de simulação deverá ser representativa da realidade existente no edifício.

- ✓ Caso o indicador de eficiência calculado nas condições anteriores seja inferior ao valor de referência ($IEE_{nom} < IEE_{referência}$), o processo de verificação termina e pode ser emitido o respectivo certificado nos termos do SCE (Sistema de Certificação Energética). Se se verificar o oposto, seja $IEE_{nom} > IEE_{referência}$, é necessário a elaboração de um plano de racionalização energética (PRE), com o objectivo de reduzir o consumo específico e estes ficarem abaixo dos limites máximos.

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)

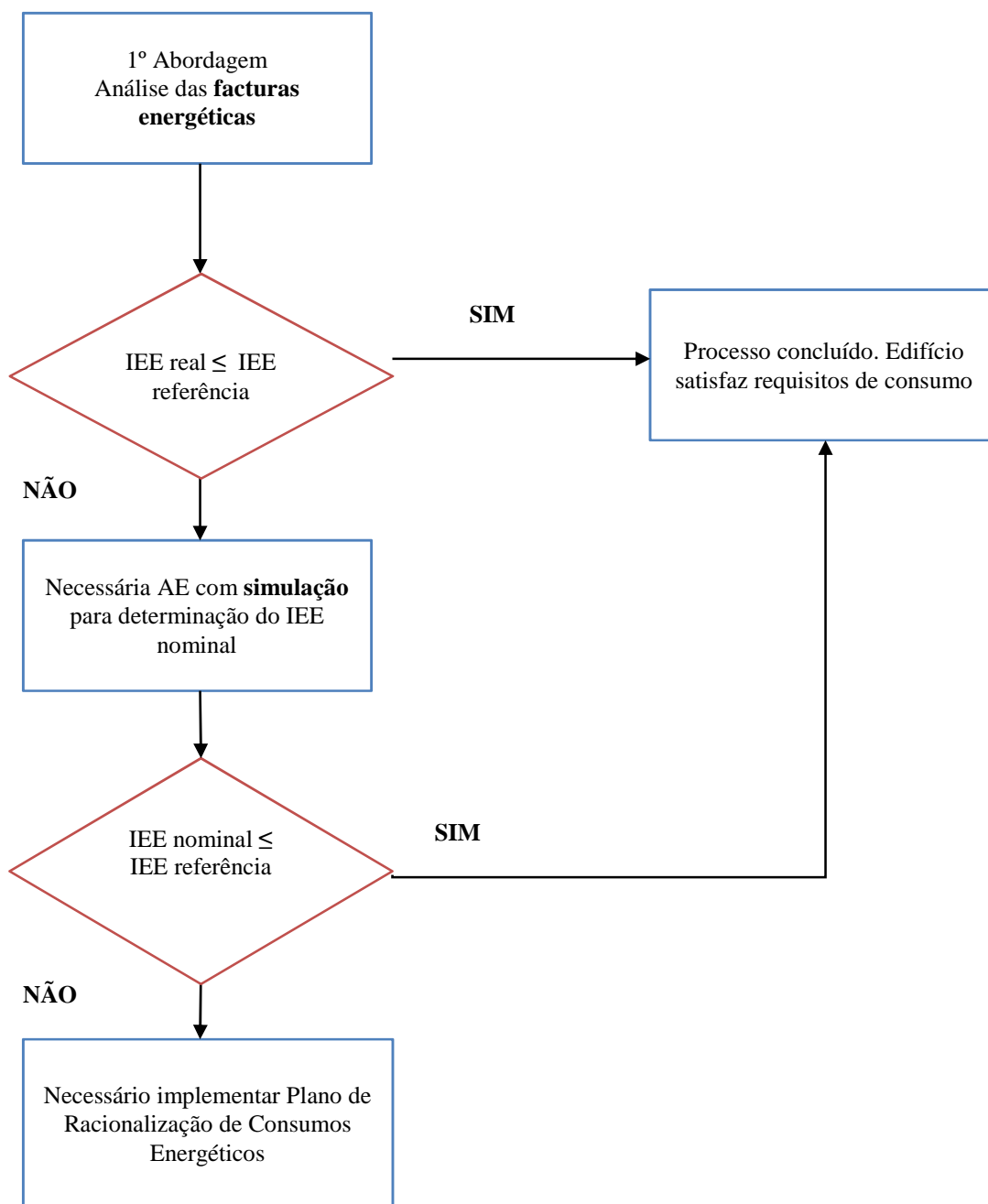


Figura 2-1: Fluxograma de determinação do valor do IEE referente aos grandes edifícios de serviço existentes.

3. Caso de estudo

3.1. Descrição sumaria do edifício

O edifício alvo de estudo é o Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial (DEMI) do campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) da Universidade Nova de Lisboa (UNL), situado no Monte da Caparica, concelho de Almada. A conclusão da obra ocorreu no verão do ano de 1998. Trata-se de um edifício com área total de 5625 m², composto por 3 corpos de 4 pisos, com a excepção do corpo Norte que só tem 3 pisos. Situado na fachada Oeste do corpo Central existe ainda um bloco destacado com efeito de entrada principal (vão de escadas e dois elevadores).



Figura 3-1: Vista da fachada Oeste do corpo Norte, Central e Sul.

O posicionamento dos corpos remete-nos para uma figura paralelepípedica, com o maior eixo paralelo à direcção do eixo Norte-SUL, os envidraçados são todos em caixilharia de alumínio, com vidro duplo ou simples incolor e protecção solar exterior fornecida por estores de lâminas horizontais. [AE DEMI]

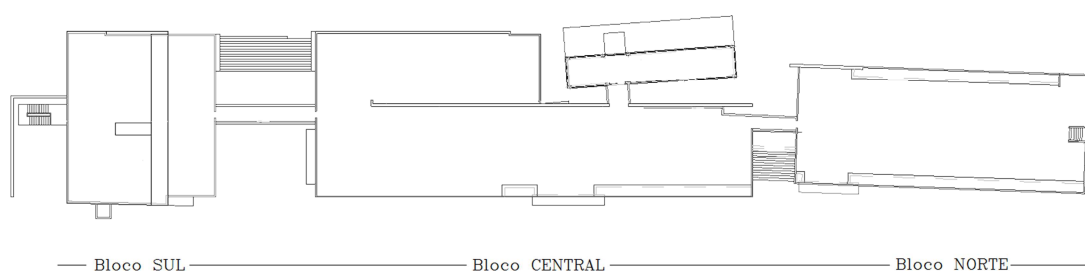


Figura 3-2: Vista superior do Ed.VIII do DEMI

3.1.1. Corpo NORTE

É composto por 3 pisos (Piso nº2, 3 e 4), ao contrário dos restantes blocos, possuindo uma saída de emergência situado na fachada Norte. Este corpo na sua maioria, alberga gabinetes para Docentes, e salas de reuniões. A envolvente exterior é constituída por parede dupla com pano exterior, ora em reboco tradicional, ora em tijoleira de barro vermelho. Tem uma caixa-de-ar parcial preenchida por isolamento térmico em poliestireno expandido com 30 mm de espessura.

PISO N°2

Existe o laboratório de Orgãos de Máquinas, que abrange grande parte da área, oficina de manutenção, Sala de Apoio, gabinetes e um núcleo de instalações sanitárias, para homens e mulheres, que se repetem em todos os pisos.

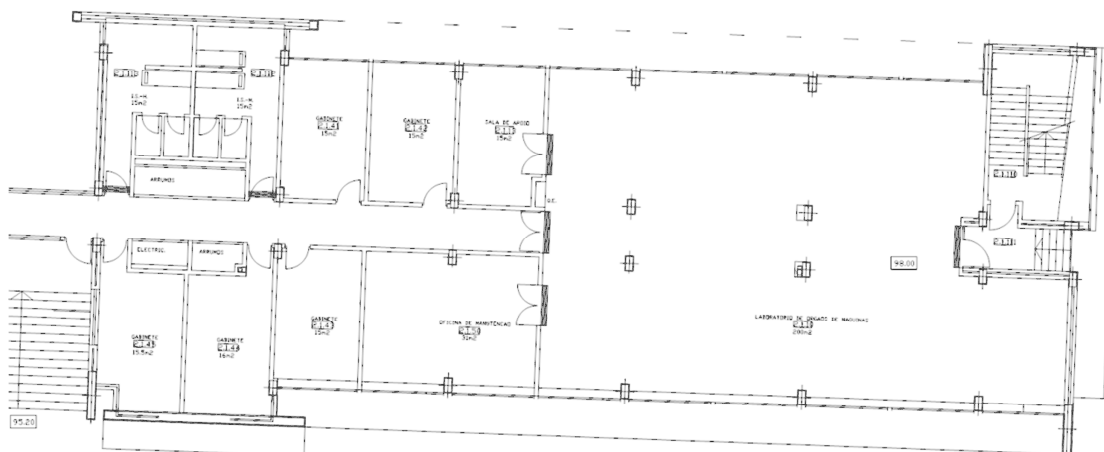


Figura 3-3: Vista superior detalhada do corpo Norte, piso nº2.

PISO N°3 e N4°

Encontram-se os gabinetes dos docentes, áreas administrativas, salas de reunião, bem como o núcleo de instalações sanitárias já referidas.

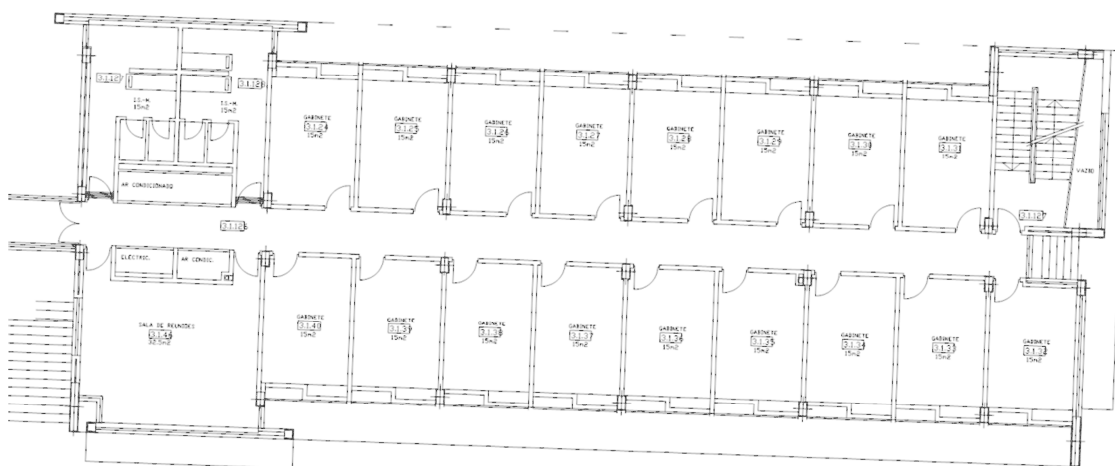


Figura 3-4: Vista superior detalhada do corpo Norte, piso nº3.

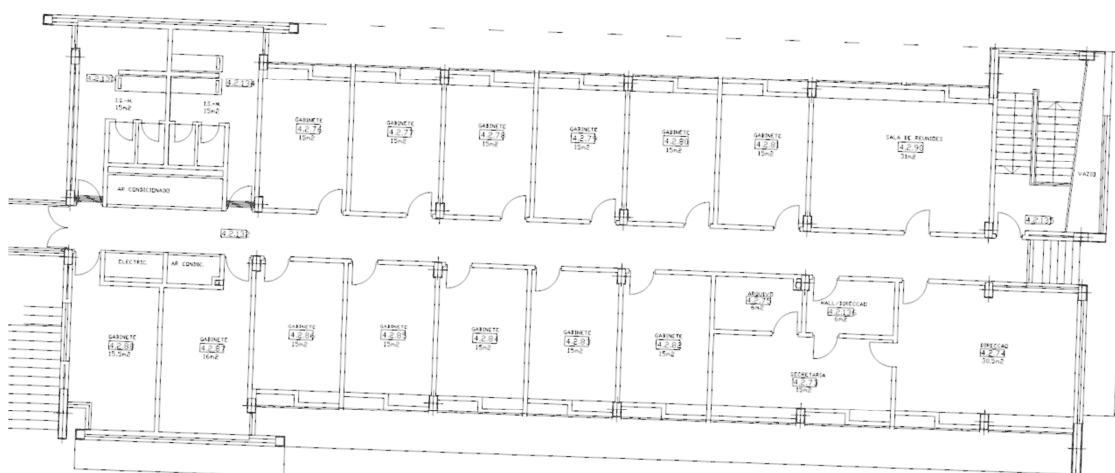


Figura 3-5: Vista superior detalhada do corpo Norte, piso nº4.

3.1.2. Corpo CENTRAL

O bloco central é composto por 4 pisos, possuindo a principal entrada para o Ed.VIII. Este encontra-se ligado aos outros por área de circulação comum, destacando-se assim por forma a demarcar a entrada principal. A fachada Oeste do primeiro piso encontra-se subterrada, criando assim divisões tipo cave.

PISO Nº1

Existe o Laboratório de Termodinâmica que ocupa mais de metade da área deste, salas de cálculo computacional e um núcleo de instalações sanitárias que se repetem nos restantes pisos, à semelhança do corpo Norte. O restante espaço é ocupado pela central telefónica, armazém, espaços técnicos e uma pequena área destinada ao lixo do piso.

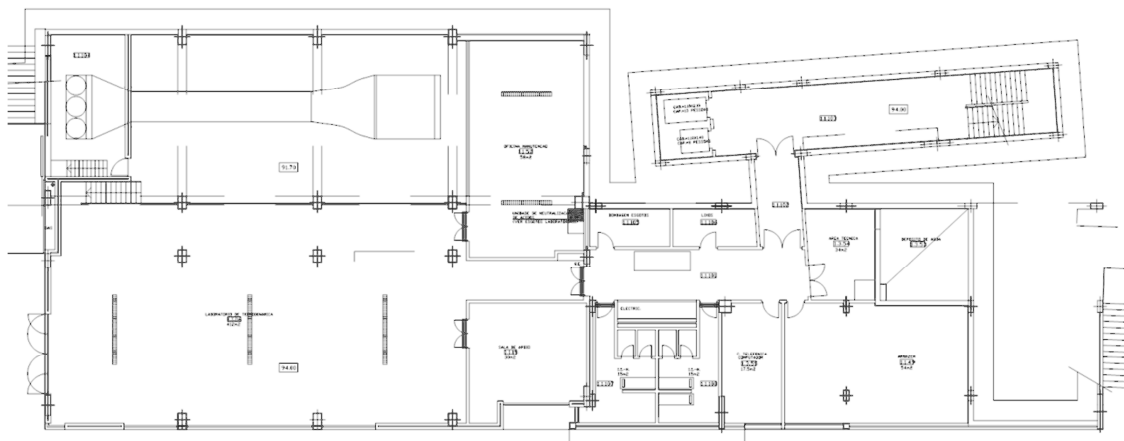


Figura 3-6: Vista superior detalhada do corpo Central, piso nº1.

PISO Nº2

Encontra-se a entrada principal, existe um hall de entrada que liga o bar/restaurante, zona de limpezas, armazém e posto médico. Inclui ainda as instalações sanitárias referidas anteriormente. Do hall desenvolve-se o corredor, área de circulação comum, onde se encontram dois Laboratórios de Tecnologia, uma sala de apoio e um escritório de uma empresa externa à faculdade.

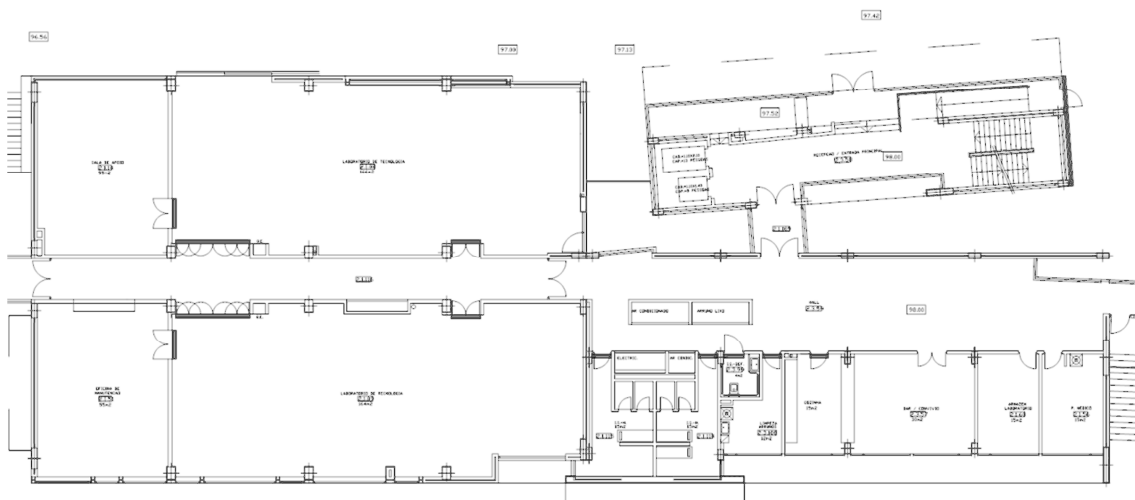


Figura 3-7: Vista superior detalhada do corpo Central, piso nº2.

PISO Nº3

Podemos encontrar o gabinete de direcção, gabinetes de secretariado e as instalações sanitárias. Todas estas áreas ligadas a um hall principal à semelhança do piso2. A partir do corredor podemos encontrar uma sala de aula, a reprografia, o centro de informática, a sala de desenho e a sala de estudo.

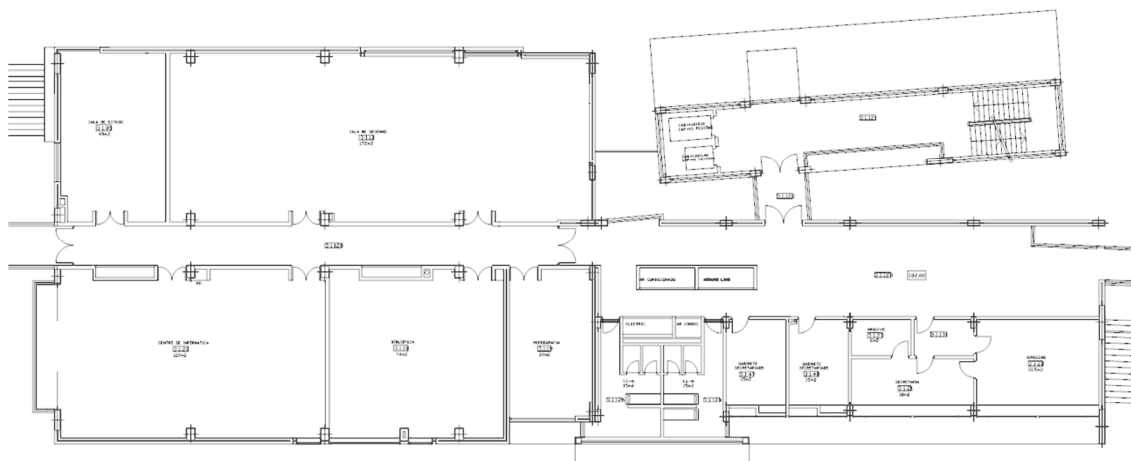


Figura 3-8: Vista superior detalhada do corpo Central, piso nº3.

PISO Nº4

À semelhança do piso3 temos gabinetes de secretariado no hall, salas de aula, o laboratório polivalente e uma Videoteca.

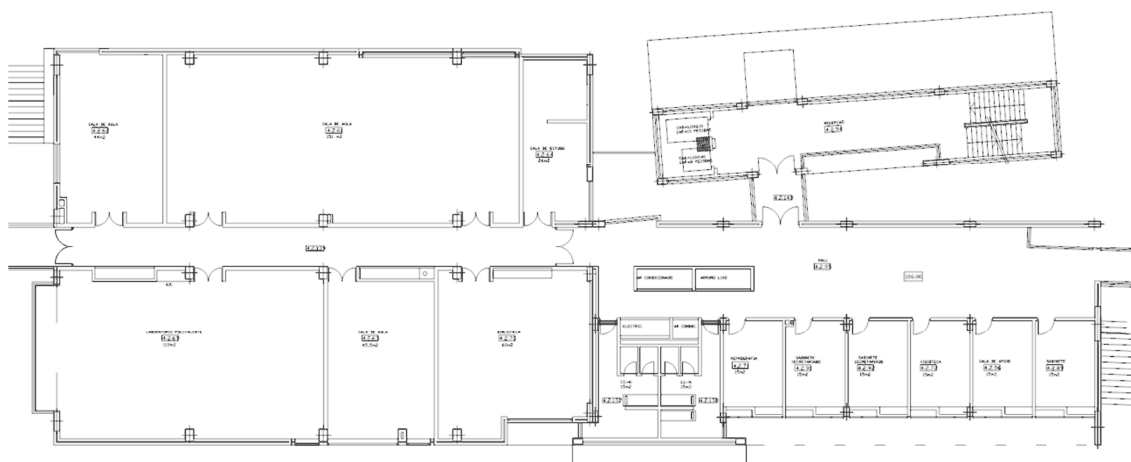


Figura 3-9: Vista superior detalhada do corpo Central, piso nº4.

3.1.3. Corpo SUL

Composto por 4 pisos, é ligado ao corpo Central por um passadiço com paredes envidraçadas.

PISO Nº1 e Nº2

É composto apenas pelo Laboratório de Mecânica Estrutural com dois espaços complementares, sala de apoio e casa das máquinas. Este encontra-se parcialmente enterrado no solo.

O Laboratório de Mecânica Estrutural tem continuidade com o Piso2, através de uma escada interior. Neste Piso2 existe uma sala de apoio a este mesmo laboratório, o Laboratório de Metrologia e um pequeno núcleo de instalações sanitárias.

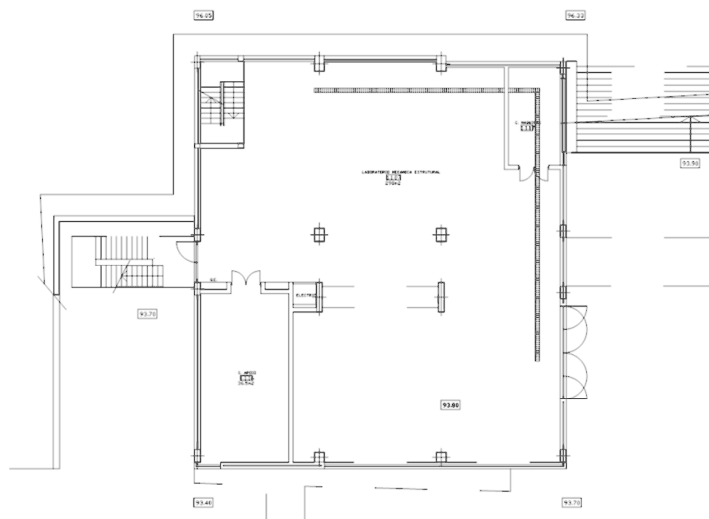


Figura 3-10: Vista superior detalhada do corpo Sul, piso nº1.

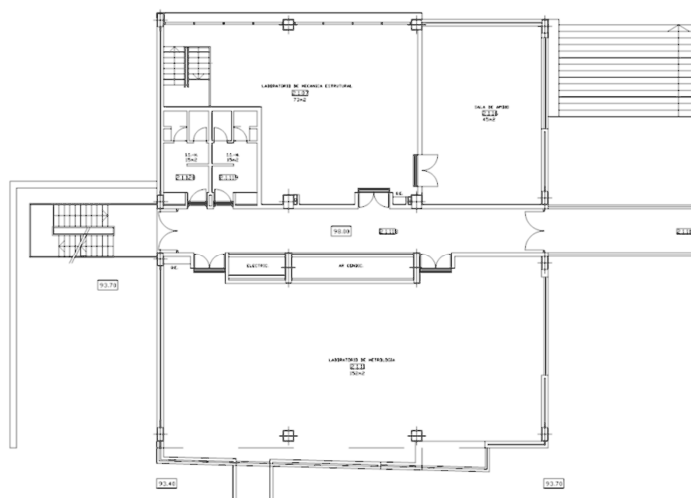


Figura 3-11: Vista superior detalhada do corpo Sul, piso nº2.

PISO N°3

É um piso dedicado completamente ao ensino composto apenas por salas de aulas.

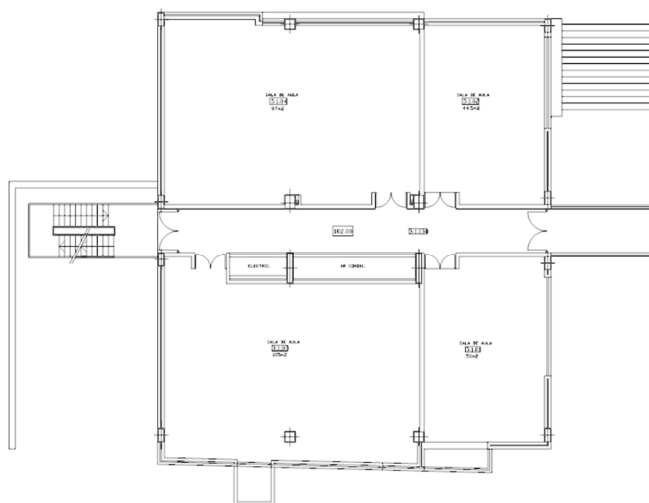


Figura 3-12: Vista superior detalhada do corpo Sul, piso n°3.

PISO N°4

É composto pelos Laboratórios de Ergonomia e Computadores, pela Sala de Computadores e um espaço de apoio com um pequeno armazém.

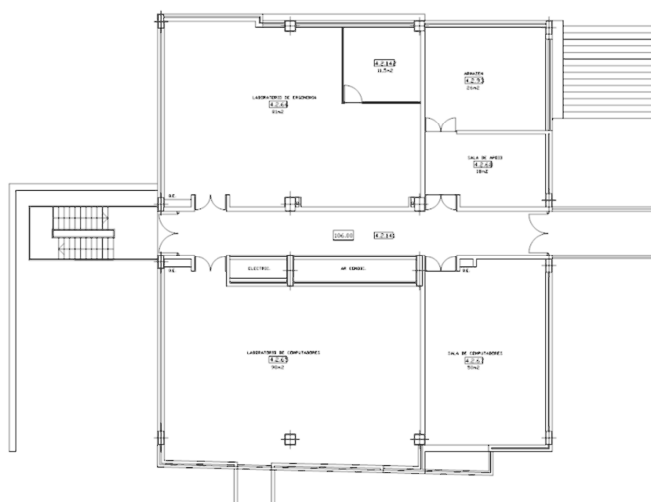


Figura 3-13: Vista superior detalhada do corpo Sul, piso n°4.

No gráfico da figura 3-16 encontra se representado o total dos consumos de energia eléctrica do edifício VIII (DEMI), relativos às leituras efectuadas ao contador, durante o ano de 2008 (378'115 KWh) e 2009 (338'777 KWh).

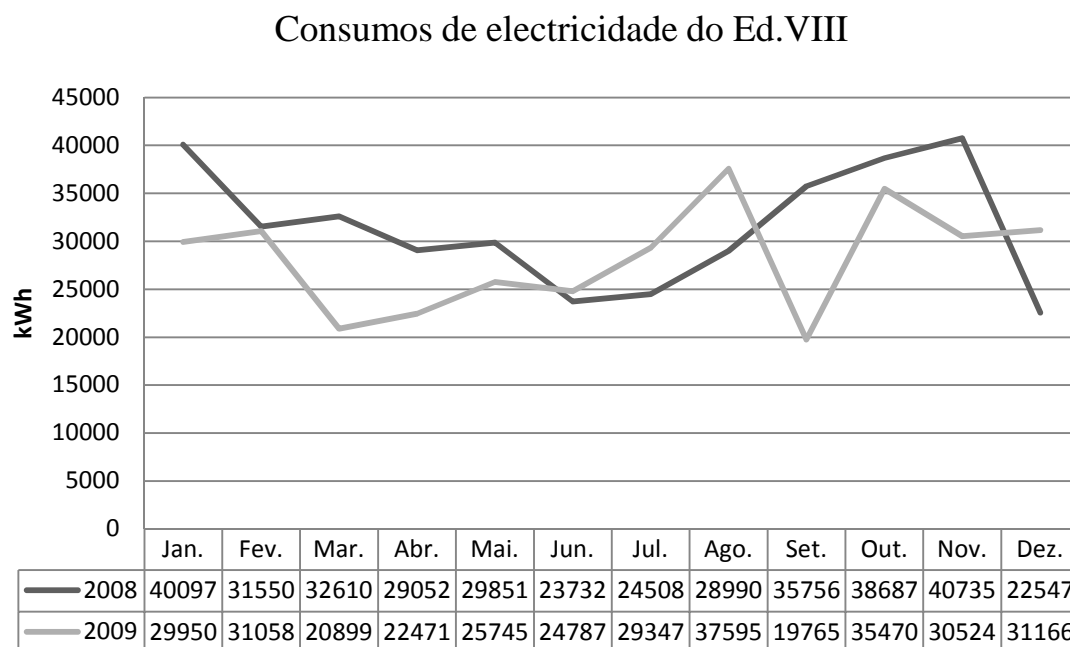


Figura 3-15: Gráfico das leituras do consumo de electricidade mensal, referentes aos anos de 2008 e 2009 do Ed.VIII.

Numa rápida análise pode constatar-se que existe uma grande discrepância nos consumos mensais, com a excepção dos meses de Fevereiro e Junho, tendo estes uma diferença inferior a 5%.

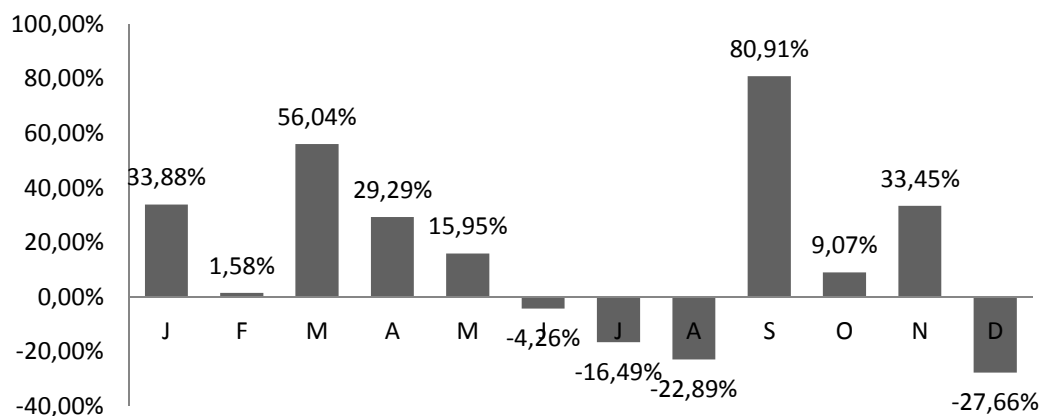


Figura 3-16: Gráfico comparativo dos consumos mensais referentes aos anos de 2008 e 2009.

Tratando-se de um edifício maioritariamente vocacionado para o ensino, era de esperar uma diferença pequena entre anos, tanto a nível de consumos totais como o padrão de consumos mensais, tendo em conta que o funcionamento é acompanhado por uma rotina anual dividida em semestres, que pouco ou nada difere de ano para ano. Analisando a variação de população mensal presente no Ed.VIII, põem-se em causa os elevados níveis de consumo eléctrico efectuados no mês de Agosto, visto este ser um mês de férias escolares. O calendário escolar 2007/2008, da FCT-UNL, tinha como período de férias de verão dia 25 Julho a 14 Setembro.

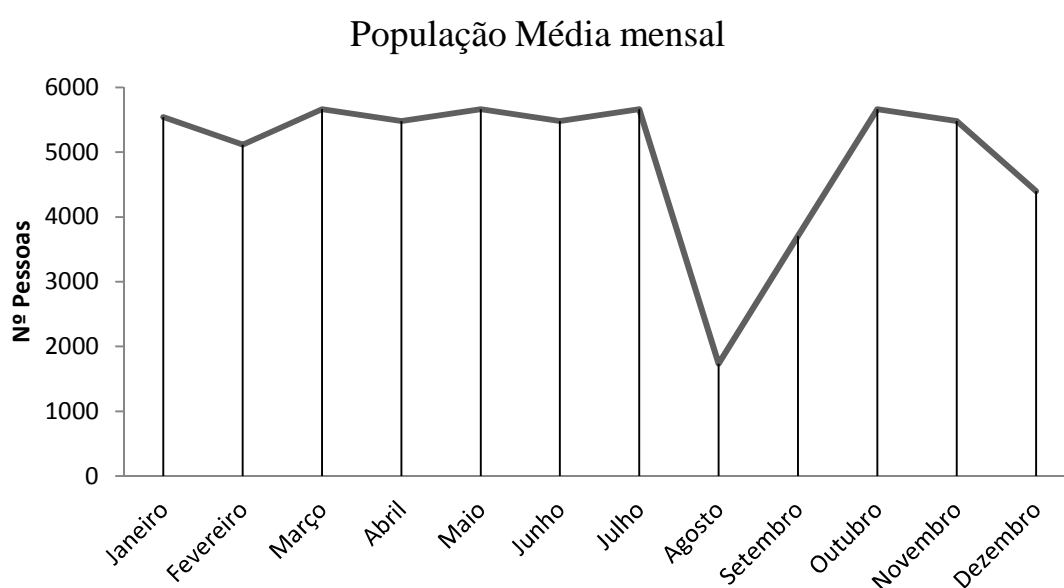


Figura 3-17: Gráfico representativo da população média mensal no Ed.VIII do DEMI. (calculado com base na população média diária [23])

Uma das variáveis plausíveis, causadora do fenómeno de discrepância de consumos anuais, é a variação climática verificada nos dois anos em causa, visto que o edifício é equipado por unidades individuais de Ar Condicionado de elevado consumo eléctrico. Outra hipótese será a utilização de equipamento laboratoriais neste período de férias escolares, para a investigação efectuada por parte dos docentes do DEMI. Tendo em conta um consumo anual com uma diferença tão significativa de ano para ano, com diferenças de 81%, a pouca precisão de leitura a nível de tempo pode criar acumulação de consumos eléctricos de meses anteriores, tornando assim pouco fiável o padrão mensal de consumos. Só se poderá tirar uma conclusão definitiva após uma avaliação mais profunda no comportamento térmico e de funcionamento do edifício do DEMI.

As leituras de consumos eléctricos dizem respeito ao edifício VIII do DEMI e também ao Bar, visto este fazer parte de um grupo privado. Numa análise aos consumos eléctricos do Bar podemos afirmar que este representa uma média de 5,59% do consumo total do Ed. VIII.

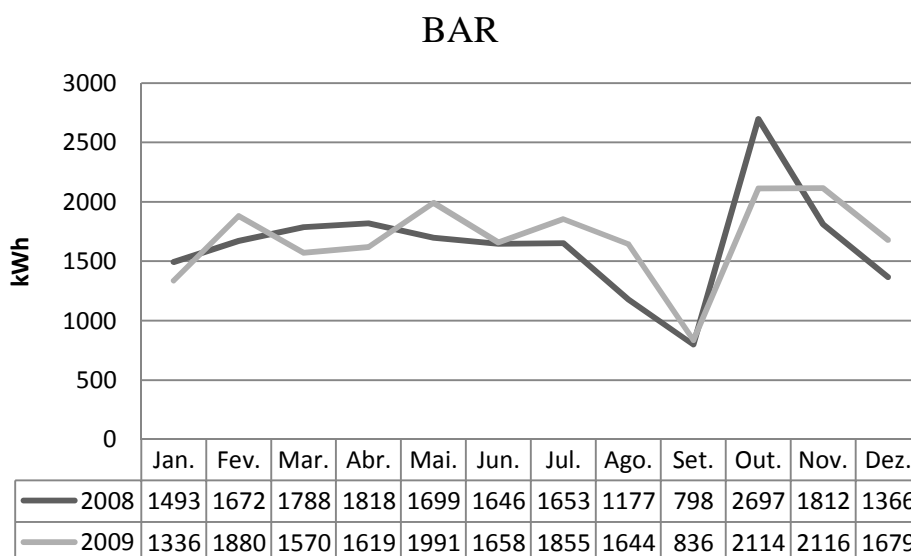


Figura 3-18: Gráfico com os consumos mensais de electricidade do Bar do Ed.VIII.

Tendo em conta a área útil do Ed.VIII, e o consumo total de electricidade no mesmo, o consumo atribuído ao bar seria de 0,8%. Relativamente às suas dimensões, cerca de 45 m², o Bar representa uma fracção significativa no consumo eléctrico do edifício. O padrão consumo de ano para ano é semelhante, com destaque para a diminuição de consumos de energia eléctrica no período de férias de verão, como seria de esperar. Apresenta apenas uma diferença de 3,5% relativamente aos consumos anuais.

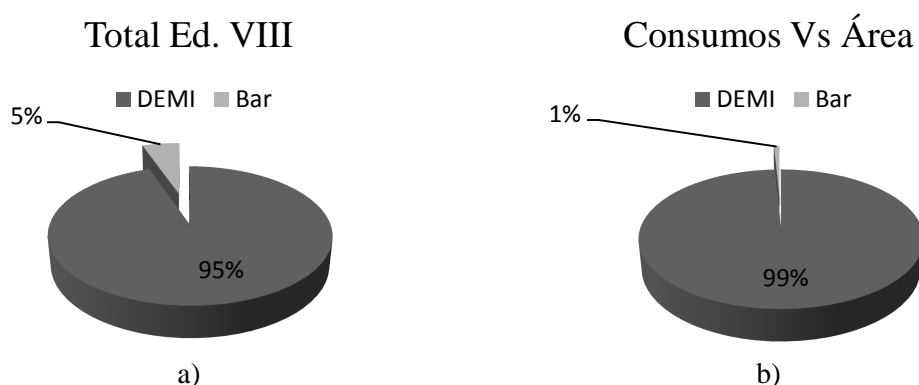


Figura 3-19: a) Consumos de electricidade efectivos do Bar e DEMI. b) Consumos de electricidade esperados em relação à área ocupada pelo Bar.

3.2.1. IEE de referência

O Indicador de Eficiência Energética (IEE) é calculado a partir dos consumos de energia de um edifício durante um ano, convertidos em energia primária. O IEE, também designado por Consumo Específico, tem com função verificar se um determinado edifício de serviço cumpre os requisitos de eficiência energética estabelecidos pelo RSECE e para determinar a classe de desempenho no âmbito do SCE.

No seguimento da verificação regulamentar existem diferentes tipos de IEE.

Tabela 3-1: Tabela explicativa da diferença entre os vários IEE existentes.

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

IEE ref, exist	IEE de referência limite para edif. existentes	Definido no Anexo X	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação simplificada e detalhada do cumprimento do requisito energético em edifícios existentes e da necessidade ou não de um PRE*
----------------	--	---------------------	--

O RSECE apenas impõe requisitos de eficiência energética para o caso em estudo ou seja, o Edifício VIII (DEMI) enquadra-se como sendo um Grande Edifício de Serviço Existente tendo uma área útil superior a 1000 m² (RSECE Art.1 b). Em função do tipo de actividade e tipologia do edifício é achado um valor máximo para o consumo total efectivo. Este valor máximo intitula-se por valor limite de referência para edifícios existentes.

No RSECE existem duas tabelas com valores limite de IEE, uma para edifícios de serviço existentes (Anexo X), e a outra para Edifícios de Serviço Novos (Anexo XI). Para os grandes edifícios de serviços cujo projecto de especialidade tenha dado entrada na entidade licenciadora até dia 4 de Julho de 2006, como é o caso em estudo do DEMI, o limite de IEE para efeitos de verificação da necessidade de PRE, é feito pelo quadro “Valores limite dos consumos globais específicos dos Edifícios de Serviço Existentes” (Anexo X). De salientar que os valores de IEE apontados para espaços complementares (estacionamento, cozinhas, lavandarias e armazéns) de edifícios novos se devem aplicar aos edifícios existentes [5](E3).

O quadro seguinte (Tabela 3-2) apresenta os valores limite dos Indicadores de Eficiência Energética (IEE) que traduzem os consumos de energia efectiva anuais convertidos em energia primária (RSECE, Anexo IX) associados a diferentes tipologias em Edifícios de Serviço Existentes, seguindo a metodologia referida no Cap.2.2. 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 DGEG.

Tabela 3-2: Valores limite dos consumos globais específicos dos edifícios de serviço existentes; RSECE, Anexo X

Valores limite dos consumos globais específicos dos edifícios de serviço existentes RSECE; ANEXO X (Kgep / m ² .ano)		
Actividade	Tipologia de edifício	IEE (Kgep/m ² .ano)
Comercial	Hipermercados	255
	Vendas por Grosso	45
	Supermercados	150
	Centros Comerciais	190

	Pequenas lojas	75
Serviços de Refeições	Restaurantes	170
	Pastelarias	265
	Pronto a comer	210
Empreendimentos Turísticos	4 ou mais estrelas	60
	3 ou menos estrelas	35
Entretenimento	Cinemas e teatros	25
	Discotecas	55
	Bingos e Clubes Sociais	45
	Clubes desportivos c/ piscina	35
	Clubes desportivos s/ piscina	25
Serviços	Escritórios	40
	Sedes de Bancos e Seguradoras	70
	Filiais de Bancos e Seguradoras	60
	Comunicações	40
	Bibliotecas	20
	Museus e Galerias	10
	Tribunais	10
	Estabelecimentos Prisionais	20
Escolas	Todas	15
Hospitais	Estabelecimentos de Saúde com internamento	40
	Estabelecimentos de Saúde sem internamento	40

O Edifício VIII do DEMI tem como propósito ser um estabelecimento de ensino superior formando futuros Engenheiros, mas também incorpora investigação e actividade de serviços, como escritórios e gabinetes. Este é dotado de uma cozinha, considerado espaço complementar, para a preparação de refeições de almoço. 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. [5] O valor encontrado segundo esta regra intitula-se de IEE de referência ponderado. O espaço complementar (Cozinha) não tem valores limites de IEE no Anexo X, recorrendo-se assim à tabela de espaços complementares de edifícios novos presentes no Anexo XI. [5] (E.14)

$$IEE_{\text{ref. existente}} = \frac{IEE_{\text{ref.ESCOLAS}} \cdot A_1 + IEE_{\text{ref.ESCRITÓRIOS}} \cdot A_2 + IEE_{\text{ref.COZINHAS}} \cdot A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

A_1 – área útil de pavimento da tipologia Estabelecimento de Ensino Superior

A_2 – área útil de pavimento da tipologia Escritórios

A_3 – área do espaço complementar Cozinha

Tabela 3-3: Áreas das tipologias atribuídas ao Ed.VIII do DEMI.

Tipos de actividade	Tipologia	Área Útil (m²)
Escolas	Estabelecimentos de Ensino Superior	3510
Serviços	Escritórios	941
Espaços complementares	Tipo de espaço	Área Útil (m²)
	Cozinhas 6 Horas/dia (segunda a sexta)	15
TOTAL		4466

A área útil (A_p) utilizada para o cálculo do Indicador de Eficiência Energética corresponde à área útil de pavimento de acordo com a definição do D.Lei RCCTE. Esta diz-nos que:

(RCCTE, Anexo II, Definições) [3]

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

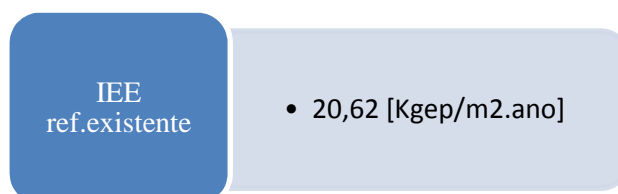
Os espaços não úteis do Ed.VIII do DEMI dizem respeito a áreas de circulação comum, como corredores e hall de entrada principal, bem como as escadas interiores de saída de emergência situadas a Norte do edifício (corpo Norte), armazéns e instalações sanitárias. Estas áreas não se destinam à ocupação permanente, e não possuem climatização efectiva. As zonas sem exigências térmicas, pertencendo à lista da tabela IV.1 do Anexo IV do RCCTE, foram definidas no DesignBuilder, secção Activity template na caixa de texto Zone Type.

z) «Espaço não útil» é o conjunto dos locais fechados, fortemente ventilados ou não, que não se encontram englobados na definição de área útil de pavimento e que não se destinam à ocupação humana em termos permanentes e, portanto, em regra, não são climatizados. Incluem-se aqui armazéns, garagens, sótãos e caves não habitados, circulações comuns a outras fracções autónomas do mesmo edifício, etc. Consideram-se ainda como espaços não úteis as lojas não climatizadas com porta aberta ao público.

Tabela 3-4: IEE de referência das diferentes tipologias enquadradas no Ed.VIII do DEMI.

Tipo de actividade	Tipologia do edifício	IEE (Kgep / m2.ano)
Serviços	Escritórios	40
Escolas	Todas	15
Espaços complementares	Cozinhas (6h/dia 2º-6ª)	121

$$IEE_{ref,existente} = \frac{3510 \cdot 15 + 941 \cdot 40 + 15 \cdot 121}{3510 + 941 + 15} = 20,62 \text{ Kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$$



3.2.2. 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 facturas energéticas do edifício. Esta abordagem inicial tem como objectivo determinar o indicador de eficiência energética real (IEE real) do Ed.VIII do DEMI, através da análise anual das facturas energéticas. Nesta fase determinar-se-á o IEE de uma forma simplificada sem ter em consideração a zona climática para a aplicação do factor de correcção do consumo de energia de aquecimento e arrefecimento.

O RSECE estabelece o cálculo do IEE real com base na média dos consumos dos últimos 3 anos por forma a minimizar as variações climáticas registadas nos diferentes anos, mas para o Ed.VIII apenas existem leituras de energia eléctrica completas referentes aos anos de 2008 e 2009. Assim a média terá em conta os apenas 2 anos, faltando o ano de 2010 para o seguimento das regras impostas pelo RSECE, Anexo IX. Em relação ao consumo de Gás Propano, o DEMI não apresenta quaisquer registos, como já referido no Cap.3.2. É considerada a estimativa de consumo de Gás Propano para o Ed.VIII, referente ao ano de 2008, apresentada na dissertação “Análise do uso da energia na FCT-UNL (edifícios II, VII, VIII, IX e X) e estudo dos comportamentos relativos ao uso da energia; Sara Diana Pinheiro dos Santos”.

Tabela 3-5: Consumos de electricidade anuais (2008 e 2009), do DEMI e Bar.

Consumos de electricidade (kWh)		
	2008	2009
DEMI	358496	318479
Bar	19619	20298
TOTAL	378115	338777

Tabela 3-6: Média dos consumos anuais de electricidade do Ed.VIII.

Média dos consumos totais anuais de electricidade do Ed.VIII (kWh)	Consumo de Gás Propano (estimativa/2008) (t/ano)
358446	5,3

Tendo em conta os factores de conversão das fontes de energia utilizadas,

- Electricidade: 0,290 Kgep/KWh
- Combustíveis: 0,086 Kgep/KWh

Tabela 3-7: Área útil de pavimento do Ed.VIII

Área Útil de Pavimento (m ²)
4466

O indicador de eficiência energética real é dado por:

1 Kg de Gás Propano = 13,5 kWh (fonte: Repsol)

5,3 toneladas \Leftrightarrow 71,55 MWh

$$IEE = \frac{Q_{Global}}{A_p} [kgep/m^2 \cdot ano]$$

$$IEE_{Real} = \frac{358446 * 0,290 + 71550 * 0,086}{4466} = 24,65 \text{ Kgep}/m^2 \cdot ano$$

Q_{Global} - global anual do edifício (kgep/ano) calculado através da soma das diferentes formas de energia utilizadas no edifício, após convertidas para energia primária através dos factores de conversão atrás indicados. O consumo global anual deve ser obtido através das médias dos consumos globais dos últimos três anos, minimizando assim os impactes referentes a eventuais variações climáticas verificadas.

O consumo de Gás Propano real torna-se irrelevante, tendo em conta que apenas com o consumo de energia eléctrica efectiva, o IEE de referencia é superado em 2,66 kgep/(m2.ano).



3.2.3. Análise

Os Indicadores de Eficiência Energética calculados anteriormente são agora comparados segundo a abordagem apresentada no RSECE.

$$IEE_{\text{ref,existente}} < IEE_{\text{Real}}$$

$$20,62 < 24,65$$

[Kgep/m².ano]

O IEE real é superior 19,5% em relação ao IEE de referência ponderado para as diferentes tipologias do edifício em análise. Neste caso, em que os valores de IEE determinados com base em valores reais de consumo são superiores aos limites estabelecidos no RSECE, precede-se à realização de uma análise energética ao edifício recorrendo à simulação dinâmica em condições nominais, para uma análise mais detalhada da eficiência energética do edifício.

4. Simulação multizona

4.1. Análise energética

Os valores de IEE real, determinados com base nas leituras do consumo anual global de energia do DEMI, são superiores aos limites estabelecidos no RSECE para as tipologias em causa. O Decreto-lei RSECE, para os casos semelhantes ao verificado no Ed.VIII, estabelece a realização de uma análise energética ao Ed.VIII.

A análise energética implica um exame detalhado às condições de utilização de energia no edifício, permitindo assim:

- Quantificar os fluxos e custos de energia utilizados no Ed.VIII (electricidade, tipos de combustíveis, etc.).
- Caracterizar os sistemas consumidores de energia existentes (consumo, eficiência, etc.).
- Avaliar as necessidades energéticas específicas de cada sector do edifício (iluminação, aquecimento, ventilação, arrefecimento, etc.).
- Determinar o indicador de eficiência energética nominal (IEE).
- Verificação do Plano de Manutenção.
- Identificar situações de desperdício de energia de forma a propor medidas correctivas integradas no Plano de Racionalização Energética e analisar técnica e economicamente as soluções encontradas.
- Propor a implementação de sistemas organizados de gestão de energia e de controlo e monitorização das instalações ou equipamentos.

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 do Ed.VIII, possibilitando encontrar o IEE nominal que será comparado com o Indicador de Eficiência Energética de referência calculado no capítulo anterior, por forma a estabelecer um perfil de eficiência energética para o Ed.VIII.

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 (Plano de Racionalização Energética) caso o IEE calculado seja superior ao valor de referência, permitindo reduzir os consumos em áreas mais críticas de forma a cumprir os limites impostos.

4.2. Simulação dinâmica detalhada

No processo de determinação de cargas térmicas de um espaço é necessário ter em conta um vasto conjunto de factores e os seus contributos para o valor da carga térmica, como a transmissão de calor, a iluminação, a ventilação natural (infiltrações no caso em estudo), o uso de equipamentos e os níveis de ocupação do edifício (quer a nível de densidade ocupacional quer de horários). A quantidade de trabalho envolvida na contabilização de todos estes parâmetros é bastante extensa, mas ao termos em conta que um projecto de climatização trata vários espaços do edifício, esta quantidade aumenta de tal forma que só recorrendo a aplicações informáticas se torna viável a análise do edifício. [18]

No âmbito do RSECE, a simulação dinâmica detalhada é entendida como método de previsão das necessidades de energia correspondentes ao funcionamento de um edifício e respectivos sistemas energéticos que tome em conta a evolução de todos os parâmetros relevantes com a precisão adequada, numa base pelo menos horária, ao longo de todo um ano típico. [10] 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.

Embora não seja o objectivo deste trabalho a validação do edifício em termos legislativos, é tido em conta o SCE como linha de orientação. No caso em estudo, a simulação dinâmica é a metodologia definida pelo RSECE nas seguintes situações:

- No âmbito da realização das auditorias periódicas aos grandes edifícios, para efeitos da determinação do índice de eficiência energética (IEE) nominal ou real, que será comparado com valores de referência (Artigo 7º).

- Embora não seja obrigatória, a simulação dinâmica, quando dotada das funcionalidades apropriadas, é muito conveniente nas seguintes situações:
 - No âmbito do cálculo do Período de Retorno Simples para as medidas de eficiência energética (Anexo XIII do RSECE). Estes cálculos realizam-se no âmbito da análise de viabilidade técnico-económica das referidas medidas, a estudar na sequência da necessidade de adopção de um Plano de Racionalização Energética (nº3 do Artigo 7º), ou então na demonstração da não viabilidade económica de medidas de eficiência energética preconizadas no âmbito dos requisitos de eficiência energética no projecto de novos sistemas de climatização (vários pontos do Artigo 14º e o nº7 do Artigo 27º).
 - Suporte à análise de viabilidade económica para as situações de eventual recomendação de substituição de caldeiras, sistemas de aquecimento e equipamentos de ar condicionado, na sequência das inspecções periódicas previstas no Artigo 20º. [10]

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 respectivas 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 protecção solar;
- h) Condições climáticas interiores, incluindo as de projecto.

4.3. DesignBuilder e Energy+

O 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 seu consumo de energia. Este tem capacidade de simulação de cargas térmicas e consumos numa base horária e sub-horária, multi-zona. 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 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. Sendo o EnergyPlus um programa “open source”, que permite o desenvolvimento independente de ferramentas de apoio ao utilizador, 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, estes podem 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:

- Factor de Forma e Factores de Correção Climática de Inverno e de Verão
- IEE limite
- Indicador de Eficiência Energética
- Consumos energéticos
- Etc.

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. [22]

4.4. Descrição do edifício

Para a realização de uma simulação dinâmica detalhada procedeu-se à construção do modelo detalhado com base num levantamento das características arquitectónicas e construtivas do Ed.VIII. Foram reunidas as telas finais do projecto de arquitectura elaboradas pela empresa GITAP, em formato Autocad 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. O DesignBuilder fornece uma gama de ferramentas de desenho para a construção do modelo 3D que segue uma hierarquia, fazendo com que os parâmetros inseridos em hierarquias superiores sejam adoptados nas hierarquias inferiores, poupando assim tempo de programação e evitando erros.

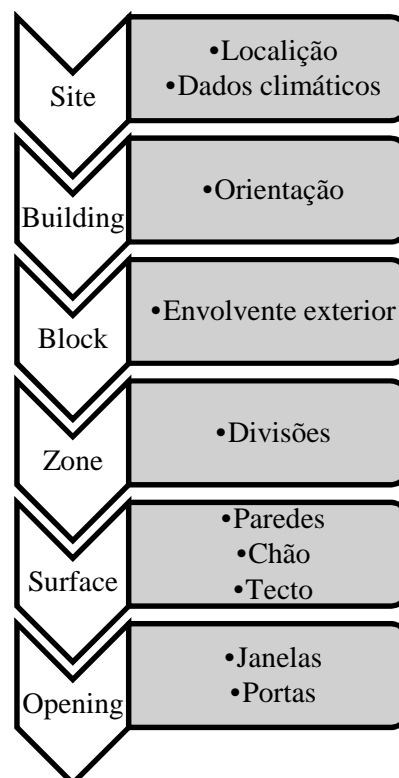


Figura 4-1: Hierarquia atribuída à construção do modelo detalhado no programa DesignBuilder.

4.4.1. Dados climáticos

O factor 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 actualizados e adequados à localização espacial do caso em estudo, ou seja, os dados climáticos da cidade de Almada.

Na secção “Site” introduzem-se dados relativos ao posicionamento e orientação geográfica do edifício. É nesta secção também que é introduzido o ficheiro climático, proveniente do programa Solterm, 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 escolhida Almada como localização geográfica, com classe 2 de exposição “2-normal” (capítulo 4.8.4 Renovação de ar), bem como a introdução do ficheiro climático (PRT_ALMADA_INETI) a partir de uma base de dados climáticos de todos os concelhos de Portugal, para efeitos de cálculo do IEE.

Tabela 4-1: Características climáticas da região de Almada utilizadas no programa de simulação DesignBuilder.

GERAL	
PRT_ALAMDA_INETI	
Fonte	NaturalWorks converter for INETI
Pais	Portugal
Nome do ficheiro	PRT_ALMADA_INETI_epw
DETALHES	
Latitude (°)	38,64
Longitude (°)	-9,20
WMO Id. Estação	085360
ASHRAE tipo clima	3C
VERÃO	
Mês de início	Julho
Mês de fim	Setembro
Semana de maior calor	22 Julho
Semana típica de verão	26 Agosto
Graus-Dia Arrefecimento (10°C) (Degree days)	2303
INVERNO	
Mês de início	Janeiro
Mês de fim	Março
Semana menos quente	8 Janeiro
Semana típica de inverno	19 Fevereiro
Graus-Dia Aquecimento (18°C) (Degree days)	1085

4.4.2. Envolvente

O desenvolvimento do modelo 3D foi auxiliado com a importação de plantas de arquitectura em CAD, possibilitando assim um bom rigor dimensional e relativo acrescido à consulta das telas finais. Numa primeira fase realizou-se a construção dos blocos, ou seja envolvente exterior (“Block”), com seguimento da delimitação das divisões por paredes interiores (“Zone”) e criação e posicionamento dos envidraçados e portas de acesso (“Opening”). Para recriar o Ed.VIII, para fins de simulação dinâmica detalhada, o edifício foi dividido em 5 Blocos e 112 Zonas.

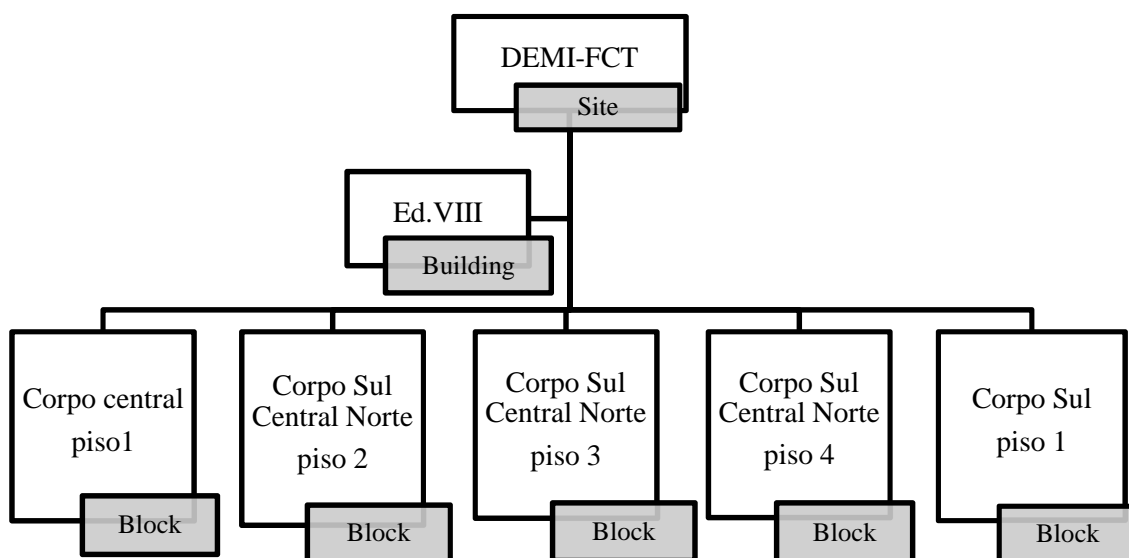


Figura 4-2: Estrutura do modelo representativo do Ed.VIII no programa DesignBuilder.

O programa DESIGNBUILDER proporciona uma excelente interface gráfica, que permite a rápida modelagem do edifício por blocos num ambiente 3D, bem como visualizar a construção a fim de uma rápida e eficaz verificação da definição geométrica da envolvente e materiais de construção hierárquica ou a um pormenor construtivo específico.

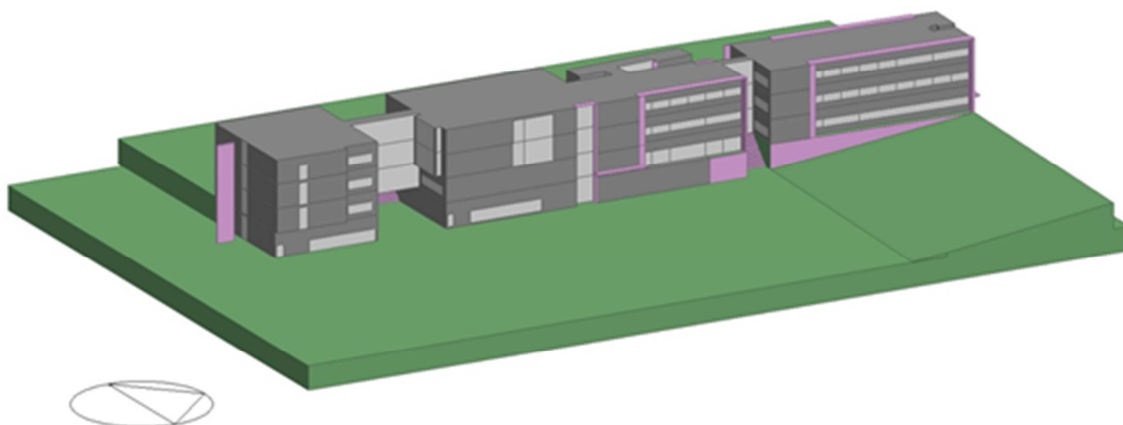


Figura 4-3: Vista do modelo representativo do Ed.VIII no DesignBuilder e orientação geográfica.

Na figura 4-3 podem distinguir se várias características construtivas atribuídas ao modelo. O cinzento-escuro são os elementos construtivos do edifício com condutibilidade térmica, que simulam as paredes externas, chão e cobertura. O cinzento-claro são os elementos como envidraçados e portas. A cor roxa está atribuída aos elementos de construção adiabáticos que proporcionam sombra e reflexão em zonas chaves como é o caso dos envidraçados. O elemento verde pretende simular o solo que se sobrepõe às paredes do piso 1 da fachada Oeste.

É ainda possível obter uma visualização mais realista do modelo, na aba “visualize”, de forma a confirmar as características construtivas atribuídas a cada elemento do edifício.



Figura 4-4: Vista detalhada do modelo representativo do Ed.VIII, com a função “visualize” do DesignBuilder.

Na seguinte figura é possível observar as semelhanças entre o modelo virtual e o Ed.VIII.

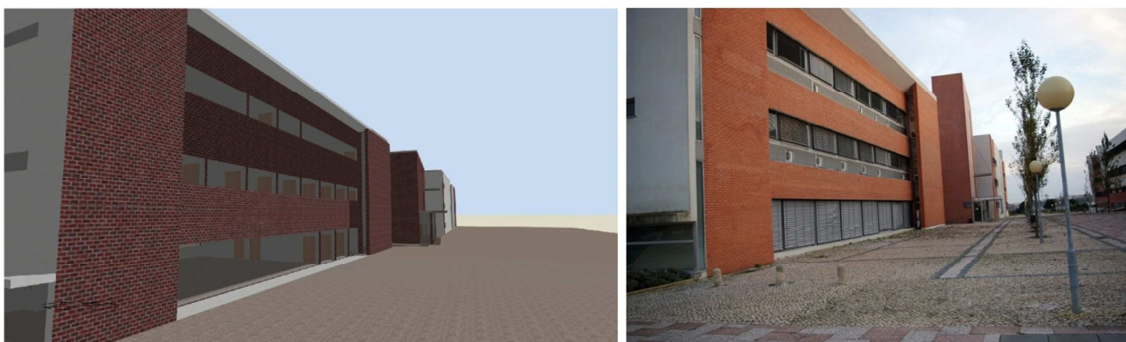


Figura 4-5: Comparação da fachada Oeste do corpo Norte, entre o modelo virtual, construído no DesignBuilder e o edifício real.

4.4.3. Materiais de Construção

No separador “Construction” são definidas as propriedades dos materiais de construção dos elementos opacos de que o edifício do DEMI 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. Como tal foram levantados dados dos pormenores construtivos para uma boa precisão. Existem dois tipos principais de paredes exteriores, ambas duplas. Representativa de maior área é a parede constituída por um pano exterior de reboco tradicional (1800 Kg/m³), pano de alvenaria de tijolo cerâmico furado de 110 mm, isolamento em poliestireno expandido extrudido (XPS) de 30 mm inserido numa caixa-de-ar com 40 mm, seguido de um pano de alvenaria de tijolo furado de 110 mm e reboco tradicional (1800Kg/m³) com 20 mm. Este tipo de parede intitulada por “Parede externa do DEMI Branca” apresenta um coeficiente de transmissão térmica superficial (U) de 0,64 (W/m²°C).

A restante área de parede exterior encontra-se revestida com tijoleira de barro vermelho (0,23x0,015x0,065 m), pano de alvenaria de tijolo furado 11mm, isolamento XPS de 30 mm que preenche por completo a caixa-de-ar, parede de alvenaria de tijolo furado 110 mm e reboco

interior 20 mm. Este tipo de parede “Parede externa DEMI” tem um coeficiente de transmissão térmica superficial (U) de 0,63 (W/m²°C).

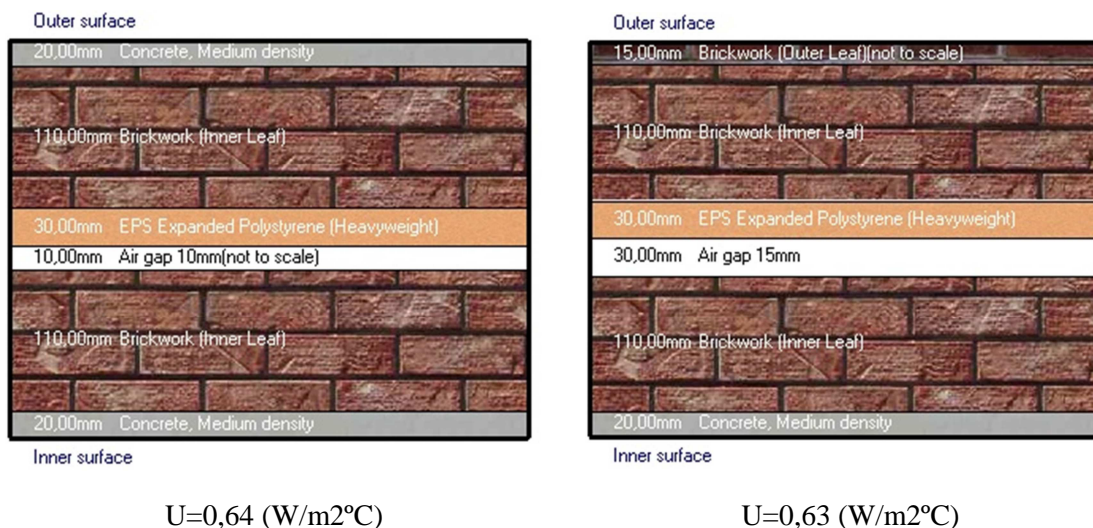


Figura 4-6: Representação esquemática da constituição das paredes exteriores do Ed.VIII.

As paredes internas são duplas, com tijolo 70 mm e caixa-de-ar 30 mm sem isolamento, apresentado um coeficiente de transmissão térmica superficial (U) de 1,43 (W/m²°C).

A cobertura do edifício é caracterizada por uma cobertura de seixo branco, telas de impermeabilização e uma laje maciça de betão com 200mm, apresentado assim um coeficiente de transmissão térmica superficial (U) de 0,95 (W/m²°C).

4.4.4. Vãos envidraçados e portas

Na aba “Openings” do DesignBuilder são definidos os vãos envidraçados do Ed.VIII. Os envidraçados são compostos por caixilharia de alumínio termolacado associado a vidro duplo incolor, de 6mm/12mm caixa-de-ar (U 2,71 W/m²°C), nas zonas administrativas ocupadas pelos docentes do DEMI. Vidro simples, de 6mm (U 4,85 W/m²°C), em zonas de como salas de aula e laboratórios. A protecção solar é promovida em todo o edifício, com a excepção das zonas de circulação comum, por estores exteriores de lâminas horizontais em alumínio de baixo reflexo.

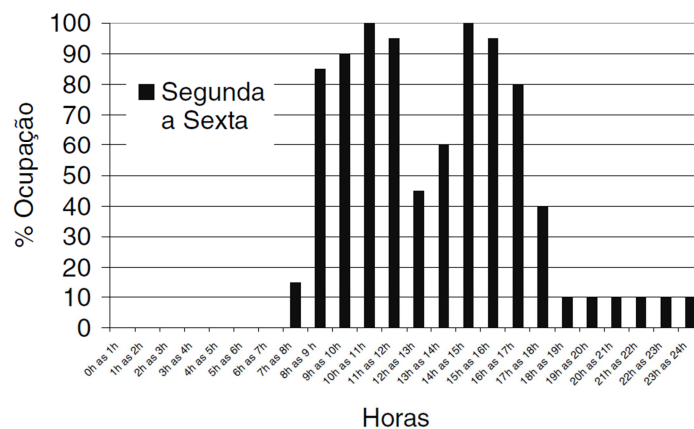
4.5. Ocupação

Para calcular o consumo específico nas condições nominais (IEE nominal) é necessário adoptar os Padrões de Referência de Utilização do Edifício (RSECE, Anexo XV). Estes padrões de referência dão nos parâmetros definidos para as diferentes tipologias de edifício, que no caso em estudo são enquadrados nos Estabelecimentos de Ensino Superior e Escritórios. O anexo XV faculta perfis horários para a ocupação, iluminação e equipamentos, com densidades de ocupação e equipamentos para as diferentes tipologias. Existem ainda os perfis constantes para os espaços complementares, aplicado à Cozinha no Estabelecimento de Ensino Superior no caso de estudo.

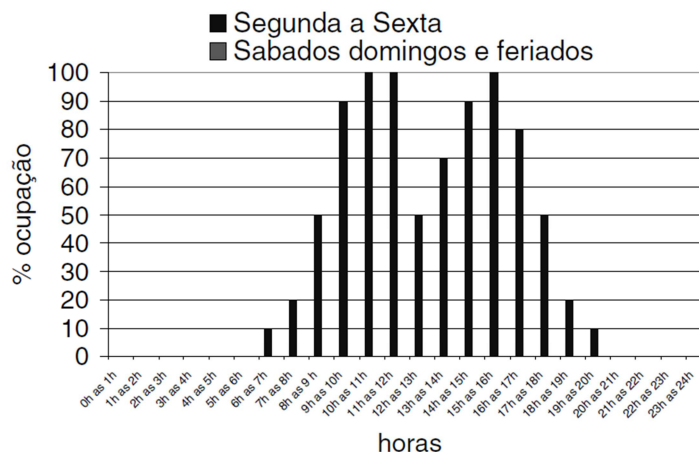
Para a simulação numérica detalhada em condições nominais, a densidade ocupacional assumida foi: 10 ($\text{m}^2/\text{ocupante}$) para a tipologia de Estabelecimento de Ensino Superior e 15 ($\text{m}^2/\text{ocupante}$) na tipologia de Escritórios. Estes valores irão ter um grande impacto na simulação, 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. Os horários de ocupação para as diferentes tipologias são:

Padrões de referência de utilização do edifício (RSECE, Anexo XV)

Estabelecimento de Ensino Superior (10 $\text{m}^2/\text{Ocupante}$)



Escritórios (15 m2/Ocupante)



O módulo Português do IEE no DesignBuilder não contempla a tipologia de “Estabelecimento de Ensino Superior”, por motivos de falta de informação no RSECE que permitia o cálculo da classe energética da mesma. Foram programados os horários e os restantes valores de referência na tipologia “Estabelecimentos de Ensino”. Embora a simulação esteja a correr com o nome da tipologia “Estabelecimentos de Ensino”, o IEE nominal calculado será referente a “Estabelecimentos de Ensino Superior”.

4.5.1. Densidade Ocupacional Real

Tabela 4-2: População média diária no Ed.VIII do DEMI. [23]

População média diária do DEMI			
Alunos	Docentes e não docentes (FCT)	Funcionários de outros serviços do campus	Total
126,7	52	4	182,7

Tabela 4-3: Comparação entre a densidade ocupacional real com a densidade ocupacional nominal.

	Área por tipologia	Densidade populacional real (m2/Ocupante)	Densidade ocupacional nominal (m2/Ocupante)
Estabelecimento de Ensino Superior	3510	27,7	10
Escritórios	941	16,8	15

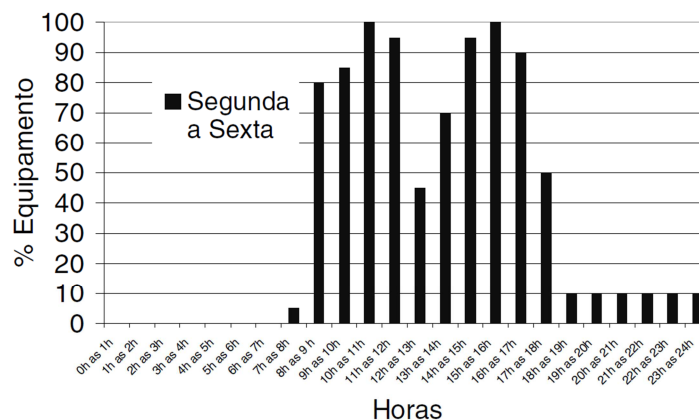
Numa breve análise verifica-se que o regulamento apresenta valores próximos para o perfil “Escritórios”, mas para a tipologia “Estabelecimentos de Ensino Superior” a densidade ocupacional em bem superior ao que se verifica na realidade.

4.6. Equipamentos

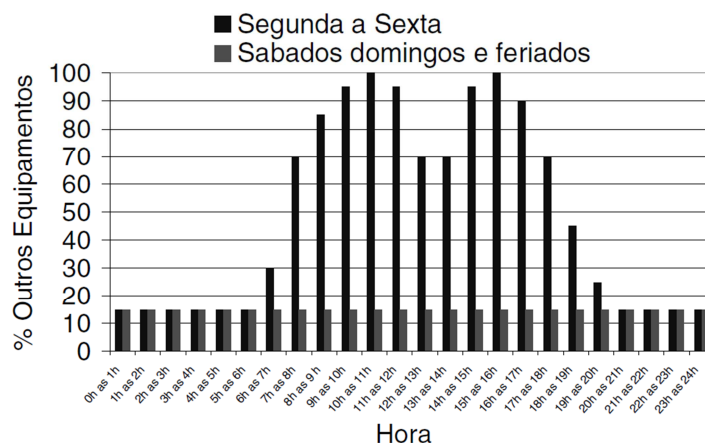
A densidade de potência associada aos equipamentos para efeitos de cálculo do consumo específico em condições nominais (IEEnomial) é dada pelos “Padrões de Referencia de Utilização do Edifício” (RSECE, ANEXO XV), para as diferentes tipologias. As áreas associadas a “Estabelecimentos de Ensino Superior”, têm uma densidade de equipamentos de 10 W/m², e 15 W/m² às áreas associadas a “Escritórios”. Sendo a Cozinha, do bar Girasol, um espaço complementar da tipologia “Estabelecimentos de Ensino Superior”, prevista no Anexo XV do RSECE com perfis constantes, tem uma atribuição de 250 W/m² para os equipamentos, e 8 W/m² para a ventilação.

Padrões de referência de utilização do edifício

Estabelecimento de Ensino Superior (10 W/m²)



Escritórios (15 W/m²)



4.7. 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.

Nas salas de aulas e gabinetes podem encontrar-se luminárias reflectoras EURO 300, encastradas no tecto com duas lâmpadas fluorescentes TLD36. As divisões com pé direito superior a 3 metros, como é o exemplo dos laboratórios, têm instaladas luminárias de régua suspensas com duas lâmpadas TLD36. A electrificação, das luminárias EURO 300 e de régua, é feita por balastros ferromagnéticos. Nos espaços de circulação de comum existem luminárias SPOT S2DL 220 com lâmpadas fluorescentes compactas DULUXD 18W.

Tabela 4-4: Características da iluminação instalada no Ed.VIII do DEMI.

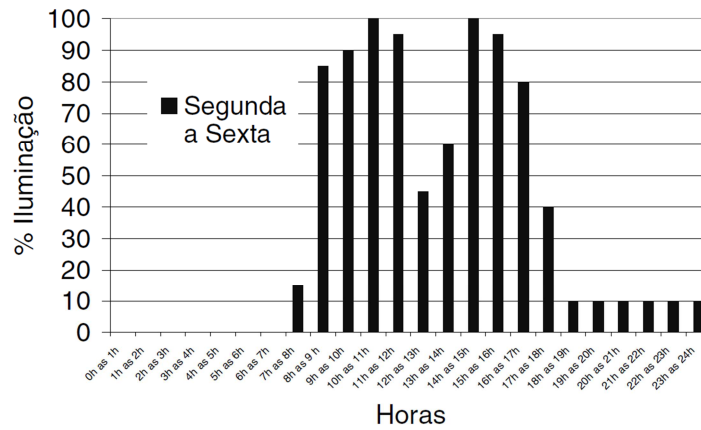
Luminária	Lâmpada	Casquilho	Balastro	Potência Total (lamp.+balastro)
EURO 300	2x TLD 36W/*	Lâmpada fluorescente linear tipo T8, suporte G13	Balastro ferromagnético	86 W
Régua	2x TLD 36W/*	Lâmpada fluorescente linear tipo T8, suporte G13	Balastro ferromagnético	86 W
SPOT S2DL 220	2x TC-D 18W	Lâmpada compacta, suporte G24d-2	Balastro electrónico	56 W

O controlo da iluminação em salas de aula é feito por dois ou quatro interruptores, controlando 50% ou 25% da luz artificial, dependendo do tamanho da sala. [Análise FCT]

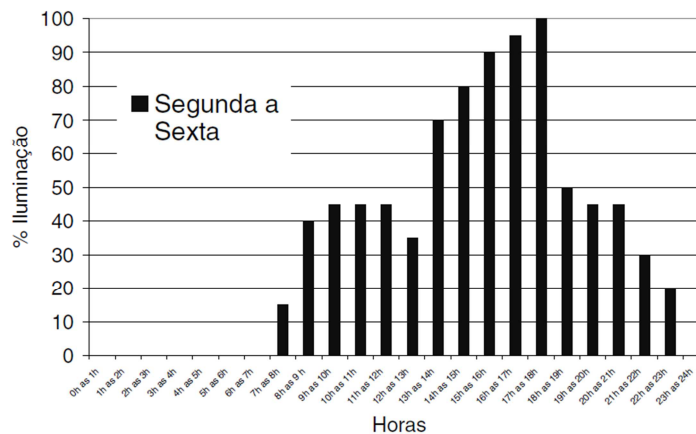
Na aba “Lighting” do DesignBuilder foram introduzidas as potências reais (W/m^2), lâmpada mais balastro, em cada divisão do edifício. Para este efeito recorreu-se ao documento de projecto “Edifício de Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial – Projecto de Instalações Eléctricas” da empresa GITAP.

Padrões de referência de utilização do edifício

Estabelecimento de Ensino Superior (Densidade de iluminação real)



Escritórios (Densidade de iluminação real)



4.8. Sistema de climatização e ventilação

O edifício do DEMI encontra-se dotado de um sistema de percurso simples “tudo ar” para aquecimento ambiente e renovação de ar, e unidades individuais de ar condicionado tipo “split” para arrefecimento. No período de arrefecimento existe apenas ventilação ambiente para grande parte das zonas atribuídas ao ensino. As zonas reservadas aos docentes, situadas na sua grande maioria no corpo Norte, e alguns laboratórios, estão equipados com unidades individuais de ar condicionado da marca MIDEA, modelam MSG-09HRN2. Estes aparelhos foram instalados para colmatar a desactivação das UTV's (1, 2, 3 e 4), por motivos de falta de manutenção. Possuem uma potência nominal de 2,64 kW de arrefecimento e 2,93 kW de aquecimento, com um COP respectivo de 2,5 e 2,93.

No sistema “tudo ar”, o calor é levado ao local a climatizar por ar (previamente aquecido nas Unidades de Tratamento de Ar - UTA). Nos sistemas com percurso simples, a distribuição do ar quente é feito apenas por uma conduta até ao local a climatizar. O ar tratado na unidade de tratamento de ar é distribuído a todas essas salas nas mesmas condições de temperatura e humidade.

O sistema de aquecimento instalado é composto por uma central térmica munida por duas caldeiras marca IGNIS, modelo NAR200, alimentadas a Gás Propano. As caldeiras compostas por queimadores BALTUR SPARKGAS têm um rendimento nominal de 85% [Ficha do edifício, Campus Verde], com uma potência térmica unitária de 190 kW [AE]. A água, aquecida a 70/80 °C pelas caldeiras, é distribuída por uma rede de tubagem em anel isolada termicamente às unidades de tratamento de ar. A distribuição dos caudais de água quente é realizada por 5 electrobombas autónomas, com capacidade de circulação total de 61900 (l/h).

As UTA's estão instaladas na cobertura, tal como a central térmica, e servem os vários pisos do edifício através de uma rede de condutas de baixa pressão, também isoladas termicamente, permitindo realizar o aquecimento e renovação de ar dos espaços interiores. No período de Verão é apenas possível obter ventilação ambiente, a partir das UTA's, recorrendo-se ao arrefecimento “Free cooling”.

A compensação de ar novo introduzido é feita pelas Unidades de Tratamento de Ar, as quais dispõe de ventiladores de insuflação e ventiladores de extracção. Consoante a tipologia dos espaços, haverá recirculação parcial ou a insuflação de 100% de ar novo. As zonas de circulação comuns são climatizadas indirectamente por unidades de extracção de ar localizada, presentes nas instalações sanitárias. A UTV5 e a UTV10 são equipadas com um recuperador de calor do ar rejeitado.

4.8.1. Corpo Norte

O corpo Norte está dotado de três unidades Termoventiladoras (UTV1, UTV2 e UTV3), que promovem o tratamento ambiente através da insuflação e recirculação de ar locais, sendo o ar novo introduzido compensado pela extracção do ar nas instalações sanitárias (VE1). Todas as unidades Termoventiladoras estão equipadas com sistema Free Cooling. Foram reactivadas no final do ano de 2011, promovendo o aquecimento ambiente sem o apoio dos sistemas tipo “split” instalados nestas áreas.

Tabela 4-5: Características da UTV1, UTV2 e UTV3, instaladas no corpo Norte.

		INSUFLAÇÃO	RECIRCULAÇÃO	EXTRACÇÃO	RECUPERAÇÃO TÉRMICA	FREE COOLING
UTV 1						
PISO 4	Sala de Reuniões	✓	✓	-	-	✓
	Gabinetes (13)	✓	✓	-	-	✓
	Secretaria	✓	✓	-	-	✓
	Direcção	✓	✓	-	-	✓
UTV 2						
PISO 3	Sala de reuniões	✓	✓	-	-	✓
	Gabinetes (17)	✓	✓	-	-	✓
UTV 3						
PISO 2	Gabinetes (5)	✓	✓	-	-	✓
	Oficina de Manutenção	✓	✓	-	-	✓
	Apoio ao Laboratório	✓	✓	-	-	✓
	Lab. Órgãos de Máquinas	✓	-	VE2	-	✓

4.8.2. Corpo CENTRAL

No corpo Central podem ser consideradas duas alas, ala Norte e ala Sul.

A ala Norte diz respeito à actividade administrativa. A manutenção do ar fica a cargo da UTV4 para todos os 4 pisos, com insuflação e recirculação do ar locais. A extracção é proporcionada por unidades ventiladoras instaladas no bar, posto médico, armazém do laboratório e instalações sanitárias dos 4 pisos (VE3). Foi reactivada à semelhança das UTV 1,2 e 3, para substituir o aquecimento fornecido pelos sistemas individuais do tipo “split” nas presentes áreas.

Tabela 4-6: Características da UTV4, do corpo Central, ala Norte.

		INSUFLAÇÃO	RECIRCULAÇÃO	EXTRACÇÃO	RECUPERAÇÃO TÉRMICA	FREE COOLING
UTV 4						
PISO 4	Videoteca	✓	✓	-	-	✓
	Gabinetes (3)	✓	✓	-	-	✓
	Reprografia	✓	✓	-	-	✓
	Sala de apoio	✓	✓	-	-	✓
PISO 3	Gabinetes (2)	✓	✓	-	-	✓
	Secretaria	✓	✓	-	-	✓
	Gab. Director	✓	✓	-	-	✓
Piso 2	Recepção	✓	✓	-	-	✓
	Bar	✓	-	VE4 VE6	-	✓
	Posto medico	✓	-	VE4	-	✓
	Armazém Lab.	✓	-	VE4	-	✓
Piso 1	Central telefónica	✓	-	-	-	✓

A ala Sul do corpo central tem como actividade o ensino, e a insuflação e renovação do ar fica a cargo de 4 UTV's, uma para cada piso. A extracção de ar dos diversos pisos será proporcionada pelas próprias unidades, que simultaneamente compensam o ar novo introduzido.

Tabela 4-7: Características da UTV5, UTV6, UTV7 e UTV8, do corpo Central, ala Sul.

		INSUFLAÇÃO	RECIRCULAÇÃO	EXTRACÇÃO	RECUPERAÇÃO TÉRMICA	FREE COOLING
UTV 5						
PISO 4	Laboratório	✓	✓	-	✓	-
	Sala de estudo	✓	✓	-	✓	-
	Sala de aula (3)	✓	✓	-	✓	-
UTV 6						
PISO 3	Sala de estudo	✓	✓	-	-	✓
	Reprografia	✓	✓	-	-	✓
	Centro de informática	✓	✓	-	-	✓
	Sala de desenho	✓	✓	-	-	✓
UTV 7						
PISO 2	Off. Manutenção	✓	✓	-	-	✓
	Laboratórios (2)	✓	✓	-	-	✓
	Apoio Lab.	✓	✓	-	-	✓
UTV 8						
PISO 1	Off. Manutenção	✓	✓	-	-	✓
	Apoio Lab.	✓	✓	-	-	✓
	Laboratórios (2)	✓	✓	-	-	✓

4.8.3. Corpo SUL

O corpo sul é constituído principalmente por laboratórios e salas de aula, com a existência de umas instalações sanitárias no piso 2. A manutenção do ar está a cargo de 4 Unidades Termoventiladoras (UTV's), uma para cada piso.

Tabela 4-8: Características da UTV9, UTV10, UTV11 e UTV12, do corpo Sul.

		INSUFLAÇÃO	RECIRCULAÇÃO	EXTRACÇÃO	RECUPERAÇÃO TÉRMICA	FREE COOLING
UTV 9						
PISO 4	Sala de Computadores	✓	✓	-	-	✓
	Sala de apoio	✓	✓	-	-	✓
	Laboratórios (2)	✓	✓	-	-	✓
	Armazém	✓	✓	VE5	-	✓
UTV 10						
PISO 3	Salas de aula (4)	✓	✓	-	✓	-
UTV 11						
PISO 2	Sala de apoio	✓	✓	-	-	✓
	Laboratórios (2)	✓	✓	-	-	✓
UTV 12						
PISO 1	Apoio ao Lab.	✓	✓	-	-	✓
	Laboratório	✓	✓	-	-	✓

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

- Unitary Single Zone (sistema simples de expansão directa, volume de ar constante)
- Fan Coil Units (ventiloconvectores)
- Unitary Multizone (sistema de expansão directa, 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 Ed.VIII é de conduta simples com Volume de Ar Constante (CAV). Este permite insuflar ar a um caudal constante, alterante a temperatura de insuflação do mesmo, por forma a garantir inserção da carga térmica necessária para atingir as condições de conforto. A climatização é efectuada 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, Free Cooling e Recuperador de Calor. Apenas é possível ter um sistema CAV por edifício na simulação, como tal foi apenas escolhida a opção Free Cooling que é adoptada na maioria das UTV's do Ed.VIII do DEMI.

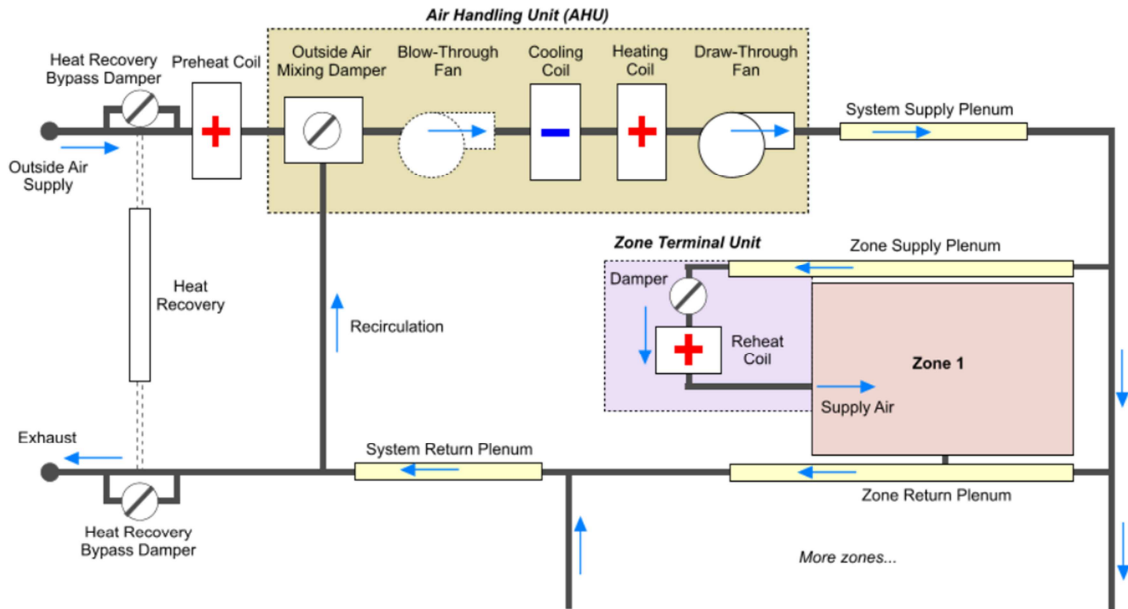


Figura 4-7: Esquema representativo do sistema AVAC tipo CAV disponível para simulação no DesignBuilder.

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 actuação 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 de acordo com o posicionamento das condutas de insuflação e extracção em cada divisão a ser climatizada [5] (G10). Para o sistema de ventilação presente no Ed.VIII foi considerada uma eficiência de 70%, pois a insuflação e a extracção são feitas pelo tecto, ou junto deste, mas com a extracção em “zonas mortas” do campo de escoamento.

Para os sistemas individuais, tipo “split”, presentes nos gabinetes, foi escolhido o sistema *Unitary Single Zone*. Este simula um sistema “split” com ventilação mecânica separada. Para o cálculo do Indicador de Eficiência Energética Nominal, é necessário existir caudais de ar novo nas áreas úteis, segundo o quadro do Anexo VI do RSECE, mesmo que na realidade tal não se verifique. As unidades individuais de ar condicionado presentemente apenas fornecem apoio à

refrigeração no período de Verão, sendo o aquecimento assegurado pelas UTV's nas respectivas áreas.

A opção de modelo AVAC *Compact* (DB: Model Options, Data, HVAC) é a maneira mais poderosa de modelar o sistema AVAC no EnergyPlus, este permite definir o sistema de climatização com um maior detalhe como a introdução de dados sobre a caldeira. A simulação em modo *Compact* 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. O modo *Compact* permite escolher apenas um COP para a estação de aquecimento e outro para a estação de arrefecimento.

As condições de conforto interior de referência, apresentadas no RCCTE são: temperatura de ar de 20°C para a estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25°C e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento (RCCTE, Artigo 14º). (DB: Building Level, Activity, Environmental Control)

4.8.4. Renovação do ar

A renovação de ar nas fracções é assegurada por meios mecânicos de ventilação. Como tal a taxa de renovação horária (RPH) a considerar na simulação dinâmica deve incluir os caudais de ar correspondentes à ventilação mecânica e à ventilação natural, a qual continua a ocorrer em maior ou menor grau [9].

$$R_{ph} = \frac{\dot{V}_f + \dot{V}_x}{V} \quad [h^{-1}]$$

\dot{V}_f – caudal devido à ventilação mecânica [m^3/h]

\dot{V}_x – caudal devido à ventilação natural [m^3/h]

V – volume útil da fracção autónoma [m^3]

O contributo da ventilação natural pode ser desprezado quando se verificam as seguintes condições [9]:

Tabela 4-9: Permissão para ignorar a taxa de ventilação natural em função da classe de exposição e a taxa de desequilíbrio da ventilação mecânica.

Classe de Exposição	$\frac{V_{ins} - V_{ev}}{V}$
Exp. 1	> 0,10 RPH
Exp. 2	> 0,25 RPH
Exp. 3 e 4	> 0,50 RPH

V_{ins} – Caudal insuflado; V_{ev} – Caudal extraído; V – Volume da facção

Quando estas condições não se verificam, é necessário a determinação de uma taxa adicional V_x/V. A taxa de renovação horária devida à ventilação natural (V_x/V) toma os valores representados pelo gráfico da figura, em função da classe de exposição do edifício e do desequilíbrio entre os caudais insuflados e extraídos mecanicamente. V_x é o caudal adicional correspondente a infiltrações devidas ao efeito do vento e ao efeito chaminé (RCCTE, Anexo IV, 3.2.2).

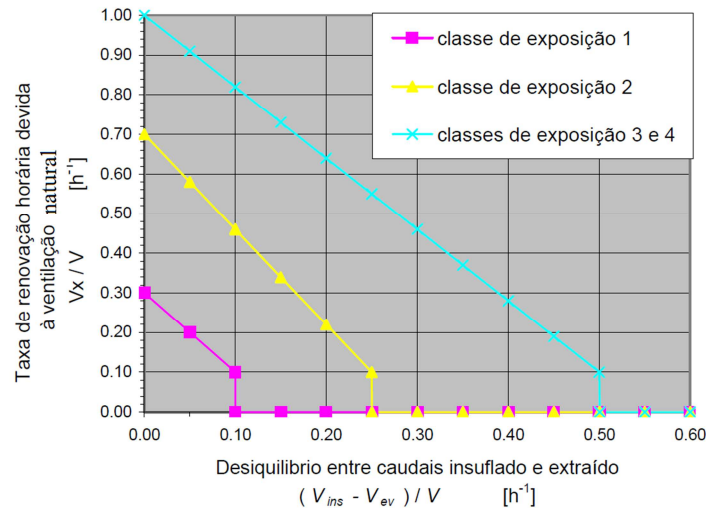


Figura 4-8: Taxas de renovação horária devidas à ventilação natural (V_x/V), em função do desequilíbrio entre caudais insuflados e extraídos [(V_{ins}-V_{ext})/V], e da classe de exposição do edifício.

Para a classificação da classe de exposição considerou-se o Ed.VIII situado na Região B (localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa), com um grau de Rugosidade II (edifícios situados na periferia de uma zona urbana), e uma altura média inferior a 10 m.

Neste contexto pelo quadro (vd. RCCTE, Anexo IV, Quadro IV.2) considera-se o edifício com uma classe de exposição ao vento 2 (Exp.2).



Figura 4-9: Distância do Ed.VIII ao litoral.



Figura 4-10: Altura do Ed.VIII do DEMI.

QUADRO IV.2

Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma

Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
Menor que 10 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
De 10 m a 18 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
De 18 m a 28 m	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
Superior a 28 m	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4

Notas

- Região A — todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à região B.
- Região B — Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m.
- Rugosidade I — edifícios situados no interior de uma zona urbana.
- Rugosidade II — edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.
- Rugosidade III — edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).

Tabela 4-10: Classificação das classes de exposição ao vento das fachadas do edifício. (RCCTE, Anexo IV, Quadro IV.2)

O desequilíbrio entre caudais insuflado e extraído ($V_{ins} - V_{ev}$)/V é de -0,28 [h-1] [Anexo H], o que significa que o edifício encontra-se em depressão. Esta diferença entre um maior caudal de ar extraído que caudal insuflado, cria condições para a entrada directa de ar exterior não tratado através de infiltrações para o interior do edifício de 0,7 [h-1].

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 actividade do local a climatizar, ou a área do mesmo. No caso do Anexo VI apresentar os dois valores, conta para simulação o maior caudal de ar novo. No DesignBuilder 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 obtido pelo calculo: $1/(s.pessoa) * \text{numero de ocupantes}$ ou $1/(s.área) * \text{área da zona}$, respeitando assim a lei Portuguesa. No quadro seguinte são apresentados os valores do Anexo VI, do RSECE, utilizados para definir o caudal mínimo por zona.

Tabela 4-11: Caudais mínimos de ar novo atribuídas aos espaços das tipologias do Ed.VIII. (RSECE, Anexo VI)

Tipos de actividade		Caudais mínimos de ar novo	
		[m3/(h.ocup.)]	[m3/(h.m2)]
Escolas	Salas de aula	30	
	Laboratórios	35	
	Bibliotecas	30	
	Bares	35	
	Auditórios	30	

Serviços	Gabinetes	35	5
	Salas de conferência	35	20
	Salas de assembleia	30	20
	Salas de desenho	30	
	Consultórios médicos	35	
	Salas de recepção	30	15
	Salas de computador	30	
	Elevadores		15

4.9. Carga térmica

4.9.1. Estação de aquecimento

A carga térmica de Inverno (estação de aquecimento), é a potência mínima que o sistema de AVAC tem de possuir para garantir o conforto térmico de todas a zonas de área útil. Esta potência é calculada somando todas as perdas por condução através da envolvente do edifício e as perdas por renovação de ar. As perdas por condução incluem as perdas pelas paredes (zonas homogêneas + pontes térmicas), coberturas, pavimentos, envidraçados, portas, zonas enterradas e zonas adjacentes não aquecidas e infiltrações externas. O cálculo das cargas térmicas na estação de aquecimento é efectuado considerando as piores condições possíveis, ou seja, com base no dia do ano em que a temperatura exterior seja a mais baixa e probabilidade de ocorrência de 99,6%. (Site Level, Location, Winter Design Weather Data) [cargas térmicas de inverno]

Tabela 4-12: Necessidade de aquecimento – balanços energéticos.

P E R D A S	Transmissão	ENVOLVENTE EXTERIOR E ENVOLVENTE INTERIOR Paredes, pavimentos, coberturas, vãos envidraçados
		ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO Paredes, pavimentos
		PONTES TÉRMICAS LINEARES E PLANAS Ligação entre paredes verticais Ligação da fachada com pavimentos: térreos, interiores, exteriores, intermédios. Ligação da fachada: cobertura inclinada ou terraço, padieira, ombreira ou peitoril, varanda, caixa de estores.
	Ventilação	NATURAL ou MECÂNICA

G A N H O S	Internos	OCUPANTES EQUIPAMENTOS ILUMINAÇÃO
	Solares	VÃOS ENVIDRAÇADOS

A simulação de aquecimento com base nos cálculos do EnergyPlus tem as seguintes características:

- Temperatura externa em estado estacionário.
- Velocidade e direcção do vento definidas nas configurações iniciais. (Classe de Exp.2)
- Ganhos solares nulos.
- Ganhos internos nulos. (iluminação, equipamentos, ocupação, etc.)
- As zonas são aquecidas constantemente para alcançar o *set point* pré-definido utilizando um sistema simples de aquecimento convectivo.
- Consideração de condução e convecção de calor entre zonas a diferentes temperaturas.

Efectuando os cálculos pelo EnergyPlus (Heating Design), para a estação de aquecimento do modelo do Ed.VIII, obtemos o seguinte gráfico:

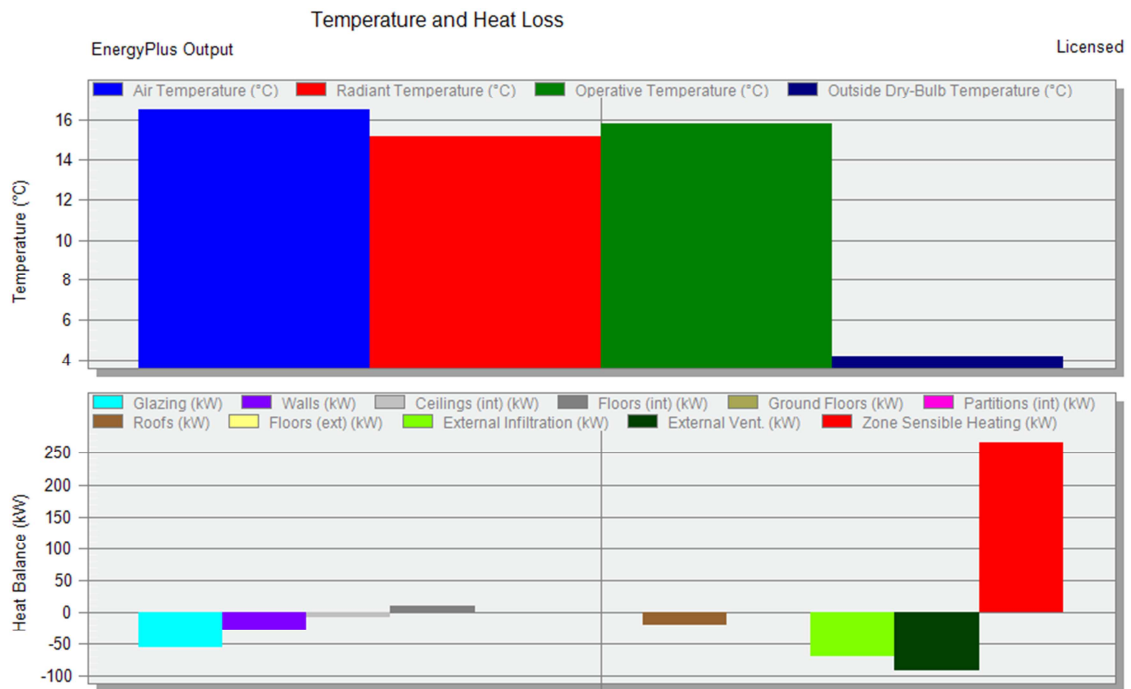


Figura 4-11: Gráfico dos balanços energéticos das necessidades de aquecimento do Ed.VIII.

Tabela 4-13: Balanços energéticos das necessidades de aquecimento do Ed.VIII. (kW)

Air Temperature (°C)	16,46
Radiant Temperature (°C)	15,12
Operative Temperature (°C)	15,79
Outside Dry-Buld Temperature (°C)	4,2
Glazing (kW)	-55,76
Walls (kW)	-27,74
Ceilings (kW)	-8,9
Floors (int) (kW)	8,94
Ground Floors (kW)	-0,9
Partitions (int) (kW)	-0,53
Roofs (kW)	-19,6
Floors (ext) (kW)	-0,08
External Infiltration (kW)	-70,49
External Ventilation (kW)	-92,61
Zone Sensible Heating (kW)	267,66

Para a estação de aquecimento é necessária uma potência mínima de 267,66 kW para manter as condições interiores de referência (RCCTE, Artigo 14º, alínea a) nas zonas ocupadas permanentemente (área útil), ou seja, manter a temperatura do ar a 20°C. Numa análise aos resultados verifica-se que a ventilação (infiltrações e insuflação de ar novo), é responsável por 56% das perdas. Os vãos envidraçados são responsáveis por 20% das perdas na envolvente, um número bem expressivo devido à maioria dos envidraçados ser composto por vidro simples.

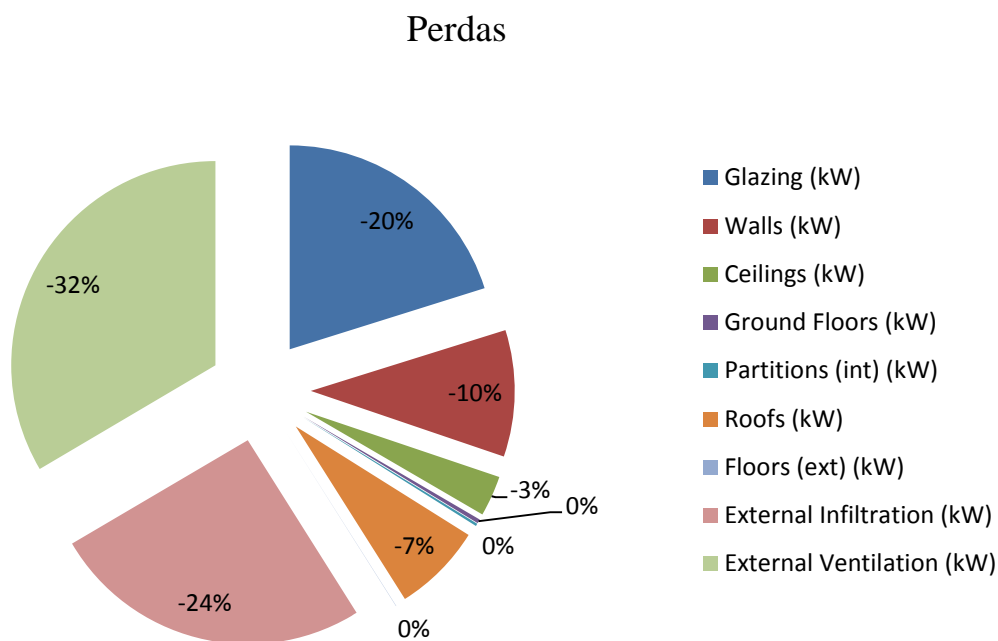


Figura 4-12: Comparação entre perdas energéticas do Ed.VIII na estação de aquecimento.

A perda de calor em cada zona é multiplicada pelo factor de segurança 1,35 definido nas condições iniciais de cálculo do DesignBuilder, de forma a garantir uma potência igual ao equipamento AVAC instalado, ou seja uma potência de 380 kW (2*190 kW). A potência de aquecimento instalada no Ed.VIII excede 34,5% o valor necessário para manter as condições de conforto. Dado que as necessidades de aquecimento ao longo do ano se situam abaixo das necessidades nominais, a instalação de duas caldeiras parece acertada. Os queimadores SPARKGAS NAR200 possuem apenas um escalão de funcionamento, quando era recomendável a utilização de queimadores no mínimo com 2 escalões de funcionamento (95 kW, 190 kW, 285 kW e 380 kW). (Building model options, Heating Design)

4.9.2. Estação de arrefecimento

O cálculo da carga térmica de arrefecimento, à semelhança do que acontece para a estação de Inverno, tem como objectivo determinar a capacidade do equipamento de refrigeração necessária para manter as condições de conforto térmico de todas as zonas de área útil. Tem em conta todos os ganhos de calor do edifício (externos e internos), assumindo condições dinâmicas. Variação de temperatura dinâmica significa que o armazenamento de calor que ocorre na envolvente do edifício e elementos interiores são contabilizados.

Tabela 4-14: Necessidades de arrefecimento – balanços energéticos.

P E R D A S	Transmissão	ENVOLVENTE EXTERIOR Paredes, pavimentos, coberturas, pontes térmicas planas e vãos envidraçados
	Ventilação	NATURAL ou MECÂNICA
G A N H O S	Internos	OCUPANTES EQUIPAMENTOS ILUMINAÇÃO
	Solares	VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES
		ELEMENTOS OPACOS EXTERIORES

A simulação de arrefecimento (Cooling Design) com base nos cálculos do EnergyPlus tem as seguintes características:

- Condições dinâmicas de temperatura externa. Temperatura máxima que ocorre durante o dia e temperatura mínima durante a noite, com períodos de simulação de meia hora. O perfil de temperatura diária é representado por valores máximos e mínimos usando uma curva sinusoidal.
- Sem vento
- Inclui ganhos solares através dos envidraçados.
- Inclui ventilação mecânica + ventilação natural + infiltrações
- Inclui ganhos internos por ocupantes, iluminação e equipamentos.
- Considera a condução e convecção de calor entre zonas a diferentes temperaturas.

O sistema individual de ar condicionado da MIDEA, modelo MSG-09HRN2, possui uma potência de refrigeração na ordem dos 9000 Btu/h (2,6376 KW), muito aproximado da potência de refrigeração necessária para os gabinetes reservados aos docentes do DEMI. O dimensionamento foi acertado, mas o sistema apresenta uma baixa classe energética (E). A iluminação interior e os equipamentos de escritório são responsáveis pelos maiores ganhos internos, respectivamente com 0,31 kW e 0,41 kW às 14 horas.

Em baixo encontra-se um gráfico representativo da simulação Cooling Design, efectuada a um Gabinete do piso 4, equipado com um sistema “split”, situado no Corpo Norte do Ed.VIII.

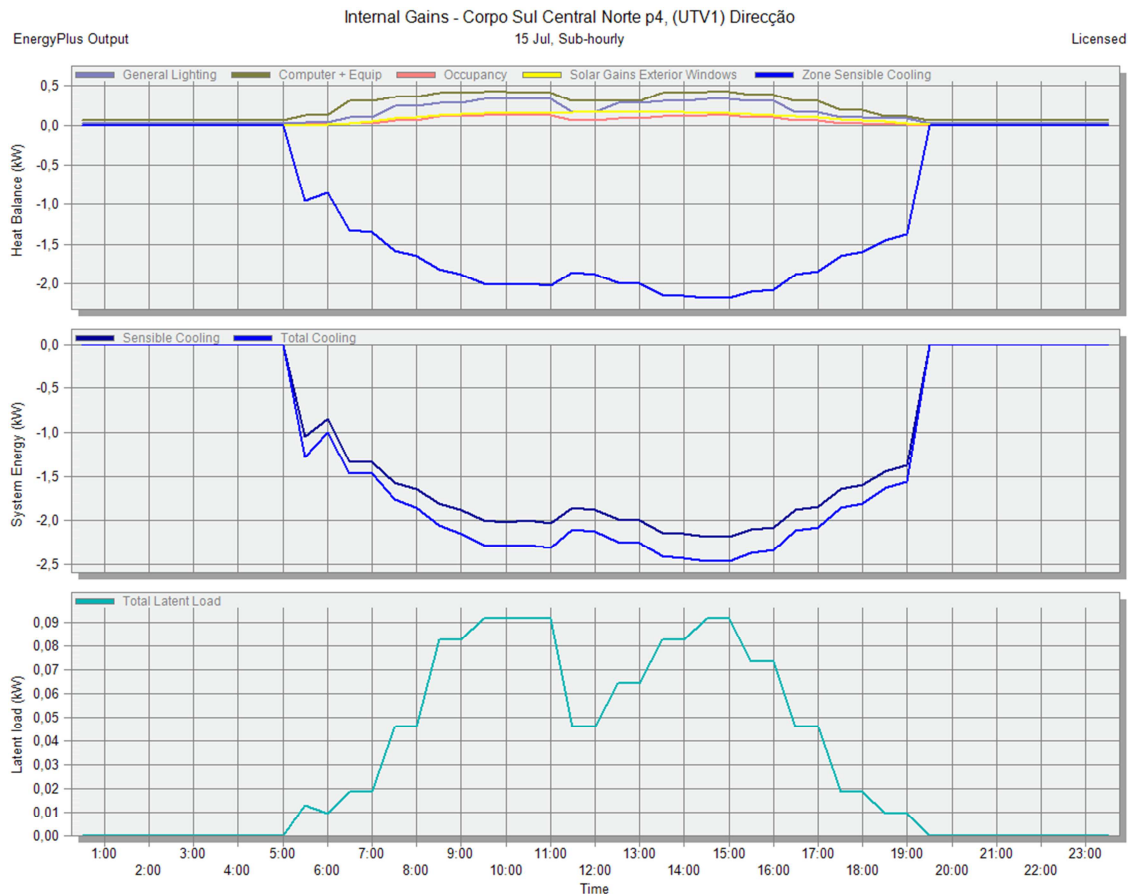


Figura 4-13: Ganhos internos no Gabinete situado no Corpo Norte, piso nº4 (exemplo)

4.10. Simulação anual

A simulação anual é realizada para calcular o consumo específico em condições nominais (IEEnominal). O valor do Indicador de Eficiência Energética nominal será comparado com o valor de referência, seguindo o Artigo 7º - *Requisitos energéticos para os grandes edifícios de serviços existentes* do RSECE. Foram realizadas mais de 60 simulações anuais, por forma a calibrar o modelo com o Ed.VIII do DEMI. A simulação anual irá permitir a obtenção de dados que viabiliza o estudo de novas soluções na gestão energética do edifício, caso seja necessário.

O DesignBuilder é o programa de simulação detalhada, ou seja, faz uma análise multizona do desempenho energético do edifício, devido à complexidade considerável do edifício em causa, cada simulação, com intervalo em dias, demorou aproximadamente 2h40 a concluir. Foram também efectuadas simulações com base horária, em semanas típicas de Inverno e Verão, a fim de verificar as condições de conforto e cada divisão do edifício.

4.10.1. Consumos anuais de energia

Os consumos apresentados são dados em MWh, tanto para o consumo eléctrico como o consumo de Gás Propano usado para aquecimento. Realizada a simulação anual em condições nominais, são obtidos os seguintes dados de consumos desagregados:

Tabela 4-15: Consumos anuais nominais desagregados do Ed.VIII do DEMI.

Ed.VIII	Equipamentos	Iluminação	Aquecimento	Arrefecimento	Bombas	Ventiladores
Electricidade (MWh/ano)	125,93	130,46	-	15,16	1,11	23,15
Gás (MWh/ano)	-	-	138,55	-	-	-

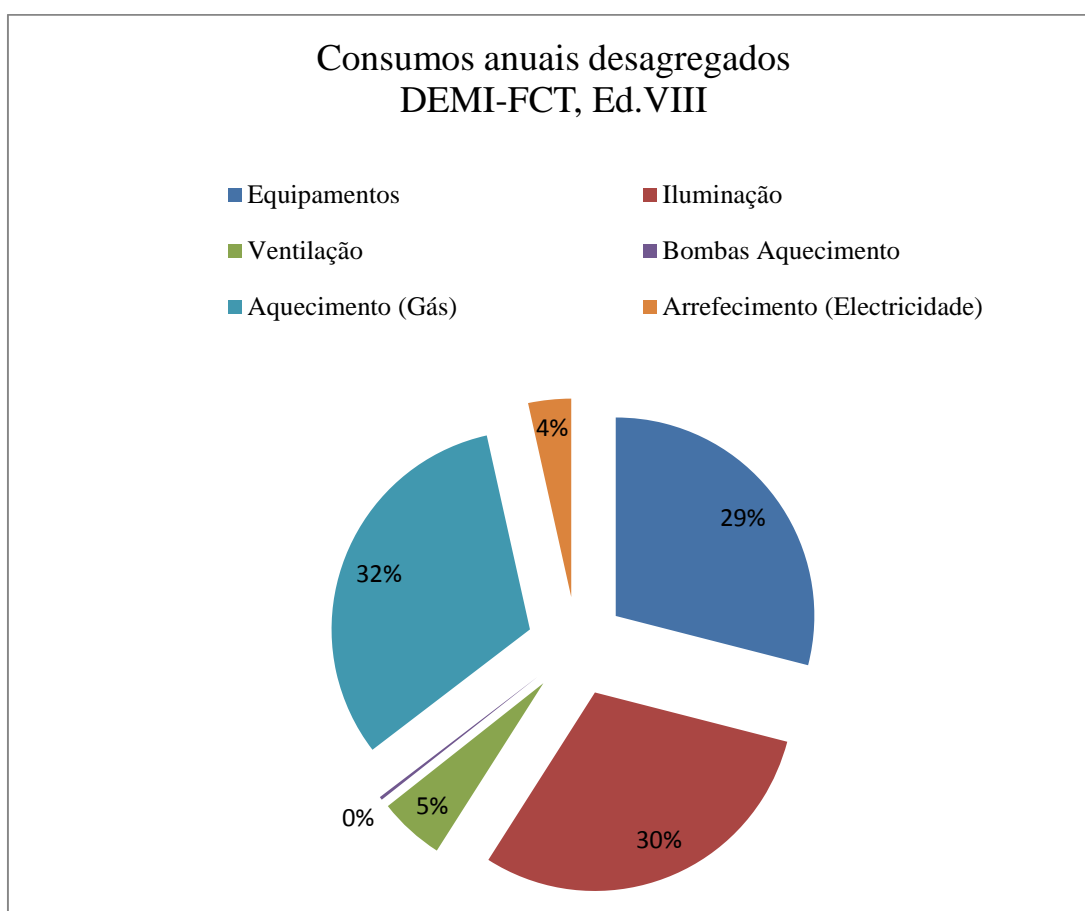


Figura 4-14: Comparação entre consumos anuais nominais desagregados do Ed.VIII do DEMI.

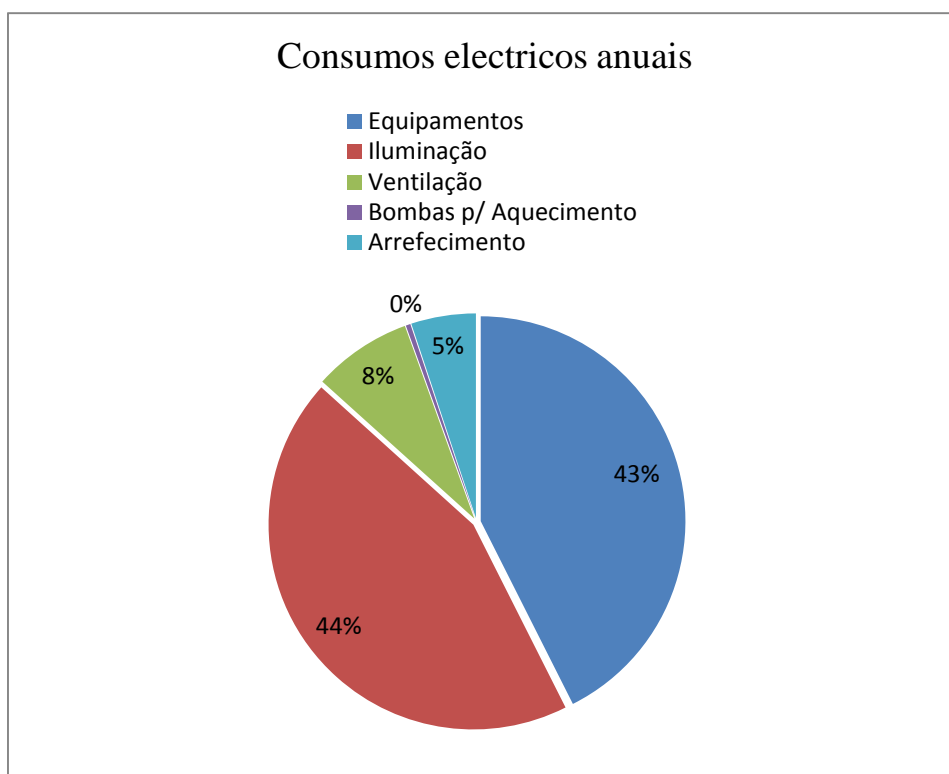
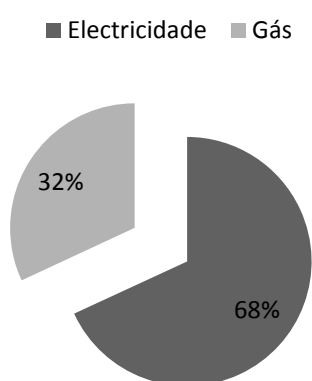


Figura 4-15: Consumos anuais nominais de energia eléctrica no Ed.VIII do DEMI.

Analisando os resultados da simulação dinâmica anual, em condições nominais, verifica-se que o aquecimento alimentado a gás propano é a responsável pela maior percentagem de consumo energético no Ed.VIII, com 32% do consumo total de energia, seguido do consumo de energia para a iluminação, com 30%. Os consumos de energia eléctrica são liderados pela iluminação, representado um total de 44%. É bom lembrar que a potência de iluminação, simulada em condições nominais, é a real.

Consumos Anuais- DEMI-FCT, Ed.VIII



Consumo energético anual

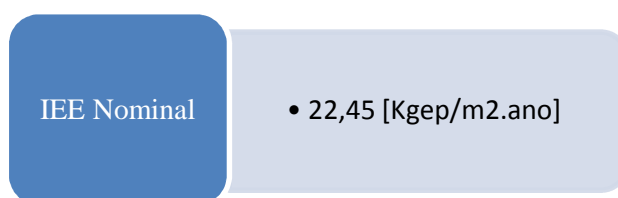
Electricidade – 295,81 (MWh/ano)

Gás – 138,55 (MWh/ano)

(1kg gás propano = 13,5 kW)
(gás propano 1445,31 €/ton)

Tabela 4-16: Consumos anuais nominais, em energia primária do Ed.VIII do DEMI.

Tabela Resumo de Energias Finais	(kgep/ano)
Necessidade de Energia Primária para Aquecimento	12205,78
Necessidade de Energia Primária para Arrefecimento	4426,8
Outras Necessidades de Energia Primária	82829,63



O valor do IEE calculado é superior ao IEE de referencia apresentado no capitulo 3 ($22,45 \text{ kgep}/(\text{m}^2.\text{ano}) > 20,62 \text{ kgep}/(\text{m}^2.\text{ano})$). Como tal é necessario a elaboração de um Plano de Racionalização Energética (PRE). A aplicação do PRE irá permitir reduzir os consumos por forma a cumprir os limites impostos. Antes de apresentar propostas de melhorias energéticas, é necessario analisar e compreender os resultados da simulação dinamica multizona, por forma a definir os pontos criticos de desperdicio enegético do Ed.VIII.

4.10.2. Consumos mensais

Para perceber a constante problemática do edifício em termos de eficiência energética, é necessário realizar uma análise mais profunda, para tal é necessário observar os consumos totais mensais e os consumos desagregados mensais com base na simulação dinâmica nominal.

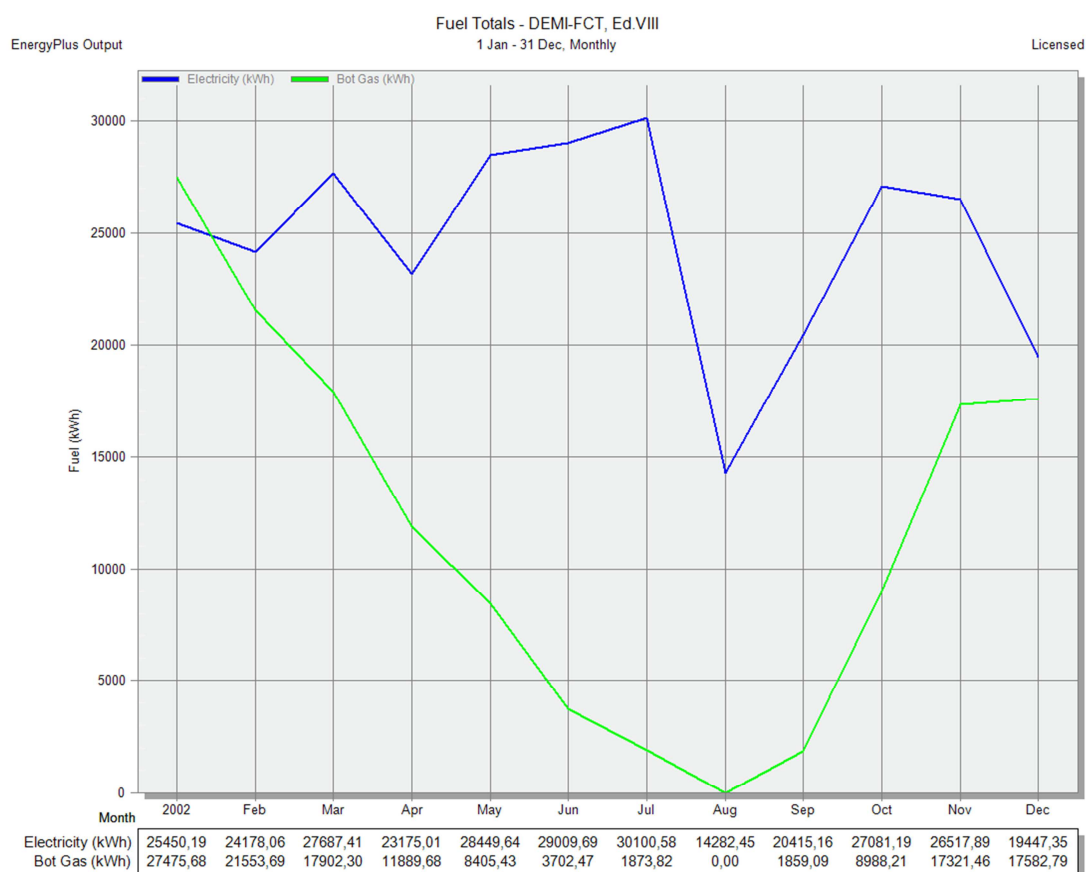


Figura 4-16 - Consumos mensais nominais de energia eléctrica e gás do Ed.VIII do DEMI.

Ao analisar o gráfico de consumos mensais totais, é evidente um pico de energia eléctrica por ano, no mês de Julho. Este mês é coincidente com o mês de “Design Week”, ou seja, meses de maior exigência energética a nível de climatização. Ao contrário do que é verificado nas leituras dos contadores de energia eléctrica, o mês de Agosto é o mês em que existe menos consumo de energia eléctrica, como seria de esperar. O mês de Agosto marca as férias escolares e a pouca presença por parte dos docentes no DEMI. Como tal podemos concluir que as leituras energéticas efectuadas ao longo do ano, são marcadas por uma desfasagem na leitura. Em relação ao pico do mês de Julho é necessário olhar para o gráfico que contem os consumos mensais desagregados de energia ao longo do ano.

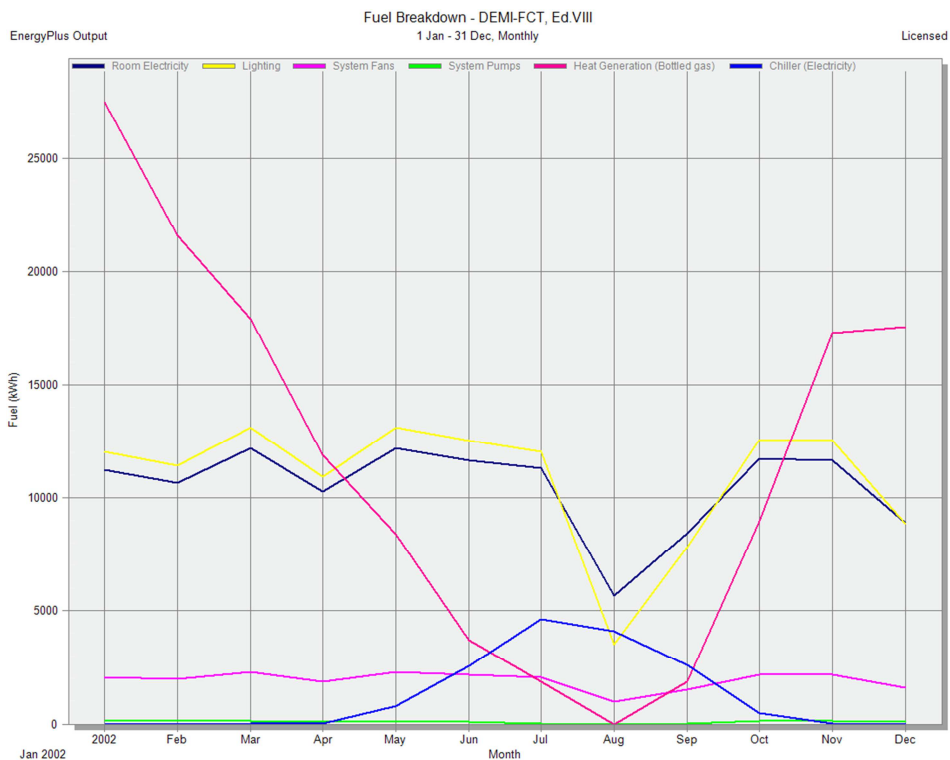


Figura 4-17 – Consumos mensais nominais desagregados do Ed.VIII do DEMI.

O arrefecimento eléctrico, efectuado pelas unidades individuais de ar condicionado instaladas nos gabinetes, são responsáveis pelo pico energéticos ao longo do ano. Estas unidades de tipo “split” contabilizam 4% do consumo total anual do Ed.VIII e 5 % da energia eléctrica anual.

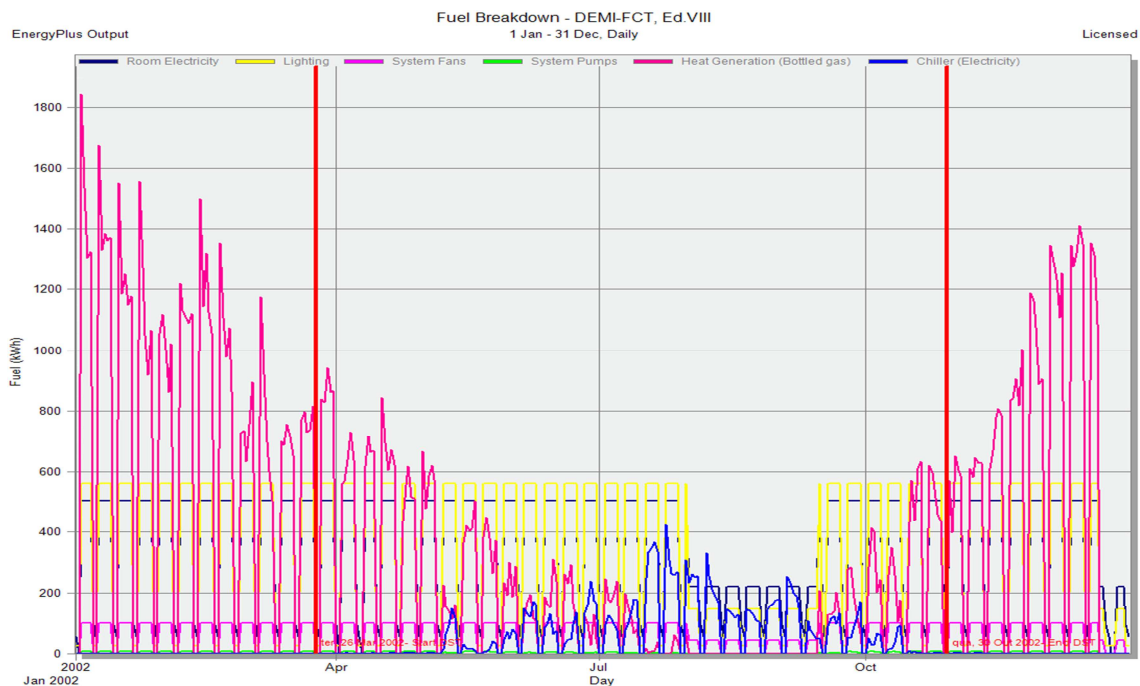


Figura 4-18: Consumos diários nominais desagregados do Ed.VIII do DEMI.

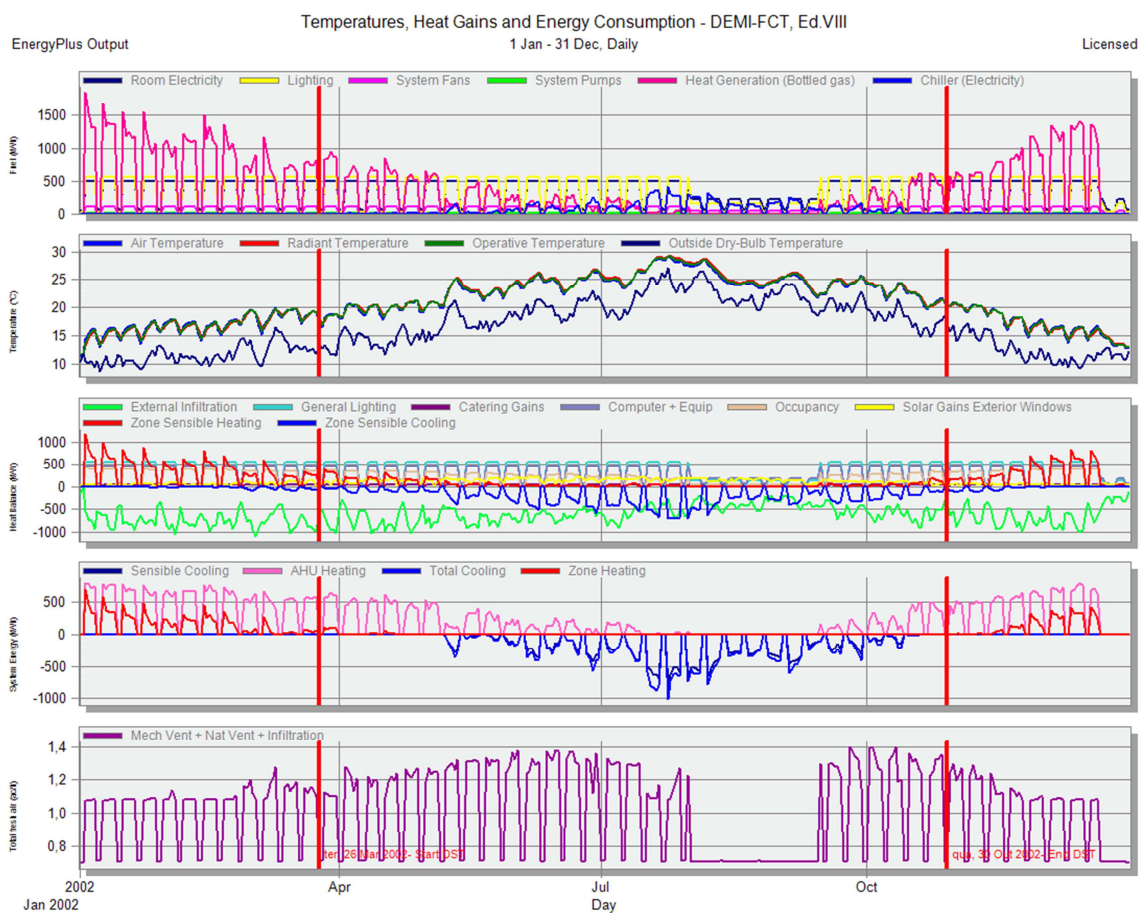


Figura 4-19: Gráfico representativo dos consumos desagregados de energia (vários), variação de temperatura, balanços energéticos, energia do sistema AVAC e trocas de ar.

5. Soluções de racionalização energética

O Plano de Racionalização Energética (PRE) é o conjunto de medidas de racionalização energética, elaborado na sequência do não cumprimento das normas impostas pelo RSECE após a elaboração da auditoria energética. Destina-se a reduzir os consumos específicos para valores inferiores ao limite máximo estabelecido pelo valor de referência, da tipologia em causa.

Verificou-se que a simulação dinâmica com perfis nominais, o *IEE Nominal* é superior ao *IEE Referencia Existente*. Como tal é necessário implementar um Plano de Racionalização Energética seguindo o Artigo 31º do RSECE. O Artigo 7º do RSECE estabelece que as medidas que apresentem viabilidade económica aceitável, são de execução obrigatória (alínea 5), para tal é apresentado um método de cálculo do período de retorno para as medidas de eficiência energética no Anexo XIII, do mesmo decreto de lei.

A viabilidade económica das medidas de eficiência energética, para efeitos do RSECE, é calculada através do parâmetro “período de retorno simples” (PRS), cuja definição é a seguinte:

$$PRS = \frac{C_a}{P_l}$$

Ca - custo adicional de investimento, calculado pela diferença entre o custo inicial da solução base, isto é, sem a alternativa de maior eficiência energética, e o da solução mais eficiente, estimada aquando da construção do sistema, com base na melhor informação técnica e orçamental ao dispor do projectista.

Pl - poupança anual resultante da aplicação da alternativa mais eficiente, estimada com base em simulações anuais, detalhadas ou simplificadas do funcionamento do edifício e seus sistemas energéticos, conforme aplicável em função da tipologia e área útil do edifício, nos termos do presente regulamento, da situação base e da situação com a solução mais eficiente.

O reservatório de distribuição de gás propano situado no campus da UNL-FCT, é abastecido a granel pela RepsolGás, com um custo de 1175,05 €/Tm (+IVA). A energia eléctrica contratada à EDP é de Média Tensão, com tarifa de Longa Utilização. A tarifa de Longa Utilização está dividida por trimestres, que são geridos por quatro períodos horários distintos (Horas de ponta, Horas cheias, Horas de vazio normal, Horas de super vazio).

Preço da energia activa	Período trimestral	Período horário	EUR/kWh
Tarifa de longas utilizações	I e IV	Horas de ponta	0,1191
		Horas de cheias	0,0911
		Horas de vazio normal	0,0579
		Horas de super vazio	0,0541
	II e III	Horas de ponta	0,1229
		Horas de cheias	0,0937
		Horas de vazio normal	0,0602
		Horas de super vazio	0,0560

Para os cálculos de gastos e poupanças, foi tido em conta o período de “Horas de cheias”, visto este representar maior parte do dia de trabalho no Ed.VIII. O maior custo associado às “Horas de Ponta” é compensado pelo menor valor de custo energético das “Horas de Vazio Normal” e “Horas de Super Vazio”.

5.1. PRE1 – Substituição dos balastros das iluminarias

A lâmpada de descarga é um dispositivo electrónico quer permite transformar energia eléctrica em energia luminosa. Para este tipo de lâmpadas é necessário um componente, chamado balastro, que tem como função pré-aquecer o eléctrodo que provoca a emissão de electrões, produzir a tensão de arranque para iniciar a descarga e limitar a corrente de funcionamento a um valor correcto.

Podem existir balastros do tipo electromagnético ou electrónico.

Os balastros electromagnéticos dissipam calor, desequilibram o factor de potência da instalação originando energia reactiva e provocam diversos efeitos indesejáveis. Por estas razões houve necessidade de abandonar esta tecnologia e utilizar outra mais eficiente. [24]

Uma das medidas da UE em resposta ao protocolo de Quioto foi a melhoria do consumo específico dos aparelhos de iluminação fluorescente. Os balastros de fontes de iluminação fluorescente são considerados responsáveis por uma parte significativa do consumo de electricidade, como tal é importante estabelecer requisitos de eficiência energética. O Decreto-Lei nº 327/2001 "Diário da República 2001", estabeleceu a exclusão dos balastros electromagnéticos de menor eficiência, até ao ano de 2005. Os balastros de classe D, de maior consumo energético, deixaram de poder ser utilizados a partir de 20 de Maio de 2002 e desde de Novembro de 2005 passou a ser proibida a venda dos balastros de classe C.

As principais vantagens dos balastros electrónicos, relativamente aos electromagnéticos são:

- Aumento do rendimento luminoso;
- Eliminação do flicker: numa lâmpada funcionando a 50 Hz a luz extingue-se duas vezes por ciclo na passagem da corrente por zero. Isto produz o flicker, o qual provoca cansaço visual, assim como o efeito estroboscópico, com efeitos potencialmente perigosos no caso de existirem máquinas rotativas. Com o funcionamento da lâmpada a alta frequência a emissão de luz é contínua, eliminando-se o flicker;
- Eliminação do ruído audível: como os balastros electrónicos 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;
- Menor potência absorvida: um balastro electrónico consome menos potência e portanto dissipa menos calor do que um balastro magnético convencional. Esta redução de potência é possível porque: a alta frequência, a lâmpada pode funcionar a uma potência mais baixa, com a mesma emissão de fluxo; as perdas num balastro electrónico são muito menores do que as perdas num balastro magnético. Podem conseguir-se reduções de custo da energia de 20 a 25%;
- Aumento da duração de vida da lâmpada: um balastro electrónico efectua um pré-aquecimento dos eléctrodos antes de aplicar um impulso controlado de tensão,

diminuindo o desgaste do material emissor de electrões dos eléctrodos. Isto aumenta a duração de vida da lâmpada;

- Controlo versátil do fluxo luminoso: existem balastros electrónicos que permitem a regulação do fluxo luminoso. Isto permite uma poupança considerável de energia nas situações em que a iluminação está ligada a um sistema de controlo automático;
- Diminuição de peso e de tamanho;
- Não necessitam de equipamento para compensação do factor de potência.

[Armando Teixeira, 24]

Para o PRE 1, os balastros electromagnéticos de classe B2, instalados nas luminárias EURO300 e de régua, foram substituídos por balastros electrónicos. Esta substituição permite uma poupança de potência absorvida na ordem dos 18,84%/luminária. A substituição dos balastros afecta 490 luminárias presentes no Ed.VIII.

Tabela 5-1: Comparação do consumo de energia (lâmpada + balastro) entre diferentes sistemas de balastros.

Extensão	Balastro Electromagnéticos (W)	Balastro Electrónico (W)
2x36	86	69,8

Após nova simulação, o IEE nominal obtido para este Plano de Racionalização Energética é de 21,35 kgep/(m².ano), pelo que a medida apresentada não é suficiente para tornar o edifício regulamentar (IEE referencia = 20,62 kgep/(m².ano)).

Os resultados da medida proposta são:

Tabela 5-2: Consumos anuais de energia desagregados, após a substituição dos balastros nas luminárias.

	Ed.VIII Nominal (MWh)	Ed.VIII PRE1 (MWh)	Poupança (MWh)	%
Equipamentos	125,93	125,93	0	0,00%
Iluminação	130,46	113,74	-16,72	-12,82%
Ventilação	23,15	23,09	-0,06	-0,26%
Bombas	1,11	1,12	0,01	0,90%
Aquecimento (gás propano)	138,55	142,77	4,22	3,05%
Arrefecimento (electricidade)	15,16	14,29	-0,87	-5,74%
Total (electricidade)	295,81	278,17	-17,64	-5,96%
Total (gás propano)	138,55	142,77	4,22	3,05%

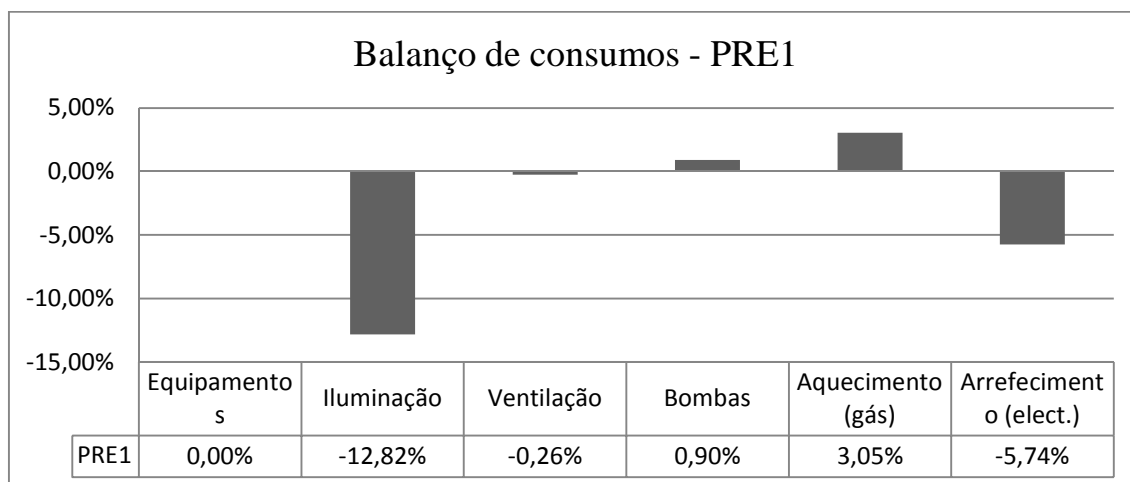


Figura 5-1: Gráfico comparativo entre os consumos de energia anuais nominais após a substituição dos balastos nas luminárias.

Analisando os dados resultantes da simulação anual do Ed.VIII, em condições nominais com o PRE1, verifica-se uma redução significativa no consumo de electricidade relativamente à iluminação, menos 16,72 MWh (-12,82%). Como o balastro electrónico consome menos potência, dissipa menos calor, isto resulta numa necessidade de aquecimento na estação de inverno para atingir o setpoint de temperatura (20°C), ou seja, há um aumento de consumo

energético relativamente ao aquecimento. O contrário ocorre na estação de Verão, como existe menor carga térmica nas divisões, o setpoint de temperatura (25°C) é atingido com menor consumo eléctrico nas divisões equipadas com sistemas split.

A viabilidade do PRE1 só poderá ser avaliada analisando o balanço dos custos associados às poupanças e aumentos de consumos de energia. Em baixo são comparados os gastos energéticos da simulação anual nominal com os gastos da simulação PRE1 nominal.

Tabela 5-3: Poupança advinda da substituição dos balastos das luminárias.

Custos	Ed.VIII Nominal	Ed.VIII PRE1 (€)	Poupança
Total (electricidade)	27325,01 €	25697,2 €	- 1627,81 €
Total (gás propano)	14833,66 €	15285,1 €	+ 451,49 €
Poupança Total			- 1176,33 €



O IEE de referencia (20,62 kgep/(m2.ano)) continua a ser superior ao IEE nominal calculado. O Plano de Racionalização Energética proposto verifica-se não ser suficiente para tornar o Ed.VIII do DEMI regulamentar. É necessário encontrar medidas alternativas ou complementares para um PRE que integre medidas com viabilidade técnico-económica.

5.2. PRE2 – Pressurização do edifício

Se a pressão (estática) do ar no interior do local for superior à pressão do ar junto às fachadas (incluindo aquelas em que esta a incidir o vento), não haverá infiltrações, podendo existir ar da sala que saia para o exterior através de frinchas de janelas ou portas. [livro]

Para que as infiltrações possam ser desprezadas é necessário que a diferença entre o caudal de insuflação e o caudal de extracção seja superior a $0,25 \text{ h}^{-1}$ no presente caso (Classe de Exp.2). Em termos de caudais significa que o caudal de insuflação terá de ser superior $4446 \text{ m}^3/\text{h}$ em relação ao caudal de extracção ($V_{\text{ins}} - V_{\text{ev}}$). Tendo em conta os caudais de ar em projecto, verifica-se que o edifício encontra-se em depressão. Em consequência, há a necessidade de diminuir a o caudal de extracção de $72240 \text{ m}^3/\text{h}$ para $62744 \text{ m}^3/\text{h}$. Esta medida previne a entrada do ar exterior não tratado através de infiltrações para o interior do edifício, reduzindo a carga térmica do edifício, e o consumo de energia durante o Inverno.

A solução pode passar pela instalação de ventiladores individuais nas zonas sanitárias, equipados com relés temporizados de modo a garantir a extracção contínua de ar, durante a utilização da zona em causa, e algum tempo após se desligar as luzes da mesma. O relé alimenta o extractor quando a luz da casa de banho é ligada, quando a luz é desligada, o relé continua a manter a ventilação em funcionamento durante um tempo parametrizado. Esta solução é aconselhada principalmente em zonas de menor uso, continuando a garantir a extracção do ar contaminado por maus cheiros e humidade (zonas sanitárias). Em outras zonas equipadas com ventiladores extractores, como os laboratórios, a ventilação deve ser racionalizada de modo a evitar perdas de calor pelo ar extraído, e perdas de pressão no edifício. Uma vez que estes espaços têm pouco uso para experiencias que libertem agentes poluentes, prejudiciais aos ocupantes, não se justifica a extracção contínua de grandes caudais de ar.

Desta forma é possível manter o Ed.VIII sobre pressão, e prevenindo gastos desnecessários de energia.

Tabela 5-4: Consumos anuais de energia desagregados, após submeter o Ed.VIII sobrepressão.

	Ed.VIII Nominal (MWh)	Ed.VIII PR1 (MWh)	Poupança (MWh)	%
Equipamentos	125,93	125,93	0	0,00%
Iluminação	130,46	130,46	0	0,00%

Ventilação	23,15	18,72	-4,43	-19,14%
Bombas	1,11	0,97	-0,14	-12,61%
Aquecimento (gás propano)	138,55	96,61	-41,94	-30,27%
Arrefecimento (electricidade)	15,16	20,89	5,73	37,80%
Total (electricidade)	295,81	296,97	1,16	0,39%
Total (gás propano)	138,55	96,61	-41,94	-30,27%

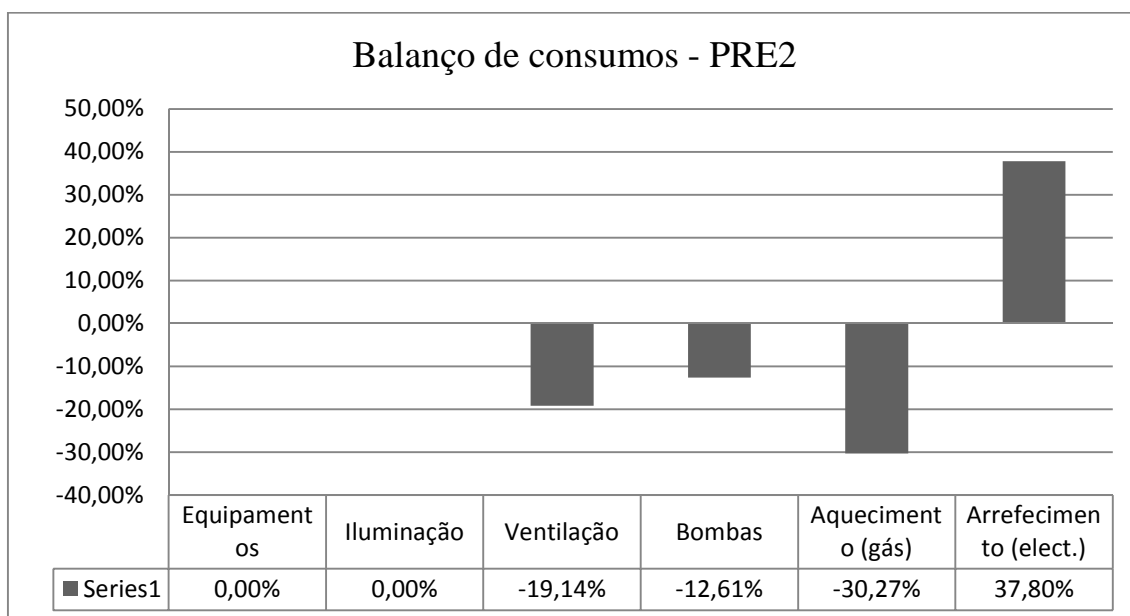
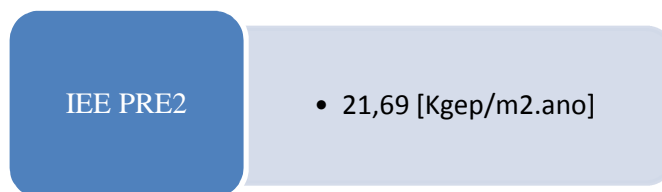


Figura 5-2: Gráfico comparativo entre os consumos de energia anuais nominais após submeter o Ed.VIII sobrepressão.

Tabela 5-5: Poupança relativa à pressurização do Ed.VIII.

Custos	Ed.VIII Nominal	Ed.VIII PRE2	POUPANÇA
Total (electricidade)	27325,01 €	27437,89 €	112,87 €
Total (gás propano)	14833,66 €	10342,72 €	- 4490,94 €
Poupança Total			- 4378,06 €



O Plano de Racionalização Energética proposto, apesar de revelar uma extrema poupança a nível financeiro, revela-se insuficiente para tornar o Ed.VIII do DEMI regulamentar, o IEE de referência continua a ser inferior ao IEE nominal calculado pela simulação dinâmica detalhada.

5.3. PRE 1 + PRE 2

Não sendo os Planos de Racionalização Energética suficientes de forma isolada, para tornar o Ed.VIII do DEMI regulamentar, é necessária a conjugação dos dois PRE apresentados anteriormente. Os resultados da simulação em condições nominais, após a aplicação dos dois PRE são:

Tabela 5-6: Consumos anuais de energia desagregados, após a substituição dos balastos das luminárias e pressurização do Ed.VIII.

	Ed.VIII Nominal (MWh)	Ed.VIII PRE1 (MWh)	Poupança (MWh)	%
Equipamentos	125,93	125,93	0	0,00%
Iluminação	130,46	113,28	-17,18	-13,17%
Ventilação	23,15	18,43	-4,72	-20,39%
Bombas	1,11	0,97	-0,14	-12,61%
Aquecimento (gás propano)	138,55	98,02	-40,53	-29,25%
Arrefecimento (electricidade)	15,16	19,76	4,6	30,34%

Total (electricidade)	295,81	278,37	-17,44	-5,90%
Total (gás propano)	138,55	98,02	-40,53	-29,25%

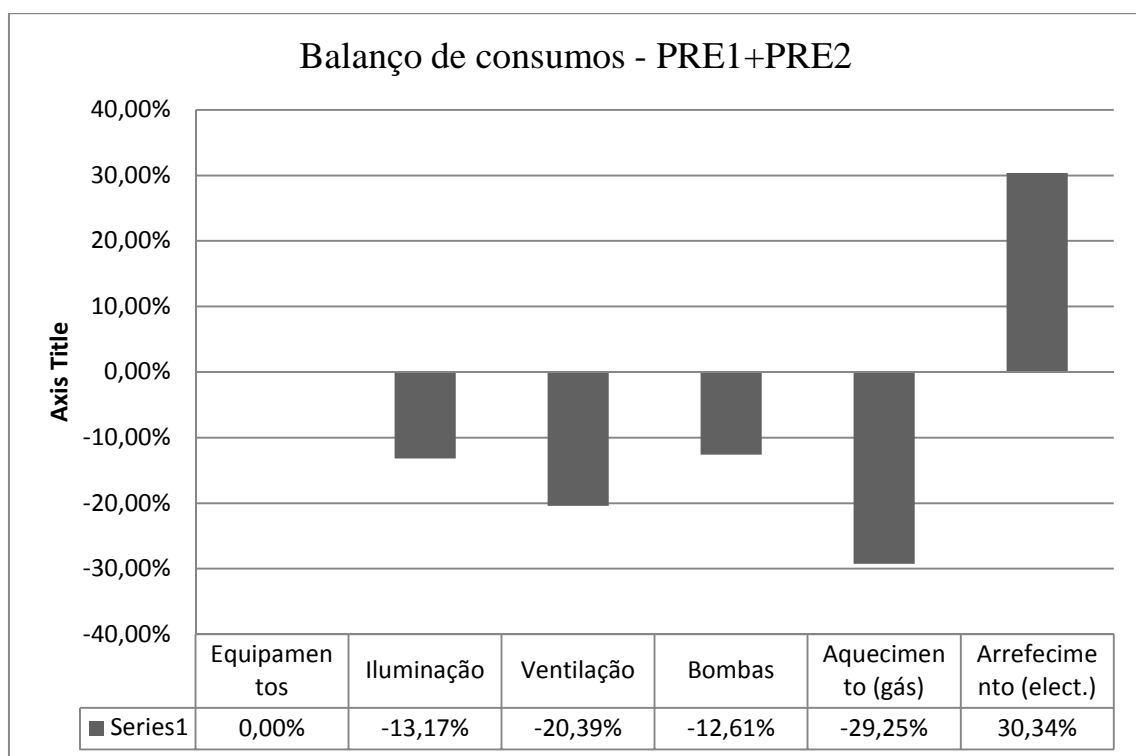


Figura 5-3: Gráfico comparativo entre os consumos de energia anuais nominais após a substituição dos balastos das luminárias e da pressurização do Ed.VIII.

Custos	Ed.VIII Nominal	Ed.VIII PRE1 + PRE2 (€)	Poupança
Total (electricidade)	27325,01 €	25763,3 €	- 1561,75 €
Total (gás propano)	14833,66 €	10493,5 €	- 4340,17 €
Poupança Total			- 5901,91 €

Tabela 5-7: Poupança relativa à substituição dos balastos das luminárias e pressurização do Ed.VIII



IEE PRE1 +
PRE2

• 20,52 [Kgep/m2.ano]

O Ed.VIII do DEMI, após a aplicação do PRE1 para substituição dos balastros das luminárias e do PRE2 para regulação da pressão interior do edifício, encontra-se assim regulamentar com um IEE nominal inferior a 20,62 kgep/m2.ano do IEE de referência estabelecido inicialmente.

5.3.1. Análise económica das medidas propostas

Para verificar a viabilidade económica das medidas de eficiência energética, para efeitos do RSECE, é necessário calcular o Período de Retorno Simples (PRS). (RSECE, Art.32º, alínea 1) AS medidas com viabilidade económica são aquelas que têm um período de retorno simples igual ou inferior a 8 anos.

Foram solicitados 3 orçamentos e uma consulta de catálogo de preços para o custo dos balastros electrónicos. Foi escolhido o preço mais competitivo para efeitos de verificação do PRS. O custo de mão-de-obra para a instalação dos balastros, foi consultado na apresentação “Eficiência Energética e Desenvolvimento Sustentável – O sector dos edifícios; Luís Malheiro”, que apresenta um caso semelhante.

- Balastro electrónico ELXc T8 2X36W 188705;
Preço: 6,25€ Unit. + IVA
TOTAL: 3766,88 € (IVA 23%)

(Proposta: CAIADO – Distribuidor de Material Eléctrico S.A.; Filipa Gomes – 14/02/2012 12:40)

Mão de mão-de-obra para substituição dos balastros: 6,18€ por luminária.
(valor estimado por “Exemplo de um centro comercial – substituição de balastros ferromagnéticos por electrónicos”; Luís Malheiro – Eficiência energética e desenvolvimento sustentável)

- Regulação dos caudais de ar do sistema AVAC = (n.d) €

$$PRS = \frac{(490 \text{ luminarias} \times (6,25\text{€} + IVA + 6,18\text{€})) + (\text{regulação AVAC } \text{€})}{5901,91 \text{ €}} < 8 \text{ anos}$$

$$\text{regulação AVAC } \text{€} < 40420,2 \text{ €}$$

As medidas de melhoria propostas revelam viabilidade tecno-económica, considerando o custo de regulação do sistema AVAC instalado no DEMI, nunca ultrapassar os 40 mil euros.

5.4. Outras formas de poupar energia

5.4.1. Sistema AVAC VAC equipado com Reheat

O sistema de conduta simples com Volume de Ar Constante (VAC), como o nome indica, o caudal de ar a insuflar é constante sendo a temperatura da zona regulada pelas condições do ar insuflado. As zonas que a UTV climatiza, controla a temperatura do ar de uma forma global, e não de uma forma local. O controlo de temperatura é feito através de leituras das condições do ar de retorno à UTV. Esta situação cria um baixo nível de controlo nas condições de conforto em cada zona, havendo assim um desperdício de energia aliado ao facto de não existirem as condições ideais de conforto na maior parte do tempo.

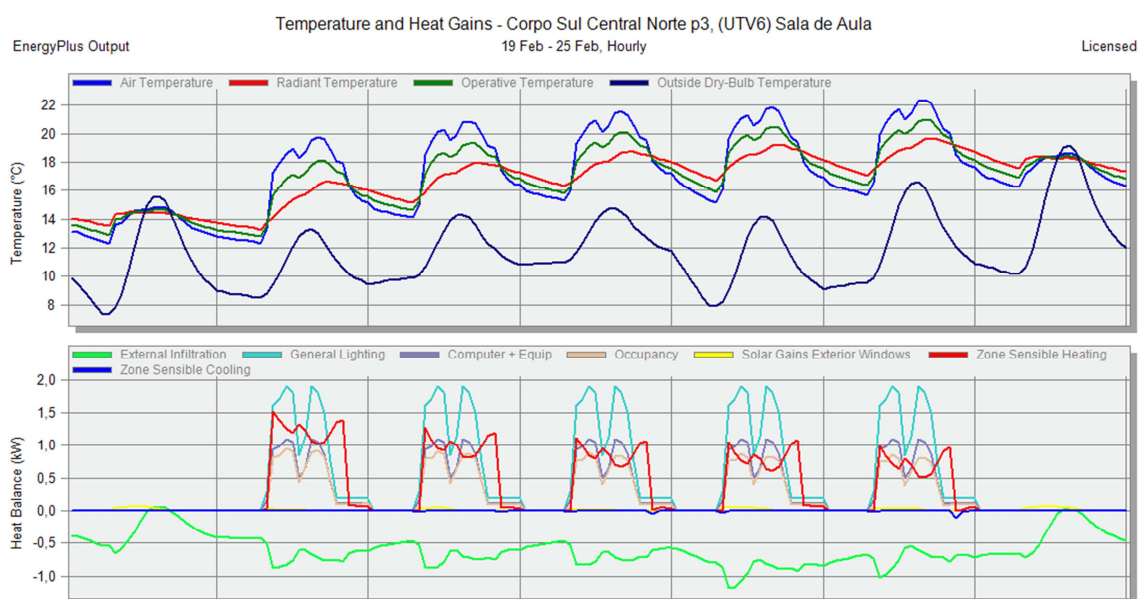


Figura 5-4: Gráfico representativo da variação de temperatura ao longo de uma semana na Sala de aula (UTV6), e balanço energético.

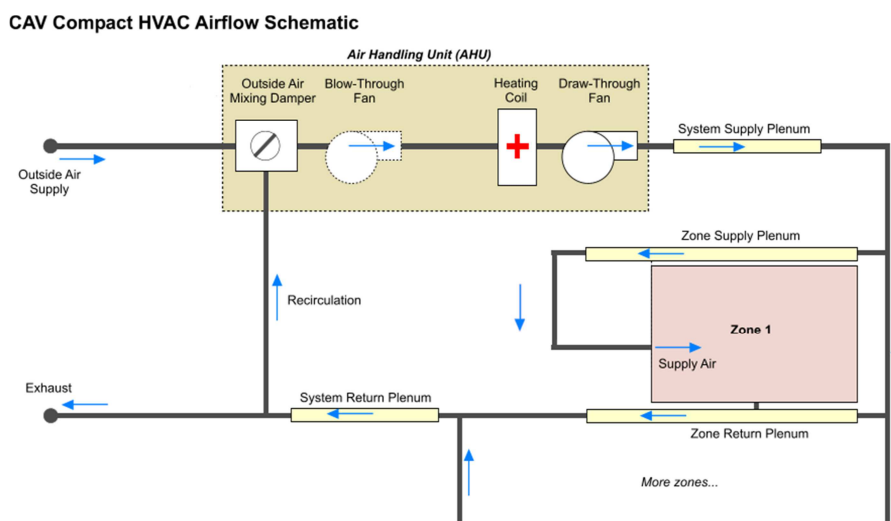


Figura 5-5: Esquema do sistema VAC instalado no Ed.VIII do DEMI.

Uma das soluções possíveis para aproveitar o sistema já existente, pode ser a instalação de um sistema Reheat, que irá permitir o controlo da temperatura em cada zona. O controlo do caudal insuflado nas salas é efectuado a nível local, em cada zona, através do controlo de temperatura.

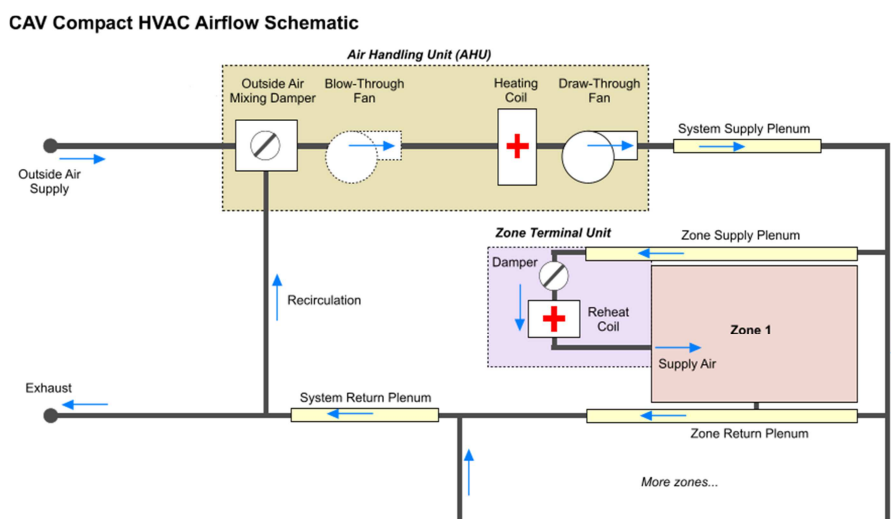


Figura 5-6: Adaptação do sistema VAC instalado no Ed.VIII do DEMI com um sistema Reheat.

Após uma simulação durante uma semana típica de Inverno (Figura 5-7), podemos verificar que o controlo de temperatura nas zonas é muito maior comparativo ao sistema instalado. Este controlo permite não apenas atingir os setpoints desejados em cada zona, como permite eliminar o desperdício energético com as oscilações de cargas térmicas em cada zona.

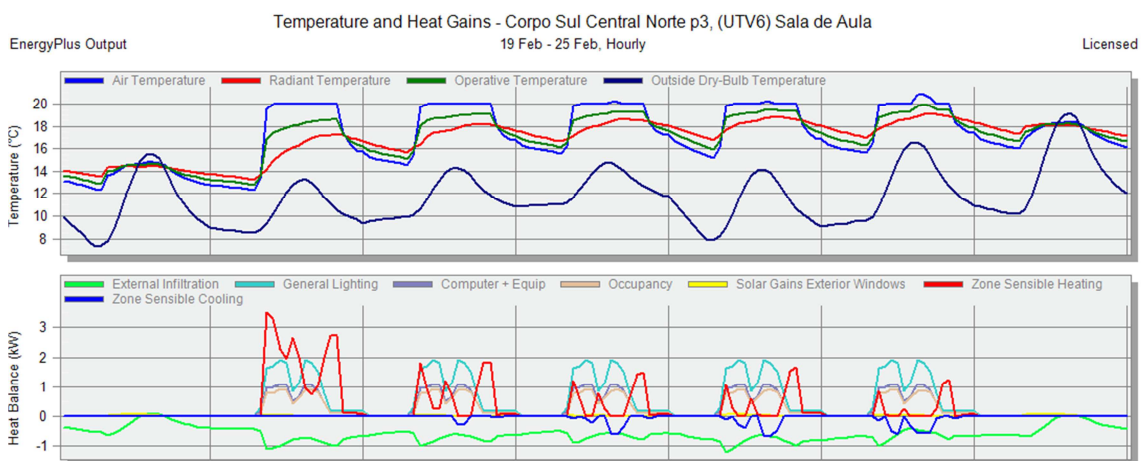


Figura 5-7: Gráfico representativo da variação de temperatura ao longo de uma semana na Sala de aula (UTV6) e balanço energético, após a instalação de um sistema Reheat.

Tabela 5-8: Consumos anuais de energia desagregados, após a instalação do sistema Reheat.

	Ed.VIII NOMINAL (MWh)	Ed.VIII PRE 3 (MWh)	Poupança (MWh)	Poupança %
Equipamentos	125,93	125,93	0	0,00%
Iluminação	130,46	130,46	0	0,00%
Ventilação	23,15	23,15	0	0,00%
Bombas	1,11	1,83	0,72	64,86%
Aquecimento (gás)	138,55	98,02	-40,53	-29,25%
Arrefecimento (elect.)	15,16	15,03	-0,13	-0,86%

Total (elect.)	295,81	296,4	0,59	0,20%
Total (gás)	138,55	98,02	-40,53	-29,25%

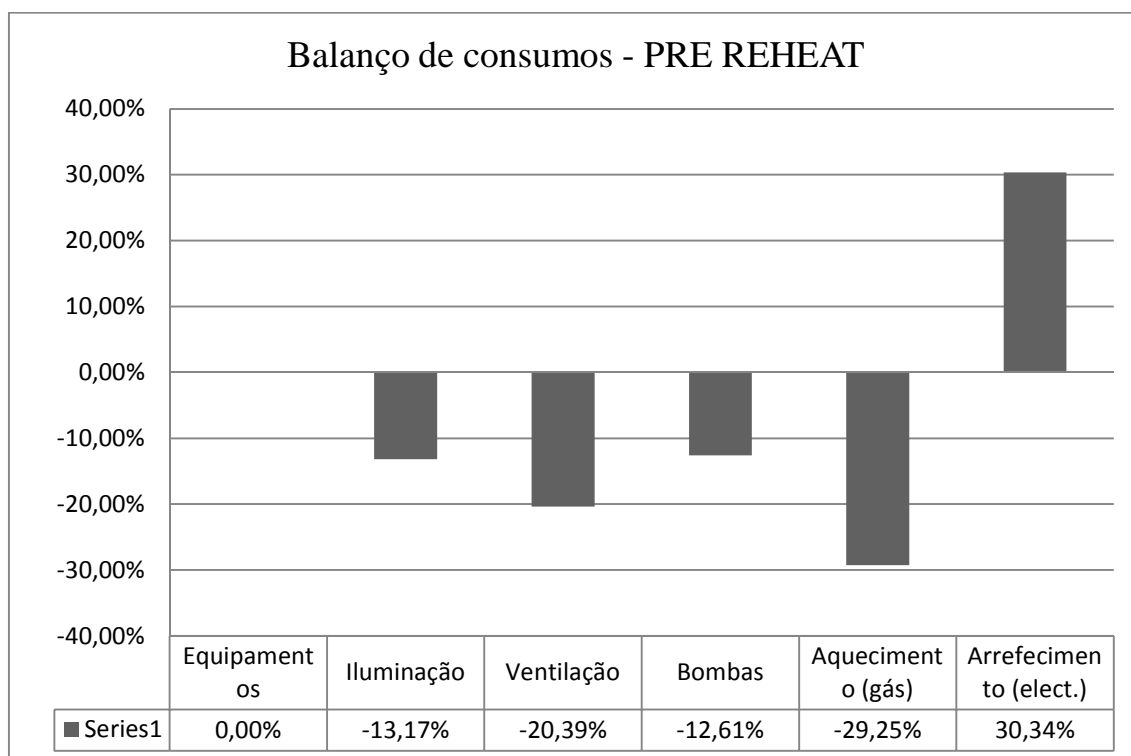


Figura 5-8: Gráfico comparativo entre os consumos de energia anuais nominais após a instalação de um sistema Reheat.

Tabela 5-9: Poupança relativa à instalação de um sistema Reheat.

Custos	Ed.VIII Nominal	Ed.VIII PRE2	POUPANÇA
Total (electricidade)	27325,01 €	27378,55 €	53,54 €
Total (gás propano)	14833,66 €	10494,09 €	- 4339,57 €
Poupança Total			- 4286 €

A adoção de um sistema Reheat permitiria poupar aproximadamente 4286 €, muito devido à poupança em Gás Propano para o aquecimento ambiente. Com esta medida, o Ed.VIII passaria de um consumo de 22,45 kgep/m²ano, em termos de energia primária, para 21,78 kgep/m²ano.

5.4.2. Controlo do fluxo eléctrico

Medida de poupança indirecta.

A ausência de facturas de energia eléctrica e de consumos relativos ao gás propano, dificulta muito o diagnóstico da eficiência energética realizada a um edifício. Com vista a um maior rigor ao nível de poupança energética, é fundamental a instalação de um contador de energia eléctrica no Ed.VIII por forma a compreender as razões e a proveniência dos elevados consumos. A Schneider Electric, no catálogo “Guia de soluções de eficiência energética”, propõe a instalação de um contador de energia eléctrica (kW/h) do tipo EN40, de forma a medir os consumos de diferentes cargas (AVAC, equipamentos, iluminação, etc.). A futura monitorização regrada é fundamental para a implementação de acções específicas na redução dos consumos de energia eléctrica.

6. Conclusão

A envolvente do Ed.VIII do DEMI, em função da solução construtiva adoptada, revela-se bastante positiva. Possui uma boa constituição a nível da envolvente externa e interna, o que permite baixas perdas de energia. O elemento mais fraco na constituição do edifício são os envidraçados, uma vez que são responsáveis pelas maiores perdas de energia na estação de aquecimento. Na estação de arrefecimento não se revelam críticos por possuírem bom sombreamento, proporcionado por palas na envolvente e estores exteriores. A substituição dos envidraçados de vidro simples por vidro duplo seria uma mais-valia para o edifício.

O grande problema energético do edifício, e o que requer maior atenção, centra-se na iluminação e na climatização na estação de aquecimento.

A iluminação apresenta um grande desperdício energético ao longo do ano. As luminárias estão equipadas com elementos eléctricos de baixa classe energética, consumindo energia eléctrica desnecessária. A solução correctiva passa pela substituição dos balastros ferromagnéticos, que equipam as luminárias de lâmpadas TLD, por balastros electrónicos de baixo consumo. Esta medida permite uma poupança de electricidade na iluminação na ordem dos 13%. Ainda é possível a melhoria na eficiência nas luminárias de régua instaladas nos laboratórios e armazéns, com a instalação de lâmpadas reflectoras (Reflex) de forma a redireccionar a luz para baixo, não sendo esta afectada por a acumulação de poeiras típicas das zonas descritas.

O sistema mecânico de climatização revela-se pouco eficiente tanto a nível energético, consumindo muita energia para o aquecimento do edifício, como a nível do conforto dos ocupantes. Parte do problema do desperdício energético no sistema de climatização, está no facto do edifício se encontrar em depressão. A consequência de existir um caudal bastante superior de ar extraído em relação ao caudal de ar insuflado, cria condições de infiltrações de ar exterior não tratado, havendo necessidade de um maior nível acrescido de energia para o aquecimento. A solução pode passar pela instalação de ventiladores extractores, equipados com relés temporizados, nas instalações sanitárias, e a racionalização dos ventiladores extractores existentes nos laboratórios e armazéns. Esta medida tem um potencial de poupança de gás propano na ordem dos 30%. No que diz respeito ao conforto dos ocupantes, este pode ser melhorado com a instalação de um sistema Reheat no sistema de climatização existente (VAC). Esta medida não só permite atingir os setpoints de temperatura desejados em cada zona, como tem um potencial de poupança em gás propano na ordem dos 29% em relação ao presente

sistema. Com a escalada abrupta do preço do petróleo, são medidas que cada vez mais fazem sentido.

Antes da aplicação de qualquer uma das medidas descritas, é aconselhável a adopção de medidas de poupança de energia indirectas. Estas consistem na instalação de um contador para o caudal de gás propano usado na climatização do edificio, e a instalação de um equipamento no quadro eléctrico relativo ao Ed.VIII, de forma a medir os consumos de diferentes cargas (AVAC, equipamentos, iluminação, etc.) ao longo de um ano com elevada exactidão. 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 pelo Ed.VIII do DEMI.

Bibliografia

- [1] Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 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] Agência para a Energia (ADENE). Perguntas & Respostas sobre o SCE, Versão 1.2, Março de 2009.
- [5] Agência para a Energia (ADENE). Perguntas & Respostas sobre o RSECE-Energia, Versão 2.0, Maio de 2011.
- [6] Agência para a Energia (ADENE). Perguntas & Respostas sobre o RSECE-QAI, Versão 2.0, Maio de 2011.
- [7] Agência para a Energia (ADENE). Perguntas & Respostas sobre o RCCTE, Versão 2.0, Maio de 2011.
- [8] Agência para a Energia (ADENE). Perguntas & Respostas sobre a certificação de Edifícios Existentes no âmbito do RCCTE, Versão 1.0, Novembro de 2009.
- [9] Susana Camelo, Carlos Pina dos Santos, Álvaro Ramalho, Cristina Horta, Hélder Gonçalves, Eduardo Maldonado. Manual de apoio à aplicação do RCCTE. INETI Lisboa 2006
- [10] Hélder Gonçalves, Susana Camelo. Manual de aplicação do RSECE. INETI Lisboa 2006.
- [11] Carlos dos Santos, Luís Matias. Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – ITE 50. LNEC Lisboa 2006
- [12] Documento de referência sobre a versão portuguesa do DesignBuilder 2 - Setup Inicial, Guia de Utilização e Notas. Natural Works v.13/07/2011.
- [13] DesignBuilder 2.1 User's Manual. DesignBuilder Software 2009.
- [14] Direcção Geral de Energia (DGE). Eficiência Energética nos Edifícios. Fevereiro de 2002.
- [15] Agência para a Energia (ADENE). Guia prático da eficiência energética. EDP – Energias de Portugal, S.A. Junho de 2006.
- [16] Wikipédia (www.wikipedia.com)
- [17] Peraldo Isolani. Eficiência energética nos edifícios residenciais. Deco, Lisboa, Maio de 2008.
- [18] Luis Roriz. Climatização – concepção, instalação e condução de sistemas. Edições Orion, 2ª Edição – Novembro de 2007.
- [19] Nuno Miguel Mina Castro Gonçalves. Influência dos Parâmetros de cálculo do RCCTE na Avaliação do Desempenho Energético de Edifícios Residenciais. FCT-UNL Monte da Caparica – Fevereiro de 2011

[20] Site: <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/o-que-e-a-eficiencia-energetica/em-portugal/directivas-comunitarias>

[21] Pedro Miguel Malícia Domingues. Estudo da implementação de um sistema solar térmico no edifício do DEMI. FCT-UNL Monte da Caparica 2010

[22] Site: <http://natural-works.com/>

[23] Vânia Andreia Ferrão de Jesus. Gestão de Consumos de Água em Campi Universitários, caso de estudo da FCT-UNL. FCT-UNL Monte da Caparica – Março de 2008

[24] Site: www.Tecnitrace.pt

Anexos

