

**Simulação dinâmica de um edifício de acordo com as exigências do
DL 79-2006 RSECE, usando o software de cálculo "EnergyPlus"**

Instituto Electrotécnico Português

Luís Miguel Oliva Saraiva

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador na Empresa: Engenheira Ana Teresa Pinto Azevedo Costa

Orientador na FEUP: Professor Clito Félix Alves Afonso



**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Fevereiro - Julho de 2010

Aos meus pais, Domingos Saraiva e Angelina Oliva Saraiva que sempre me souberam orientar e apoiar ao longo de toda a minha vida

Resumo

De modo a contrariar as tendências climáticas e ambientais que se têm vindo a verificar ao longo das últimas décadas, a Comissão Europeia elaborou a Directiva 2002/91/CE com o intuito de melhorar de forma significativa o desempenho energético dos edifícios. A sua implementação em Portugal resultou na introdução do Sistema Nacional de Certificação de Edifícios e Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e na revisão de dois regulamentos: o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios (RSECE).

O objectivo principal da presente dissertação prende-se com a execução de uma simulação dinâmica de um edifício, de acordo com as exigências do RSECE. A modelação do edifício efectuou-se com o software DesignBuilder, o qual usa o software de cálculo EnergyPlus. Uma vez modelado, simulado e “calibrado” calculou-se o Indicador de Eficiência Energética (IEE) nas condições reais – sendo posteriormente simulado em condições nominais para se obter o IEE nominal que, apresentando-se inferior aos valores limites regulamentares, não implicou a execução de um plano de racionalização energética (PRE).

Inicialmente, será realizada uma simulação mais simples, a um “escritório de fábrica” situado no concelho do Porto, com o objectivo de efectuar uma modelação com um grau de detalhe superior ao exigido, de modo a averiguar a exactidão dos resultados obtidos em relação aos limites regulamentares. Esta modelação permitiu obter uma simulação calibrada logo na primeira iteração, ainda que os consumos de ar condicionado tivessem um desvio de 9.9% relativamente à estimativa baseada nas medições efectuadas, no limite do exigido. Nos restantes consumos registaram-se os valores esperados, com uma exactidão elevada.

Finalmente foi efectuada a aplicação a um “edifício de escritórios com uma filial bancária no rés-do-chão”, situado no concelho do Porto.

Ambos os estudos apresentaram um IEE nominal limite inferior ao regulamentar, não sendo necessário um plano de racionalização energética. Contudo, foi analisada a viabilidade económica de uma medida de melhoria que consiste em substituir os balastros ferromagnéticos da armadura mais frequente em ambos os edifícios por balastros electrónicos. Com estas medidas foi possível poupar anualmente 182€ e 1441€ nos primeiro e segundo casos, respectivamente.

Dynamic simulation of a building according to the demands of the DL 79-2006 using the calculation software EnergyPlus

Abstract

In order to invert the climatic and environmental trends that have been observed over recent decades, the European Commission drew up the Directive 2002/91/EC aiming to significantly improve the energy performance of buildings. Its implementation in Portugal led to the introduction of the Sistema Nacional de Certificação de Edifícios e Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) and the review of two regulations: Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) and Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios (RSECE).

The main objective of this dissertation deals with the implementation of a dynamic simulation of a building, according to the RSECE requirements. The modeling of the building was carried out with the software DesignBuilder, which uses the calculation software EnergyPlus. Once modeled, simulated and “calibrated” Energy efficiency indicators (EEI) were calculated in real conditions – is then simulated in nominal conditions to obtain nominal EEI which, performing below the regulation limits, did not involve implementing a plan to rationalize energy (PRE).

First, a simple simulation is presented, an "office in a factory" located in the town of Porto, with a view to conducting a modeling with a degree of detail higher than required in order to verify the accuracy of the results achieved against regulatory limits. This simulation allowed for the estimation of the validity of model. The consumption of air conditioning had a relative error of 9.9% which was in the required limits. In the remaining consumptions were well within the expected values.

Finally the application was made to an "office building with a bank branch in the ground-floor", located in the town of Porto.

Both studies showed a nominal EEI lower than the regulations limit, therefore a PRE wasn't required. However, we analyzed the viability of an improvement measure that is to replace the ferromagnetic ballasts of the armature more frequent in both buildings by electronic ballasts. With these measures we could save annually €182 and €1441 in the first and second cases, respectively.

Agradecimentos

Tendo em conta que uma dissertação de mestrado se prolonga por vários meses, embora seja de cariz pessoal, acaba por envolver sempre outros para além do autor pelo que gostaria de expressar os meus agradecimentos a todos os que contribuíram para a realização da presente dissertação.

Ao Instituto Electrotécnico Português pela sua disponibilidade em executar a presente dissertação nas suas instalações. Agradeço a confiança que depositaram em mim e o desafio que me colocaram em especial aos colaboradores que me acompanharam e orientaram durante a sua execução:

- Eng.º Arlindo Louro – Director da Unidade de Desenvolvimento
- Eng.ª Ana Teresa Costa – Perita RSECE-E e RSECE-QAI
- Eng.º Carlos Botelho
- A todos os restantes colaboradores da Unidade de Desenvolvimento

Ao professor Clito Afonso, Coordenador da Secção de Fluidos e Calor pela imediata disponibilidade em orientar e aprovar a execução da presente dissertação.

À TOPINFORMTICA pela aprovação do Protocolo Universidades e disponibilização de uma versão limitada do software Cype.

Aos meus pais pelo suporte financeiro-logístico durante a execução do Mestrado Integrado.

À minha mãe pela correcção ortográfica que prontamente se disponibilizou a fazer.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Apresentação da Empresa Instituto Electrotécnico Português.....	1
1.2	A Simulação dinâmica de edifícios no Instituto Electrotécnico Português	3
1.3	Estudo e desenvolvimento da arte de simular.....	3
1.4	Organização e Temas Abordados no Presente Relatório	4
2	Estado da arte	5
2.1	Enquadramento político-económico.....	5
	O Protocolo de Quioto	6
	A União Europeia e o Protocolo de Quioto – a Directiva 2002/91/CE	6
	A implementação da Directiva 2002/91/CE em Portugal.....	7
2.2	A simulação do consumo energético de edifícios.	9
	A norma ASHRAE 140-2004	10
	O software EnergyPlus.....	10
	O software DesignBuilder.....	12
3	A simulação energética de um escritório de fábrica – Aplicação a um caso real.....	14
3.1	Validação de resultados.....	18
3.2	A simulação nas condições nominais – Cálculo do Índice de Eficiência Energética – IEE	19
3.3	Medidas de melhoria.....	21
4	Aplicação a um segundo caso real – A simulação energética de um edifício de escritórios de 6 andares e uma filial bancária no Rés-do-Chão.....	23
4.1	Medições efectuadas	25
4.2	A simulação nas condições nominais de funcionamento.....	29
	Determinação dos IEE de referência ponderados.....	30
	Determinação dos factores de correcção climática	30
5	Resultados obtidos nas simulações efectuadas ao edifício de escritórios com filial bancária no Rés-do-Chão	32
5.1	Validação da simulação nas condições reais.....	32
5.2	A simulação nas condições nominais – determinação do <i>IEEnominal</i>	34
5.3	Medidas de melhoria.....	35
6	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro.....	37
7	Referências e Bibliografia	39
ANEXO A:	Ocupação do escritório de fábrica – Condições reais.....	41
ANEXO B:	Iluminação no escritório de fábrica – Potência das armaduras.....	42
ANEXO C:	Iluminação do escritório de fábrica – Condições reais e medida de melhoria	43
ANEXO D:	Envolvente do edifício de escritórios com filial bancária no rés do chão – Propriedades térmicas dos envidraçados existentes Envidraçados exteriores do edifício de escritórios	44
ANEXO E:	Envolvente do escritório de fábrica - Coeficientes Globais de Transferência de Calor dos vários elementos da envolvente opaca	51

ANEXO F:	Envolvente do escritório de fábrica – Propriedades térmicas dos envidraçados existentes	56
ANEXO G:	AVAC no escritório de fábrica - Eficiências e Potências	57
ANEXO I:	Compartimentos e respectivas zonas térmicas no edifício de escritórios com filial bancária no rés-do-chão – Compartimentos existentes e respectivas zonas térmicas adoptadas	58
	Piso -1	58
	Piso 0	59
	Piso 1	60
	Piso 2	61
	Piso 3	63
	Piso 4	64
	Piso 5	65
	Piso 6	67
	Escadas, último piso (cobertura) e casa das máquinas dos elevadores	68
	Telhado	68
ANEXO J:	Envolvente do escritório de fábrica - Coeficientes Globais de Transferência de Calor dos vários elementos da envolvente opaca	69
ANEXO J:	Iluminação no edifício de escritórios – Potência das armaduras	70
ANEXO K:	Iluminação no edifício de escritórios – Condições reais e medida de melhoria.....	71
	Piso -1	71
	Piso 0	71
	Piso 1	72
	Piso 2	72
	Piso 3	72
	Piso 4	72
	Piso 5	73
	Piso 6	73
	Cobertura	73
ANEXO L:	Equipamentos no edifício de escritórios.....	74
ANEXO M:	Ocupação no edifício de escritórios – Número de Ocupantes nas condições reais	76
ANEXO N:	AVAC no edifício de escritórios – Potências e eficiências das várias unidades exteriores bem como respectivas zonas térmicas	77
ANEXO O:	AVAC no edifício de escritórios – Potências e eficiências adoptadas na modelação das várias zonas térmicas.....	79
ANEXO P:	Principais funcionalidades do software DesignBuilder (Site Natural Works)	80

Nomenclaturas e Siglas

CQNUAC	Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas	
SCE	Sistema Nacional da Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios DL 78-2006	
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios	
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios	
DGEG	Direcção-Geral de Energia e Geologia	
ADENE	Agência para a Energia	
Met	Actividade metabólica	
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado	
CFD	Computational Fluid Dynamics	
IEP	Instituto Electrotécnico Português	
PRE	Plano de Racionalização Energética	
AQS	Águas Quentes Sanitárias	
<i>IEE</i>	Índice de Eficiência Energética	$[kgep / (m^2 \text{ ano})]$
<i>IEE_{real}</i>	IEE real obtido por simulação	$[kgep / (m^2 \text{ ano})]$
<i>IEE_{nominal}</i>	IEE nas condições nominais de funcionamento	$[kgep / (m^2 \text{ ano})]$
<i>IEE_{ref existentes}</i>	IEE de referência limite para edifícios existentes	$[kgep / (m^2 \text{ ano})]$
<i>IEE_{ref novos}</i>	IEE de referência para edifícios novos	$[kgep / (m^2 \text{ ano})]$
<i>N_{ic}</i>	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	
<i>N_{vc}</i>	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	
<i>N_{ac}</i>	Necessidades nominais de energia para produção de águas quentes sanitárias	
<i>N_{tc}</i>	Necessidades globais de energia primária	
<i>EER</i>	Eficiência energética de refrigeração	
<i>COP</i>	Coeficiente de performance	
<i>d_i</i>	Espessura de cada camada dos constituintes da envolvente opaca	(m)
λ	Condutibilidade térmica dos constituintes da envolvente opaca	$[W/(m^{\circ}C)]$
<i>R_j</i>	Resistência térmica dos constituintes da envolvente opaca	$[m^2 \cdot ^{\circ}C/W]$
<i>Rse</i>	Resistência superficial exterior	$[m^2 \cdot ^{\circ}C/W]$

Simulação dinâmica de um edifício de acordo com as exigências do DL 79-2006 RSECE, usando o software de cálculo "Energy Plus"

<i>R_{si}</i>	Resistência superficial interior	$[m^2 \cdot ^\circ C / W]$
<i>e_m</i>	Espessura total da envolvente opaca	(m)

Índice de Figuras

Figura 1-1. Organigrama Estrutural do Instituto Electrotécnico Português	1
Figura 2-1: Estrutura dos módulos do software EnergyPlus. (Fonte: documento EngineeringReference, página 1)	11
Figura 3-1 – Imagem exterior do escritório de fábrica simulado e do pavilhão envolvente. ...	14
Figura 3-2. Zonas térmicas adoptadas no 1º piso.	15
Figura 3-3. Zonas térmicas adoptadas no Rés-do-Chão.	15
Figura 3-4 Medições efectuadas ao quadro de AVAC.	16
Figura 3-5 Medições efectuadas no quadro dos escritórios.	16
Figura 3-6 Medições efectuadas no quadro geral da fábrica o qual alimenta o quadro dos escritórios e de AVAC.	17
Figura 3-7: Posição da armadura mais frequente no edifício (imagem retirada do documento <i>InputOutputReference</i> do software Energyplus, Figura 41 página 364).	18
Figura 4-1 Fachada principal (esquerda) e traseira (direita) do edifício em estudo	23
Figura 4-2 Medições efectuadas no quadro geral do edifício em estudo.	26
Figura 4-3 Medições efectuadas no quadro da UPS.	26
Figura 4-4 Medições efectuadas no quadro das bombas de água.	27
Figura 4-5 Medições efectuadas no quadro dos elevadores (consumos médios registados de 15 em 15 minutos – a potência máxima registada foi de 40 [kW]).	27

Índice de Tabelas

Tabela 2-1. Tipos de erro presentes no ficheiro “.err”	12
Tabela 3-1 Validação da simulação real do escritório de fábrica.....	18
Tabela 3-2 Determinação do Índice de Eficiência Energética real.	19
Tabela 3-3 Caudais de ar novo definidos pelo RSECE para as condições nominais.	20
Tabela 3-4 Caudais de ar novo adoptados no escritório de fábrica.	20
Tabela 3-5 Resultados da simulação nominal bem como determinação do IEE.....	20
Tabela 3-6 Resultados da simulação nas condições reais bem como determinação do <i>IEEreal</i> com a medida de melhoria.....	21
Tabela 3-7 Resultados da simulação nas condições nominais bem como determinação do IEE com a medida de melhoria.....	21
Tabela 4-1 Previsão dos consumos nas condições reais a partir das medições efectuadas e dos registos das facturas.....	28
Tabela 4-2 Caudais de ar novo definidos pelo RSECE para as condições nominais.	29
Tabela 4-3 Caudais de ar novo adoptados no edifício de escritórios com filial bancária no rés-do-chão.	29
Tabela 4-4 Determinação do IEE ponderado de referência do edifício em estudo	30
Tabela 4-5 Determinação do IEE ponderado para o edifício em estudo se o mesmo fosse novo para a determinação da classe energética.	30
Tabela 5-1 Validação dos resultados obtidos na simulação real	33
Tabela 5-2 Validação dos resultados obtidos na simulação real durante o período das medições.	33
Tabela 5-3 Determinação do <i>IEEreal</i>	34
Tabela 5-4 Determinação do <i>IEEnominal</i>	35
Tabela 5-5 Determinação do <i>IEEreal</i> com a medida de melhoria.....	35
Tabela 5-6 Determinação do <i>IEEnominal</i> com a medida de melhoria.....	36

1 Introdução

1.1 Apresentação da Empresa Instituto Electrotécnico Português

O Instituto Electrotécnico Português (IEP) foi constituído em 1981, com o estatuto jurídico de Associação Privada sem fins lucrativos. A sua actividade foi reconhecida como de interesse nacional, ao ser-lhe atribuído, em 1992, o estatuto de Utilidade Pública.

São seus membros efectivos a ANIMEE – Associação Portuguesa das Empresas do Sector Eléctrico e Electrónico, a EDP – Energias de Portugal, SA e a PT – Portugal Telecom, SA. Na figura 1-1 é possível ver um organigrama estrutural do IEP.

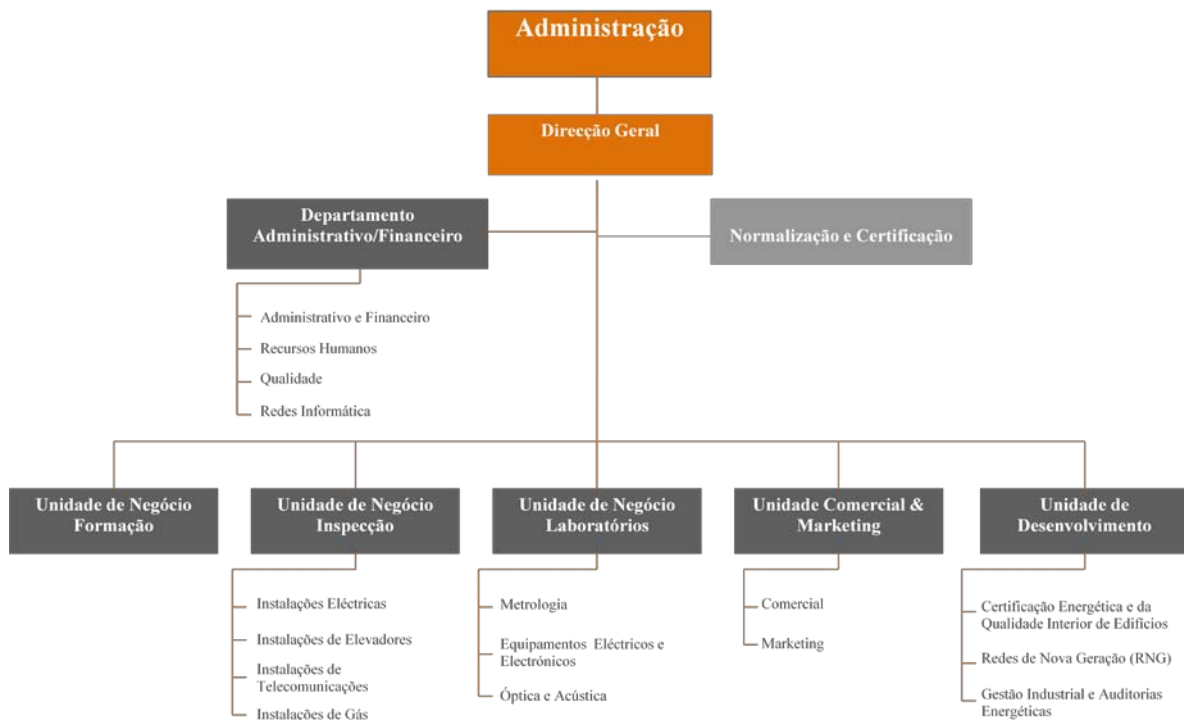


Figura 1-1. Organigrama Estrutural do Instituto Electrotécnico Português

É Missão do Instituto participar no esforço nacional de promoção da Qualidade e da Competitividade do tecido empresarial português, com especial incidência nos domínios dos produtos e serviços incorporando material eléctrico e electrónico, e apoiar e promover a qualidade e o desenvolvimento científico e tecnológico da indústria nacional, especialmente nos domínios dos produtos e serviços incorporando material eléctrico e electrónico, em todas as suas vertentes, bem como na área das telecomunicações e no domínio da energia.

Simulação dinâmica de um edifício de acordo com as exigências do DL 79-2006 RSECE, usando o software de cálculo "Energy Plus"

A competência técnica do Instituto nas actividades que desenvolve é evidenciada de forma objectiva pelos diversos reconhecimentos e acreditações obtidos a nível nacional e internacional:

Certificação ISO 9001

- Todos os serviços prestados

Acreditação ISO 17025

- Laboratórios de ensaio e calibração

Acreditação ISO 17020

- Diversas áreas de inspecção

Worldwide System for Conformity Testing and Certification of Electrotechnical Equipment and Components (IECEE)

- Laboratórios de ensaio (via Certif)

CENELEC Certification Agreement (CCA)

- Laboratórios de ensaio (via Certif)

Reconhecimento IQF/DGERT

- Formação

Reconhecimento ANACOM

- Formação
- Análise de Projectos e Inspeções de Instalações de Telecomunicações

PT Comunicações

- Credenciação de Técnicos

Qweb Coach

- Consultoria Comércio Electrónico

Reconhecimentos DGGE

- Análise de Projectos e Inspeções de Instalações Eléctricas
- Análise de Projectos e Inspeções de Instalações de Combustíveis
- Análise de Projectos e Inspeções de Instalações Gás
- Análise de Projectos e Inspeções de Elevadores
- Auditorias Energéticas e Planos de Racionalização

Reconhecimento Instituto do Desporto

- Inspeções de Equipamentos Desportivos

Organismo Notificado

- Directiva Baixa Tensão
- Directiva Ascensores
- Directiva Compatibilidade Electromagnética

- Directiva Máquinas

1.2 A Simulação dinâmica de edifícios no Instituto Electrotécnico Português

Este projecto surgiu no âmbito do início de um novo serviço a ser implementado pelo IEP – a simulação dinâmica no âmbito da certificação energética de edifícios – e num desejo do IEP em implementar este tipo de parcerias com as instituições de ensino superior, na realização de projectos e implementação de novos produtos e serviços a serem prestados.

Com efeito, até ao momento todas as simulações efectuadas são subcontractadas a entidades externas ao IEP, algo que se pretende inverter num futuro próximo, pretendendo-se que o IEP faça as simulações inerentes às certificações energéticas dos edifícios a ele contratados e, numa fase posterior, à contratação deste serviço a peritos e empresas externas ao IEP. Um colaborador já participou num breve curso de iniciação aos softwares EnergyPlus e DesignBuilder mas, a posterior falta de tempo, impediu-o de aprofundar e assimilar os conhecimentos adquiridos no âmbito da sua formação.

Com isto, este projecto foi criado para que, ao longo de um semestre, se comece a dominar a “arte” de fazer simulações de um qualquer tipo de edifício, de acordo com as exigências do DL 79-2006 RSECE. No final do presente trabalho está previsto que as simulações executadas no âmbito das certificações dos edifícios, com nível de complexidade mais simples, se executem no IEP (ao passo que as mais complexas se continuem a subcontractar), aumentando gradualmente o grau de complexidade à medida que se vai ganhando experiência e competitividade.

Tendo em conta que o IEP ainda não dispunha dos softwares informáticos de modelação, foi inicialmente efectuada uma análise de dois softwares de modelação, para posterior simulação com o software de cálculo EnergyPlus. Tal análise consistiu fundamentalmente na rapidez de introdução de dados da envolvente, capacidade de modelar os mais complexos tipos de geometrias, equipamentos de escritório e de climatização. Os softwares escolhidos foram o software “Cype – Instalações do Edifício” e o software “DesignBuilder”. Depois de uma breve análise concluiu-se que o software DesignBuilder é a melhor opção, sendo que a principal razão para a escolha se prende com o reconhecimento da norma ASHRAE 140-2004 pelo módulo de simulação DesignBuilderEnergyPlus não exigindo a exportação para o software EnergyPlus, pela capacidade de modelar os mais complexos tipos de geometrias (brevemente será disponibilizado um módulo adaptado ao cumprimento do RSECE), bem como pelo seu preço competitivo.

1.3 Estudo e desenvolvimento da arte de simular

De modo a conseguir dominar a arte de executar simulações foi elaborado o seguinte plano de actividades:

- Análise prévia e treino das aplicações informáticas
- Visita ao local a simular e recolha de dados
- Tratamento de dados
- Execução da simulação e interpolações
- Emissão da simulação final e respectivas medidas de melhoria
- Elaboração do relatório formal e da apresentação

Durante o treino da aplicação informática constatou-se que a melhor forma de “aprender” seria a execução de um caso real relativamente simples pelo que, em vez de efectuar uma única simulação, também foi elaborada a simulação de um escritório de fábrica.

Tendo em conta que a sua reduzida dimensão não iria exigir demasiados recursos computacionais durante a simulação, o edifício foi modelado com um grau de detalhe relativamente superior ao exigido, de modo a averiguar a diferença entre os resultados obtidos e as estimativas efectuadas, através dos registos das facturas eléctricas e das medições eléctricas efectuadas. Tal detalhe consistirá na modelação monozona de todos os escritórios climatizados, em vez de efectuar a junção de zonas com perfis e densidades de ocupação, iluminação, equipamentos, exposição solar e equipamento de climatização idênticos.

Finalmente foi efectuado o levantamento de dados e a simulação de um edifício de escritórios de 6 andares, o qual tinha uma filial bancária no Rés-do-Chão.

1.4 Organização e Temas Abordados no Presente Relatório

De modo a alcançar os objectivos atrás descritos adoptou-se a seguinte estrutura para a realização do trabalho:

No segundo capítulo é efectuado um levantamento do enquadramento económico-político e do estado da arte da simulação de edifícios, bem como uma apresentação dos softwares adoptados: o software EnergyPlus para cálculo e o software DesignBuilder para introdução de dados.

No terceiro capítulo é apresentada a simulação do escritório de fábrica, bem como a apresentação dos respectivos resultados, cálculo do IEE e apresentação de medidas de melhoria.

No quarto capítulo são apresentados todos os dados utilizados para a simulação real e nominal do edifício de escritórios de 6 andares e uma filial bancária no Rés-do-Chão.

No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos das simulações, bem como as medidas de melhoria estudadas.

No sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões deste trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

2 Estado da arte

2.1 Enquadramento político-económico

O desenvolvimento económico e social que se tem vindo a verificar ao longo do último século possibilitou a melhoria das condições de vida da população em geral, tanto na riqueza distribuída como na educação, formação e acesso aos canais de informação.

Com isto, várias economias, em especial as baseadas em modelos capitalistas tais como os Estados Unidos da América, a União Europeia, Japão e as economias emergentes do sudoeste asiático, sofreram um desenvolvimento de tal forma elevado que coloca em causa a sustentabilidade do nosso planeta. O actual consumo dos recursos naturais existentes no nosso planeta está a processar-se a um ritmo extremamente elevado sendo que, hoje em dia, a questão da sustentabilidade energética e ambiental é a mais preocupante (Silva, 2008).

Em consequência destes factos, a sustentabilidade energética tem vindo a ser encarada como uma questão crucial ao desenvolvimento económico. A partir do início do século XX, as várias descobertas de recursos petrolíferos levaram a entender que se tratava de uma fonte de energia inesgotável. Contudo, a crise do petróleo da década de 70 deixou bem visível a vulnerabilidade do nosso planeta a este recurso, sendo que, hoje em dia, todos os estudos efectuados neste campo apontam para o esgotamento a médio prazo das principais reservas petrolíferas. Com este esgotamento deixará de existir a energia a preços reduzidos.

Em paralelo com o consumo desmesurado dos recursos petrolíferos e com a consequente libertação de gases, de efeito de estufa, tem-se vindo a verificar um aquecimento global do nosso planeta o qual, se continuar ao ritmo actual, modificará irreversivelmente o meio ambiente.

Com o objectivo de analisar, discutir e encontrar possíveis soluções para esta preocupante realidade, têm vindo a realizar-se várias Conferências das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Em 1992 realizou-se no Rio de Janeiro a 2ª Cimeira da Terra. Com este evento procurou-se conciliar o desenvolvimento socioeconómico com a conservação e protecção dos ecossistemas da Terra, levando à consciencialização de que os danos ao meio ambiente são, principalmente, da responsabilidade dos países desenvolvidos. Durante este evento foi assinada a Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC), entrando em vigor em Março de 1994.

Com esta convenção procurou-se estabilizar as concentrações na atmosfera de gases com efeito de Estufa, a um nível que evite uma interferência antropogénica perigosa com o sistema climático. Esta Convenção obriga todos os seus signatários a estabelecer programas nacionais de redução das emissões de gases com efeito de estufa, e a apresentar relatórios regulares, exigindo também que os países signatários industrializados, por oposição aos países em

desenvolvimento, estabilizem até 2000 as suas emissões de gases com efeito de estufa aos níveis de 1990. Todavia, este objectivo não é vinculativo.

O Protocolo de Quioto

Em 1994 foi largamente reconhecido que os compromissos iniciais da CQNUAC não seriam suficientes para sustentar o aumento global das emissões de gases com efeito de estufa e, em Dezembro de 1997, os Governos deram mais um passo e aprovaram um protocolo – o Protocolo de Quioto – o qual entrou em vigor em Fevereiro de 2005.

O Protocolo de Quioto estabelece limites juridicamente vinculativos, para as emissões de gases com efeito de estufa em países industrializados, prevendo mecanismos de implementação inovadores baseados num mercado de autorizações de emissões negociáveis.

Ao abrigo do Protocolo de Quioto, os países industrializados devem reduzir 5%, em média, as suas emissões de seis gases com efeito de estufa (dióxido de carbono o mais importante, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbonetos, perfluorcarbonetos e hexafluoreto de enxofre), relativamente aos níveis de 1990, durante o primeiro “período de cumprimento” de 2008 a 2012. No que diz respeito aos países em desenvolvimento, não há objectivos definidos em matéria de emissões. Contudo, a oposição e a não ratificação pelos principais poluidores mundiais - Japão, Austrália e EUA – do respectivo protocolo veio limitar os objectivos globais de redução de emissão de gases com efeito de estufa, que passa a ser de 2% em vez dos 5% inicialmente previstos.

A União Europeia e o Protocolo de Quioto – a Directiva 2002/91/CE

Face a estes problemas de sustentabilidade, a União Europeia tem-se notado pela sua liderança. Embora inicialmente criada com o intuito de definir um mercado único, com moeda própria, a ser regulado pela comissão Europeia em conjunto com o Banco Central Europeu, a consciencialização para estes problemas tem-se vindo a verificar, exigindo de todos os estados membros a resolução dos problemas de sustentabilidade ambiental, energética e social ao nível local e nacional (Silva, 2008).

Esta notória preocupação pela consciencialização da problemática ambiental e pela dependência energética do exterior levaram a União Europeia a tomar várias medidas. Tendo em conta que os edifícios representam cerca de 40% do consumo total de energia em toda a Europa (Silva, 2009), não podiam ser deixados de fora desta iniciativa pelo que, a 4 de Janeiro de 2003, foi publicado a Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético de Edifícios (2002/91/CE).

O principal objectivo desta directiva é o de limitar e reduzir significativamente os consumos energéticos dos edifícios, com acções específicas de materialização do potencial de economia de energia, de forma homogénea, ao longo de todos os estados membros.

De modo a materializar os seus objectivos, “a presente directiva estabelece requisitos em matéria de:

- a) *Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;*
- b) *Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios;*
- c) *Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação;*

d) *Certificação energética dos edifícios;*

e) *Inspecção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos.*” (Directiva 2002/91/CE)

A implementação da Directiva 2002/91/CE em Portugal

No que concerne ao contexto nacional, a materialização da presente Directiva Comunitária efectuou-se pela criação do Sistema Nacional da Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios – DL 78-2006 SCE (SCE) – e pela revisão da regulamentação térmica aplicada aos edifícios, nomeadamente o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios – DL 79-2006 RSECE (RSECE) – e o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios – DL 80-2006 RCCTE (RCCTE).

Supervisionado pela Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) e gerido pela Agência para a Energia (ADENE), o Estado Português vem por este meio transpor parcialmente para estes órgãos a ordem jurídica nacional, a Directiva 2002/91/CE atrás descrita. (SCE, 2006)

Os principais objectivos do SCE são:

- a) *“Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);*
- b) *Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;*
- c) *Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.*” (SCE, 2006)

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) estabelece regras a observar, no projecto de todos os sistemas de habitação e dos edifícios de serviços sem climatização, de modo a satisfazer as exigências de conforto térmico sem consumos excessivos de energia, e de minimizar as situações patológicas nos elementos de construção dos edifícios provocadas por condensações superficiais ou internas.

No que concerne ao âmbito da sua aplicação, para além de cada uma das fracções autónomas de todos os novos edifícios de habitação e de todos os novos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, este regulamento também se aplica às grandes operações de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias (AQS) e às ampliações de edifícios existentes (exclusivamente na nova área construída). Ficam excluídos do âmbito de aplicação deste regulamento *“os edifícios ou fracções autónomas de serviços que, pelas suas características de utilização, se destinarem a ficar frequentemente abertos ao contacto com o exterior e não sejam aquecidos nem climatizados; os edifícios utilizados como locais de culto e os edifícios para fins industriais, afectos ao processo de produção, bem como garagens, armazéns, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais; as intervenções de remodelação, remodelação e ampliação em zonas históricas ou em edifícios classificados, sempre que se verifiquem incompatibilidades*

com as exigências deste regulamento; as infra-estruturas militares e os imóveis afectos ao sistema de informações ou a forças de segurança que se encontrem sujeitos a regras de controlo e de confidencialidade.” (RCCTE, 2006)

A aplicação deste regulamento materializa-se pela medição e verificação de vários índices e de parâmetros. *“Os índices térmicos fundamentais a quantificar são os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}), e das necessidades nominais de energia para produção de águas quentes sanitárias (N_{ac}), bem como as necessidades globais de energia primária (N_{tc}). Os parâmetros complementares a quantificar sob condições específicas são os coeficientes de transmissão térmica, superficiais e lineares, dos elementos da envolvente; a classe de inércia térmica do edifício ou da fracção autónoma; o factor solar dos vãos envidraçados e a taxa de renovação de ar.” (RCCTE, 2006).* Um dado edifício / fracção autónoma apenas verificará o RCCTE se cumprir os índices máximos de energia útil e primária (atrás mencionados), e os requisitos mínimos de qualidade térmica (medidos através dos parâmetros atrás mencionados).

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), publicado no Decreto-Lei n.º79/2006, veio estabelecer um conjunto de requisitos de projecto e de manutenção dos edifícios novos, reabilitações e existentes, nomeadamente:

- a) *“As condições a observar no projecto de novos sistemas de climatização, nomeadamente:*
 - i. *Os requisitos em termos de conforto térmico e de qualidade do ar interior e os requisitos mínimos de renovação e tratamento de ar que devem ser assegurados em condições de eficiência energética, mediante a selecção adequada de equipamentos e a sua organização em sistemas;*
 - ii. *Os requisitos em termos da concepção, da instalação e do estabelecimento das condições e manutenção a que devem obedecer os sistemas de climatização, para garantia de qualidade e segurança durante o seu funcionamento normal;*
 - iii. *A observância dos princípios da utilização racional da energia e da utilização de materiais e tecnologias adequados em todos os sistemas energéticos do edifício, na óptica da sustentabilidade ambiental;*
- b) *Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes;*
- c) *Os limites máximos de consumos de energia para todo o edifício e, em particular, para a climatização (...);*
- d) *As condições de manutenção dos sistemas de climatização, incluindo os requisitos necessários para assumir a responsabilidade pela sua condução;*
- e) *As condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior;*
- f) *Os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os técnicos responsáveis pelo projecto, instalação e manutenção dos sistemas de climatização, quer em termos da eficiência energética, quer da qualidade do ar interior (QAI).” (RSECE, 2006).*

De modo a caracterizar energeticamente o edifício e a poder comparar e classificar o seu desempenho, o RSECE desenvolveu um indicador de consumo específico, em termos de energia primária [$kg_{ep}/(m^2 \text{ ano})$] denominado de Indicador de Eficiência Energética (IEE). Este indicador tem como base condições nominais de funcionamento, diferentes das

condições reais, em função da tipologia do edifício. Para tal, será necessário efectuar a previsão do consumo energético, recorrendo à simulação dinâmica, utilizando um software de simulação que deverá cumprir a norma ASHRAE 140-2004 ou pelo software desenvolvido pelo INETI, o STE. Durante a fase de concepção e projecto dos sistemas de climatização, a determinação da potência a instalar também terá de ser efectuada com recurso à simulação dinâmica.

2.2 A simulação do consumo energético de edifícios.

“O estudo do comportamento térmico de edifícios utilizando ferramentas computacionais encontra-se em crescimento desde a década de 60” (Karashima, 2006) quando, depois de finalizada a 2ª Grande Guerra Mundial, se iniciou uma nova guerra – a Guerra Fria. Com esta, surgiu a ameaça iminente de ataques nucleares, motivando o governo dos EUA a iniciar um programa de criação de abrigos nucleares. Nestes, tendo em conta o elevado período de tempo durante o qual estes teriam de fornecer condições suficientes para a sobrevivência de pessoas, foi iniciado o estudo do conforto térmico nos respectivos abrigos. Logo na fase de projecto, ao antever a importância das decisões tomadas, o seu impacto no desempenho energético e custos inerentes, várias ferramentas de simulação do consumo energético dos edifícios foram desenvolvidas durante a década de 80, de modo a ajudar os arquitectos a desenvolver análises energéticas preliminares e a criar mais edifícios cada vez mais eficientes e sustentáveis. A partir da década de 90, arquitectos e designers foram muito encorajados a utilizar a simulação de edifícios. Vários cursos de arquitectura passaram a integrar a simulação de edifícios, da mesma forma que introduziram os programas CAD.

O sector imobiliário é, sem dúvida, um dos mais importantes sectores industriais e económicos, influenciando a qualidade de vida e o ambiente. Contudo, os projectistas e proprietários prestam muito pouca atenção, durante a fase de projecto, quanto aos custos de manutenção dos edifícios.

Mais recentemente, Drury et al. (2005) realizaram um estudo comparativo das funções exercidas pelos vinte programas mais utilizados para simulação energética de edifícios, nos Estados Unidos. Foram construídas 14 tabelas, comparando a versatilidade de cada ferramenta. Alguns dos tópicos analisados foram: cargas térmicas de zona, fluxos de ar de infiltração, ventilação e interzonais e sistemas de AVAC. Existem centenas destas ferramentas, algumas disponíveis gratuitamente e outras distribuídas sob licença paga. Este artigo científico está citado em inúmeras obras de referência encontradas durante a pesquisa do estado da arte.

Um edifício, do ponto de vista térmico, é geralmente visto como uma composição de várias zonas térmicas que constituem o conjunto de áreas climatizadas pelo mesmo sistema de climatização com fontes de calor semelhantes, sendo as propriedades psicrométricas controladas pelo mesmo sistema de controlo (termóstato, humidostato).

De modo a determinar o consumo energético de um dado edifício é necessário determinar todas as partes / componentes energéticas que dele fazem parte, tais como consumos de iluminação, computadores e outros equipamentos, bombagem de água, aquecimento de água quente sanitária, elevadores, ventilação, cargas térmicas e correspondentes consumos de aquecimento e arrefecimento, entre outros.

Destes, o mais complexo e difícil de determinar na simulação do desempenho do consumo energético de edifícios são as cargas térmicas. Por carga térmica entende-se a quantidade de

energia por unidade de tempo que tem de ser fornecida ou extraída de um dado volume de controlo / espaço / zona térmica, de modo a que as propriedades psicrométricas (das quais se destacam a humidade relativa, temperatura de bolbo seco, entalpia, humidade absoluta e temperatura de bolbo húmido) do mesmo, se mantenham num cenário pré-definido.

A norma ASHRAE 140-2004

De modo a avaliar a capacidade dos softwares computacionais projectados para a determinação do desempenho termo-energético dos edifícios e seus respectivos sistemas de condicionamento ambiente, a ASHRAE desenvolveu a norma ASHRAE 140-2004.

Tal processo de avaliação é baseado numa metodologia BESTEST, a qual consiste na comparação do desempenho de um software com o desempenho de outros softwares. Esta norma não tem um carácter exaustivo de avaliação de todos os parâmetros de um dado programa, mas sim de determinação de eventuais falhas de maior proporção ou limitações dos programas. Para tal foram desenvolvidos 40 casos com diversas variações – inércia térmica da construção, orientação, níveis de ventilação nocturna, dispositivos de sombreamento, entre outros.

Para além desta metodologia também existem outras metodologias de avaliação da precisão de um software de simulação energética: a validação experimental e a validação analítica. Na validação experimental os resultados obtidos por um dado programa são comparados com dados monitorizados num dado edifício real, enquanto que na validação analítica a comparação dos resultados de um dado programa tem como referência um método numérico, ou uma simulação analítica conhecida e aceite pela comunidade científica.

O software EnergyPlus

Desenvolvido pelo Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos, o software EnergyPlus veio substituir os softwares BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e o DOE-2 desenvolvidos no fim da década de 70, como resposta à crise do petróleo que se verificou no início dessa década.

De um modo sucinto, o EnergyPlus é um software de simulação energética com o intuito de determinar o consumo energético global de um dado edifício, sendo capaz de determinar as cargas térmicas e todos os restantes modos existentes de consumo energético.

Com o EnergyPlus procurou-se resolver os problemas que os seus antecessores tinham, nomeadamente “*o código fonte baseado em versões mais antigas da linguagem de programação FORTRAN, a dificuldade que se tinha para a alteração de dados de entrada, a impossibilidade de lidar com respostas (feedback) do sistema AVAC nas condições das zonas climatizadas e o rápido e crescente desenvolvimento das tecnologias de AVAC*” (Karashima, 2006). Assim, o código do software foi desenvolvido na linguagem de programação FORTRAN90, de modo a tirar partido de uma das suas principais características – a capacidade de modularização das sub-rotinas. Para além desta modularização exaustiva, este software é de código aberto (*Open Source*) permitindo assim que programadores e investigadores possam modificar alguns dos módulos do software, sem serem obrigados a conhecer exaustivamente todo o código. Com isto espera-se que a precisão e a versatilidade do software sejam melhoradas ao longo do tempo, factor crucial para a sua sobrevivência. Na Fig. 2-1 encontra-se a estrutura dos módulos do software.

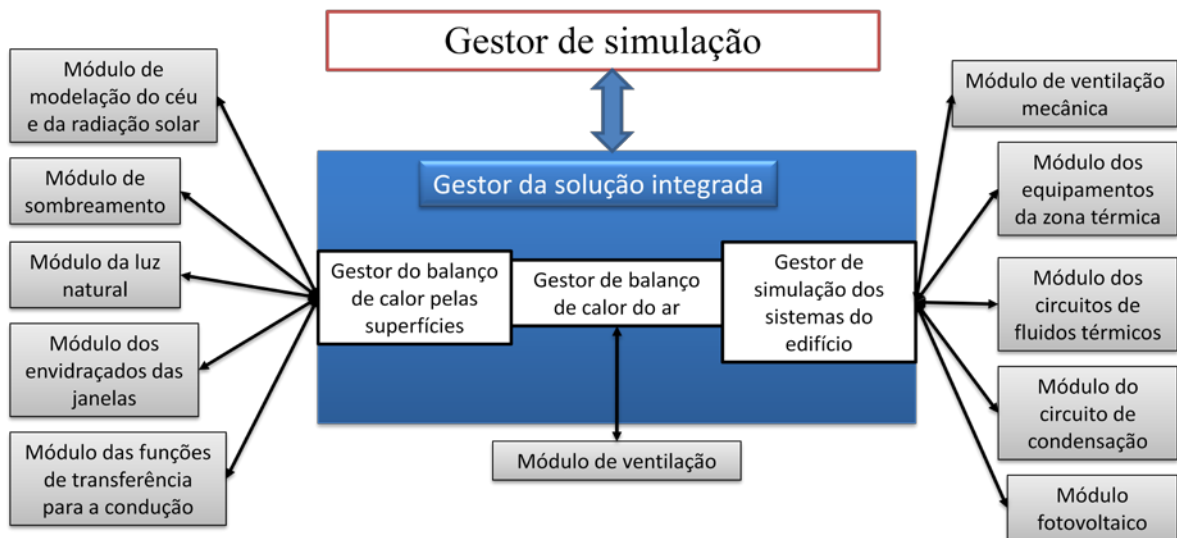


Figura 2-1: Estrutura dos módulos do software EnergyPlus. (Fonte: documento EngineeringReference, página 1)

Outro ponto forte deste software prende-se com a solução simultânea das cargas térmicas, sistemas de climatização e os equipamentos utilizados, ao contrário da maior parte dos outros softwares de simulação que executam um cálculo sequencial onde, inicialmente, se faz a determinação das cargas térmicas e apenas posteriormente se efectua um cálculo dos sistemas de climatização e dos equipamentos. Com este cálculo simultâneo é possível efectuar estudos de sub-dimensionamento mais rigorosos.

Este software encontra-se projectado e optimizado para ser utilizado com um algoritmo de cálculo, a ser incorporado noutros softwares de interface gráfica e apresentação amigável – GUI (*Graphical User Interface*), pelo que os seus parâmetros de entrada (*Inputs*) e de saída (*Outputs*) consistem em textos apresentados no formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), sendo também possível obter alguns dos ficheiros de saída no formato CSV (*Comma Separated Values*) e HTML (*HyperText Markup Language*). No entanto, é possível efectuar simulações sem nenhum interface, especialmente se estas forem efectuadas com fins de investigação. O interface utilizado na presente dissertação, quer para visualizar os dados de entrada quer para visualizar os dados de saída, foi o software DesignBuilder.

Os dados para a simulação são inseridos através de dois ficheiros manipulados pelo utilizador: o ficheiro de dados climáticos “.epw” (*EnergyPlus Weather File*) e o ficheiro de dados de entrada IDF “.idf” (*Input Data File*) no qual se encontram todos os restantes, necessários à execução da simulação. A interpretação dos dados contidos no ficheiro IDF é efectuada pelo dicionário do software IDD “.idd” (*Input Data Dictionary*), o qual contém uma lista exhaustiva de todos os objectos possíveis e a respectiva especificação das informações que cada objecto requer. Para complementar o ficheiro IDD existem os documentos *InputOutputReference* e *EngineeringReference* no menu ajuda. O documento *InputOutputReference* descreve os vários objectos bem como os respectivos parâmetros, enquanto o documento *EngineeringReference* explica a metodologia de cálculo que está subjacente a cada objecto.

No que diz respeito aos ficheiros de saída do software, no documento *OutputDetailsAndExamples* encontra-se uma descrição de todos os ficheiros de saída disponíveis no software, dos quais há a destacar:

Simulação dinâmica de um edifício de acordo com as exigências do DL 79-2006 RSECE, usando o software de cálculo "Energy Plus"

- “<Nome do Ficheiro>.err” – Lista de todos os possíveis erros ocorridos durante a aquisição de dados na simulação. De todos, este é aquele que deve ser analisado primeiro. Existem três níveis de erro:

Tabela 2-1. Tipos de erro presentes no ficheiro “.err”

Tipo de erro	Acção
<i>Warning</i> – Aviso	Tomar nota
<i>Severe</i> – Severo	Devia corrigir
<i>Fatal</i>	O programa vai abortar

Destes, apenas os avisos não param a simulação.

- “<Nome do ficheiro>.eio” – Lista de todos os parâmetros da simulação que não variam com o tempo;
- “<Nome do ficheiro>.eso” e “<Nome do ficheiro>.mtr” – Lista de todos os parâmetros da simulação que variam com o tempo;
- “<Nome do ficheiro>.rdd” – Lista de todas as variáveis utilizadas durante a simulação que poderão ser disponibilizadas nos ficheiros .eso e .mtr.

Um detalhe técnico importante que há a considerar na utilização deste software consiste na utilização do carácter “.” como separador decimal, caso contrário obter-se-ão resultados incorrectos.

O software DesignBuilder

Depois de lançado o software EnergyPlus apareceu o software DesignBuilder com o seu primeiro interface gráfico. Sendo bastante fácil de usar e permitindo a modelação até dos edifícios mais complexos pelos utilizadores menos experientes, este software combina a sua grande versatilidade de modelação com o poder de simulação do software EnergyPlus.

Finalmente, a estrutura hierarquizada permite que se efectuem modificações das características do edifício de forma rápida, desde a fonte mais geral – o edifício ao nível mais detalhado – até partes constituintes de zonas tais como paredes, tectos, etc. (Site NaturalWorks www.natural-works.com).

No que diz respeito às suas principais funcionalidades, no anexo P encontram-se uma lista retirada do site do revendedor, sendo que as suas principais vantagens são:

- Introdução rápida e intuitiva de geometria, permitindo importar imagens ou ficheiros em formato .dxf (do software Autocad) e corrigir a sua escala;
- Constituição “automática” de construções, janelas, ganhos internos, sistemas de climatização;
- Facilidade de alteração de características do edifício através de templates existentes ou construídos pelo utilizador;
- Diferentes níveis de detalhe (*lumped/early/detailed gains, simple/compact HVAC, scheduled/calculated natural ventilation, ...*);
- O modulo adaptado à legislação portuguesa dispõe de uma biblioteca de perfis de funcionamento de acordo com o Anexo XV do RSECE;

Simulação dinâmica de um edifício de acordo com as exigências do DL 79-2006 RSECE, usando o software de cálculo "Energy Plus"

- Visualização gráfica dos resultados da simulação, com possibilidade de exportar valores numéricos;
- Visualização do modelo (ajuda na comunicação com os clientes...).

No que concerne às suas principais desvantagens, elas são:

- Pouco transparente em utilização de módulos mais avançados;
- Não dispõe de uma biblioteca de materiais da envolvente com as propriedades térmicas do ITE 50, sendo necessária a sua introdução manual;
- A exportação para formato IDF gera ficheiros pouco “manuseáveis” (alteração dos nomes de zonas, superfícies, materiais, construções, etc.);
- Perda de flexibilidade na caracterização de objectos individuais (por exemplo, janelas dentro de uma mesma superfície) ou em aspectos mais avançados da simulação; pode ser contornada exportando para IDF e alterando à mão.

Recentemente foi lançada a versão 2 do software com um novo módulo para o software – módulo de Computational Fluid Dynamics (CFD). Combinando este módulo com o poder de simulação do software EnergyPlus, o qual permite determinar com elevada exactidão as condições da envolvente de uma dada zona térmica (temperatura de paredes, pavimentos, tectos, envidraçados) para um dado dia do ano (incluindo dias de dimensionamento de Verão e de Inverno), é possível efectuar estudos muito mais avançados e detalhados, tanto a nível do conforto térmico como a nível do desempenho dos sistemas de climatização.

No que diz respeito à legislação portuguesa, este software encontra-se reconhecido pela norma ASHRAE 140-2004 e o revendedor português do software encontra-se a desenvolver um módulo adaptado à legislação portuguesa. Com este módulo é possível aproveitar a modelação e caracterização do edifício, bem como os resultados da simulação dinâmica detalhada para calcular diversos parâmetros relevantes, no âmbito do DL 79/2006, tais como:

- Factor de Forma e factores de correcção climática de Inverno e de Verão;
- IEE limite e S ponderados;
- Indicador de eficiência energética;
- Classe energética;
- Consumos energéticos relevantes para preenchimento da Declaração de Conformidade Regulamentar e do Certificado Energético;
- Conversor de ficheiros climatéricos do software Solterm.

3 A simulação energética de um escritório de fábrica – Aplicação a um caso real

Durante o processo de aprendizagem e introdução aos softwares surgiu a oportunidade de efectuar a simulação de um escritório de fábrica situado no concelho do Porto. O levantamento de todos os dados necessários à execução da respectiva simulação já se encontrava efectuado e apenas faltava efectuar a simulação do edifício. Como se pode observar na Fig. 3-1, este edifício encontra-se integrado num pavilhão industrial, o qual foi modelado como edifício adjacente.

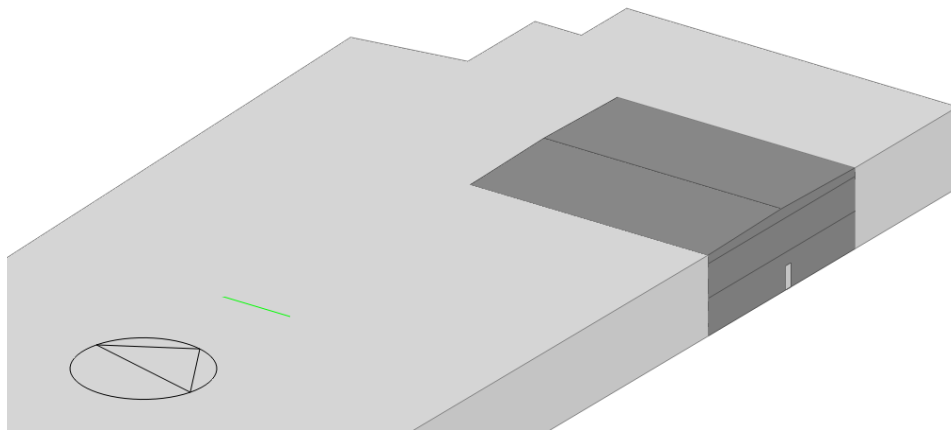


Figura 3-1 – Imagem exterior do escritório de fábrica simulado e do pavilhão envolvente.

Como podemos constatar nas Fig. 3-2 e Fig. 3-3, o edifício era de dimensão reduzida comparado com os edifícios que normalmente são certificados no âmbito do RSECE, pelo que se optou por modelar os gabinetes climatizados com ganhos térmicos relativamente semelhantes separadamente, de modo a conseguir obter uma maior exactidão nos resultados obtidos e a efectuar um número reduzido de iterações até à “validação” do modelo. Consequentemente será maior o esforço computacional.

Os dados climáticos usados nas várias simulações efectuadas foram os valores horários de referência para o concelho do Porto, existentes na base de dados do software Solterm5 do INETI, nomeadamente a temperatura exterior, humidade relativa e incidência de radiação, directa e difusa. No que diz respeito a velocidade e direcção dos ventos, foram utilizados os dados existentes na base de dados climáticos do EnergyPlus para a zona do Porto.

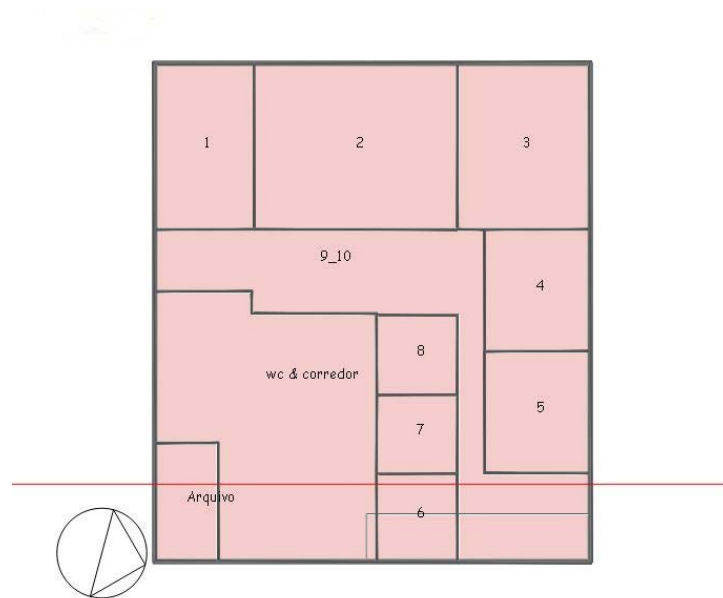


Figura 3-2. Zonas térmicas adoptadas no 1º piso.

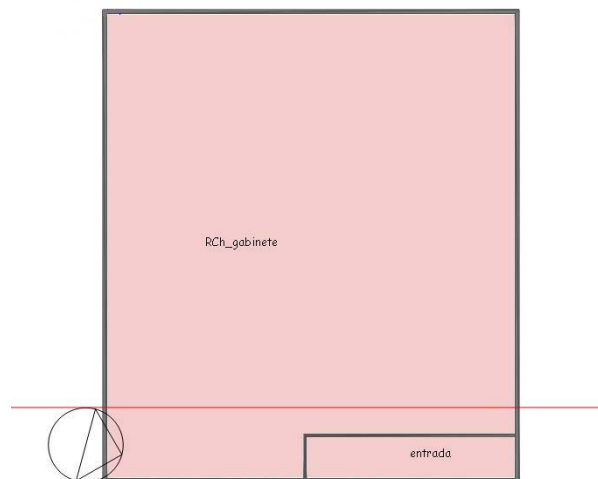


Figura 3-3. Zonas térmicas adoptadas no Rés-do-Chão.

No que concerne às medições efectuadas no local, foram efectuados os registos dos consumos dos equipamentos de ar condicionado – Fig. 3-4, consumo dos escritórios – Fig. 3-5 (medição esta que engloba os consumos de iluminação e equipamento (computadores, impressoras, etc.)) e do consumo global de electricidade que é consumida no quadro geral – Fig. 3-6 (o qual alimenta o quadro dos escritórios, o quadro de ar condicionado e a fábrica). O período de registo foi de 6ª a 2ª, superior ao exigido (24h durante um dia normal de funcionamento) pelo que também foi possível monitorizar os consumos durante o fim-de-semana, permitindo assim efectuar uma estimativa mais exacta dos respectivos consumos indicando os consumos que permanecem constantes ao longo do dia. Como podemos constatar nas Fig. 3-5 e Fig. 3-4, durante a tarde de sábado houve uma variação de consumos em relação ao resto do fim-de-

semana. Depois de contactado o proprietário, tal facto deve-se a uma ida esporádica ao escritório que não se verifica durante o resto do ano pelo que esta variação foi ignorada.

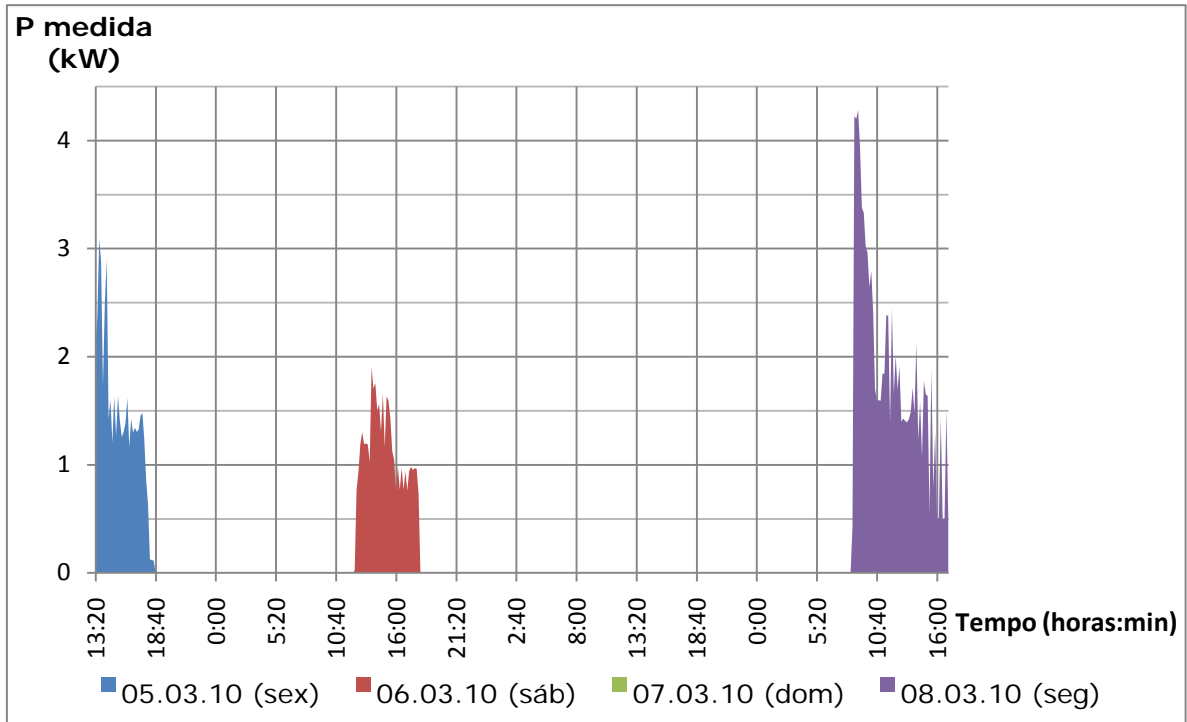


Figura 3-4 Medições efectuadas ao quadro de AVAC.

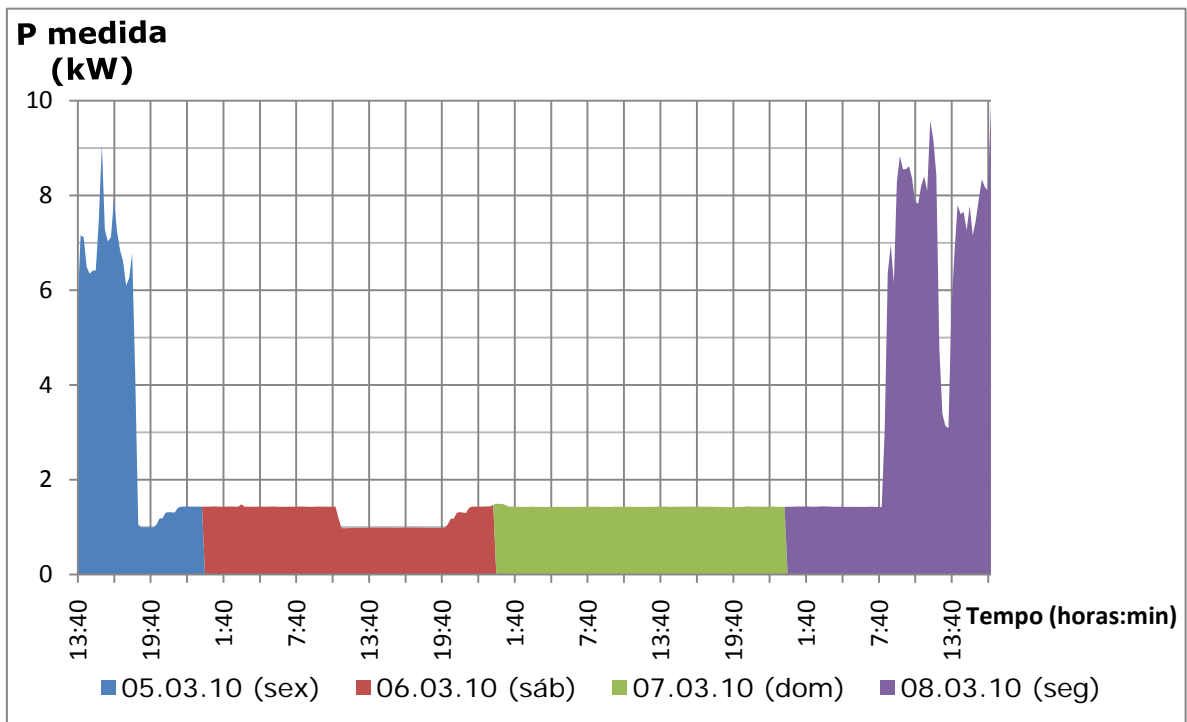


Figura 3-5 Medições efectuadas no quadro dos escritórios.

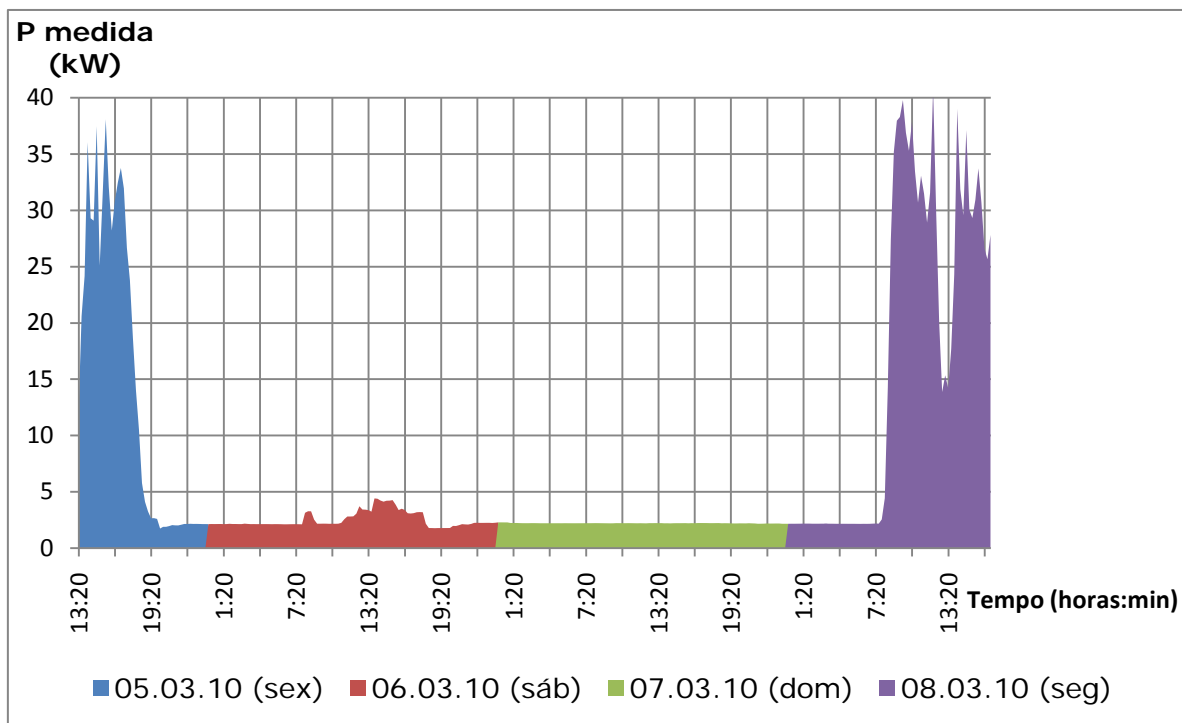


Figura 3-6 Medições efectuadas no quadro geral da fábrica o qual alimenta o quadro dos escritórios e de AVAC.

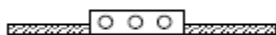
A climatização dos espaços úteis climatizados é efectuada através de várias unidades individuais do tipo *split*, sendo que as suas características se encontram especificadas no anexo G. O número da unidade corresponde à zona térmica que o equipamento climatiza, a qual se pode constatar na Fig. 3-2. No que diz respeito ao horário de funcionamento e às temperaturas de conforto, cada funcionário podia ajustar os equipamentos à sua vontade pelo que, à falta de informação exacta, foi inicialmente definido que os equipamentos estariam a funcionar todos os dias úteis, das 8h00 às 18h00 (tal como as medições eléctricas efectuadas no local o indicam) e que as temperaturas de conforto definidas eram de 20,5°C para aquecimento e de 25°C para arrefecimento.

No que diz respeito ao registo da envolvente, no anexo E encontra-se o levantamento dos coeficientes globais de transferência de calor dos vários elementos da envolvente opaca. Tendo em conta que não se dispunha do calor específico dos vários elementos construtivos da envolvente, esta foi modelada de uma forma simplificada, com um tipo de material que não toma em consideração a inércia térmica. No anexo F podem-se observar as propriedades térmicas dos envidraçados existentes.

Relativamente à ocupação, no anexo A encontra-se o registo do número de ocupantes existentes no edifício nos dias das visitas. A actividade metabólica adoptada foi a de 1 Met (calor libertado por um ocupante e é igual a 58 [W/m²], sendo adoptada a superfície de referência de 1,8 [m²]).

No que concerne à iluminação, nos anexos B e C encontra-se uma descrição das várias armaduras existentes e suas respectivas potências, bem como um levantamento do número de armaduras por zona térmica e respectivo horário de funcionamento utilizado na simulação real. O horário de funcionamento adoptado para os espaços úteis – escritórios climatizados e corredor (zona 9_10) foi baseado nas medições efectuadas; o horário adoptado nos espaços

não úteis foi baseado na informação dada pelos ocupantes. Relativamente às fracções convectiva e radiativa do calor libertado pelas lâmpadas e visível, as quais dependem da posição da armadura, foi efectuada a aproximação de atribuir os valores referentes à posição da armadura mais frequente a qual se encontrava montada no tecto falso (do Inglês *Recessed*) (Fig. 3-6). Assim, as fracções radiativa, visível e convectiva adoptadas foram de 0,72; 0,18 e 0,10, respectivamente.



Recessed

Figura 3-7: Posição da armadura mais frequente no edifício (imagem retirada do documento *InputOutputReference* do software Energyplus, Figura 41 página 364).

Relativamente aos restantes equipamentos (computadores, impressoras, etc) a estimativa da potência média de consumo e horário de funcionamento dos mesmos foi efectuada através da diferença das medições do quadro dos escritórios – Fig. 3-4 e a estimativa dos consumos de iluminação atrás descrita. Sendo assim, foi adoptada a potência média de 3,1 kW nos dias úteis das 8h às 18h e de 1,4 kW no restante período. As fracções convectiva e radiativa adoptadas foram 0,8 e 0,2, respectivamente.

3.1 Validação de resultados

De modo a validar os consumos obtidos na simulação será averiguada a diferença entre os resultados obtidos na simulação real e a previsão efectuada, através das medições no local e das facturas, cujo valor é inferior ao exigido no presente regulamento (desvio inferior a 10%). Na Tabela 3-1 encontram-se as previsões do consumo bem como os resultados obtidos.

Tendo em conta que não existia um contador eléctrico apenas para os escritórios, em simultâneo com as medições nesse espaço, foi efectuada uma medição do quadro geral permitindo assim constatar que apenas 37290 [kWh] do consumo anual facturado é efectivamente *consumido* no escritório. Na Fig. 3-6 é possível observar a medição efectuada no quadro geral.

Tendo em conta que o software DesignBuilder não permitia a modelação de pontes térmicas; foi posteriormente incrementado o consumo de aquecimento em 5%; de acordo com o DL 79/2006 e com as perguntas e respostas do RSECE-energia.

Tabela 3-1 Validação da simulação real do escritório de fábrica.

	Consumos [kWh/ano]		desvio %	Tolerância	
	Facturas	Simulação Real [kWh]		min	max
TOTAL	37290	37331	0.11	33561	41019
Iluminação	15894	16039	0.91	14305	17484
AVAC	4762	4289	-9.94	4286	5239
Outros	16633	17002	2.22	14970	18296
Aquecimento		1962	*	2060	
Arrefecimento		2229			

Como podemos constatar na Tabela 3-1, à excepção do consumo dos consumos de AVAC que registam uma diferença de 9,94% em relação à previsão, todos os restantes consumos registam diferenças significativamente inferiores ao que é exigido no âmbito do RSECE (10%).

Uma das possíveis razões para esta diferença nos consumos de AVAC poderá estar relacionada com a dificuldade em determinar com exactidão os horários de funcionamento e as temperaturas de conforto definidas pelos ocupantes. Contudo, tendo em conta que estes valores são aceitáveis, não se irão efectuar alterações.

Uma vez finalizada a simulação nas condições reais procedeu-se à determinação do IEE_{real} . Como podemos constatar pela comparação dos resultados na Tabela 3-2, verifica-se que o IEE_{real} é de 30,7 [$kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})$] que é significativamente inferior ao exigido, tal como se pode comprovar pelo anexo X do RSECE que indica que o IEE limite regulamentar para esta tipologia é de 40 [$kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})$].

Tabela 3-2 Determinação do Índice de Eficiência Energética real.

Consumos da simulação real			
IEE real	30,7	[$kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})$]	
	Factor conversão	0,29	[kg_{ep}/kWh]
	Área pavimento	345	[m^2]
Consumo anual	37331	[kWh]	
Iluminação	16039	[kWh]	
Aquecimento	1962	Agravamento de 5%	2060 [kWh]
	Factor correcção climática de aquecimento		0,64
Arrefecimento	2229	[kWh]	
	Factor correcção climática de arrefecimento		1
Outros	17002	[kWh]	

3.2 A simulação nas condições nominais – Cálculo do Índice de Eficiência Energética – IEE

Depois de validada a simulação serão registadas as respectivas alterações de modo a efectuar a simulação nas condições nominais. Com este procedimento procurar-se-á determinar e comparar a *performance energética* do edifício, em relação aos restantes, obtendo a classe de desempenho energético.

Para tal, serão alterados os perfis de funcionamento (equipamentos, ocupação e iluminação) e respectivas densidades de potência (de equipamentos e de ocupação), de acordo com os valores nominais, os quais se encontram definidos no anexo XV do RSECE e que correspondem aos valores padrão para edifícios desta tipologia. Quanto aos espaços não úteis, os seus consumos foram desactivados.

No que diz respeito à ventilação mecânica dos espaços climatizados, os caudais de ar novo adoptados foram os que se encontram no anexo VI do RSECE, sendo posteriormente majorados em 50% devido ao facto da concentração de compostos voláteis ser superior à limite de referência – 0,6 [mg/m^3] (registados nas medições da Qualidade do Ar Interior). Para além disso, também é efectuado um majoramento do caudal de ar novo, tendo em conta a eficiência de ventilação de 80%.

$$\dot{V} = \dot{V}_{Anexo VI} \cdot 1,50 / 0,80$$

Na Tabela 3-3 encontram-se os caudais nominais de ar novo do anexo VI do RSECE e na Tabela 3-4 encontram-se os caudais de ar novo adoptados, tendo em conta os pressupostos atrás indicados.

Tabela 3-3 Caudais de ar novo definidos pelo RSECE para as condições nominais.

Caudais nominais		
	$[m^3/h \text{ pessoa}]$	$[m^3 / (h m^2)]$
Gabinetes	35	5
Circulação		5

Tabela 3-4 Caudais de ar novo adoptados no escritório de fábrica.

Caudais nominais utilizados tendo em conta a existência de compostos voláteis e a eficiência de ventilação de 80%		
	$[m^3/h \text{ pessoa}]$	$[m^3 / (h m^2)]$
Gabinetes	66	9
Circulação	0	9

O caudal de ar novo a adoptar para cada zona será o valor máximo entre o caudal em função do número de pessoas e o caudal em função da área de pavimento.

Os resultados da simulação nominal, bem como o respectivo índice de eficiência energética foram os seguintes:

Tabela 3-5 Resultados da simulação nominal bem como determinação do IEE.

Consumos da simulação nominal				
IEE nominal	33,6	$[kgep / (m^2 \text{ ano})]$		
Factor conversão	0.29		$[kgep/kWh]$	
Área pavimento	345		$[m^2]$	
Iluminação	16767	$[kWh]$		
Aquecimento	4078	Agravamento de 5%	4281	$[kWh]$
Factor correcção climática de aquecimento			0,64	
Arrefecimento	2613	$[kWh]$		
Factor correcção climática de arrefecimento			1	
Outros	17854	$[kWh]$		

Como podemos constatar na Tabela 3-5, os resultados obtidos da simulação nas condições nominais permitem obter um IEE superior ao real e inferior ao valor limite definido no anexo X do RSECE para esta tipologia, o qual é de 40 $[kgep/(m^2 \text{ ano})]$. Sendo assim, este edifício fica isento da execução de um plano de racionalização energética pelo que não é necessário implementar medidas de melhoria.

Quanto à classe energética, esta é obtida pela razão entre o $IEE_{nominal}$ e o IEE_{limite} regulamentar para edifícios novos (os quais estão definidos no anexo XI e, neste caso em

especial corresponde a 35 [$kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})$]), o qual é igual a 0,96 que corresponde a uma classe energética B-.

3.3 Medidas de melhoria

Embora não seja legalmente obrigatória a análise da viabilidade económica de medidas de melhoria, foi efectuada uma nova simulação onde se procedeu à alteração dos balastos ferromagnéticos das 47 armaduras, com 4 lâmpadas fluorescentes tubulares de 18 [W], por balastos electrónicos, permitindo assim diminuir a potência das respectivas armaduras de 81 para 70 [W]. Na Tabela 3-6 e na Tabela 3-7 encontram-se os resultados obtidos das simulações reais e nominais efectuadas com esta medida de melhoria, bem como o cálculo do respectivo IEE.

Tabela 3-6 Resultados da simulação nas condições reais bem como determinação do IEE_{real} com a medida de melhoria.

Consumos da simulação real da medida de melhoria				
IEE_{real}	29,6	[$kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})$]		
Factor conversão	0,29	[kg_{ep}/kWh]		
Área pavimento	345	[m^2]		
Consumo anual	35964	[kWh]		
Iluminação	14727	[kWh]		
Aquecimento	1999	Agravamento de 5%	2099	[kWh]
Factor correcção climática de aquecimento			0,64	
Arrefecimento	2136	[kWh]		
Factor correcção climática de arrefecimento			1	
Outros	17002	[kWh]		

Tabela 3-7 Resultados da simulação nas condições nominais bem como determinação do IEE com a medida de melhoria.

Consumos da simulação nominal da medida de melhoria				
$IEE_{nominal}$	32,2	[$kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})$]		
Factor conversão	0,29	[kg_{ep}/kWh]		
Área pavimento	345	[m^2]		
Iluminação	15179	[kWh]		
Aquecimento	4204	Agravamento de 5%	4414	[kWh]
Factor correcção climática de aquecimento			0,64	
Arrefecimento	2476	[kWh]		
Factor correcção climática de arrefecimento			1	
Outros	17854	[kWh]		

Com esta simples medida de melhoria é possível obter uma poupança de 1367 [kWh] (obtidos a partir das condições reais) o que, considerando o preço da electricidade deste edifício era de 0,133 € / kWh corresponde a uma poupança de 182 € anuais face a um investimento adicional de 1618 € correspondente à diferença entre o custo da substituição dos respectivos balastros ferro-magnéticos por electrónicos.

A viabilidade económica desta medida de eficiência energética é calculada com base na metodologia definida no anexo XII do RSECE, a qual consiste na determinação de um período de retorno simples (PRS) que corresponde à seguinte definição:

$$PRS = \frac{C_a}{P_1} [anos]$$

Em que C_a corresponde ao custo adicional referente à diferença entre o custo da medida de melhoria e a solução actual e P_1 corresponde à poupança anual.

Esta metodologia não tem em consideração eventuais custos de encargos financeiros inerentes ao investimento inicial bem como a variação do custo da electricidade durante o retorno. Contudo, e tendo em conta que a tendência actual nos indica que o preço da electricidade irá aumentar a uma taxa superior à inflação devido a vários factores, dos quais se destacam os elevados investimentos que se têm andado a efectuar no desenvolvimento de fontes renováveis de energia e a especulação dos mercados do petróleo, é possível afirmar que se trata de uma boa aproximação.

O PRS desta medida de melhoria é de 8,9 anos.

4 Aplicação a um segundo caso real – A simulação energética de um edifício de escritórios de 6 andares e uma filial bancária no Rés-do-Chão.

Depois de concluído o processo de aprendizagem do software durante o qual se simulou o escritório de fábrica atrás descrito foi dado início a um novo caso de estudo – um edifício de escritórios de 6 andares, com uma filial bancária (a qual se encontra encerrada) no Rés-do-chão, situado no concelho do Porto, cujas fachadas frontal e traseira se podem observar na Fig. 4-1. Ao invés do caso anterior em que o levantamento dos dados já se encontrava efectuado, neste caso houve a oportunidade de participar no levantamento de dados no edifício e tratamento dos mesmos.

Neste capítulo efectuar-se-á uma apresentação dos principais dados introduzidos na simulação energética deste edifício, nas condições reais de funcionamento, bem como as estimativas dos consumos nas condições reais de funcionamento que levarão à posterior “calibração” e validação real. Finalmente serão definidas as mudanças efectuadas, de modo a efectuar a simulação nas condições nominais.

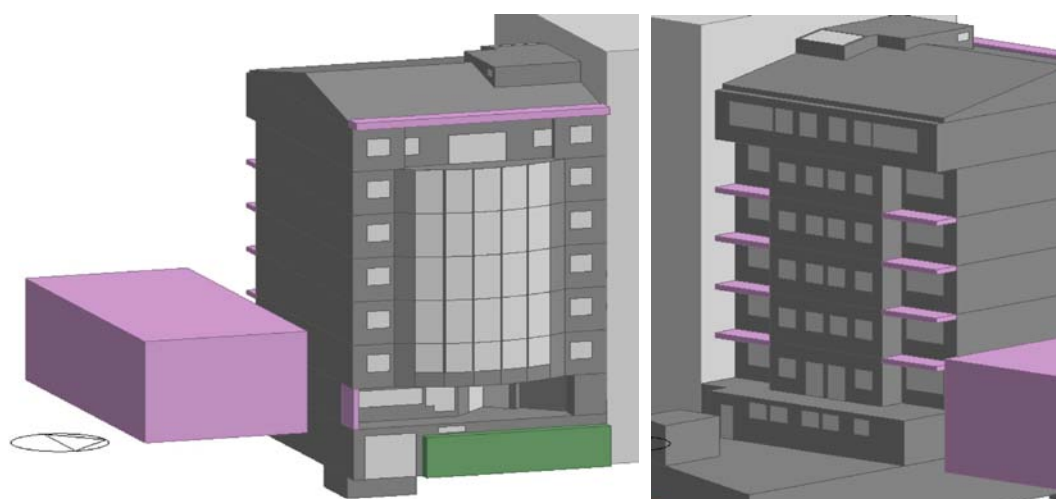


Figura 4-1 Fachada principal (esquerda) e traseira (direita) do edifício em estudo

Tendo em conta que a planta fornecida era um esboço do edifício e verificando-se que algumas das dimensões feitas no local apresentavam desvios superiores a 10%, o que constitui um erro grave no âmbito da certificação energética de edifícios, foi efectuado um levantamento dimensional das principais dimensões de todos os compartimentos do edifício. No anexo I é possível visualizar as plantas devidamente modificadas com a designação de todos os compartimentos, bem como as zonas térmicas adoptadas.

Os critérios de zonamento aplicados permitiram agrupar compartimentos com características semelhantes na mesma zona térmica, de forma a reduzir o número total de zonas a simular, diminuindo deste modo o esforço computacional sem comprometer a qualidade dos resultados. O zonamento térmico interno do edifício teve como critério para a divisão dos vários pisos em diferentes zonas térmicas, o tipo de utilização dos diversos compartimentos, a existência ou não de sistema de AVAC (quer nas condições reais quer nas condições nominais) e a orientação solar.

Foram adoptados os mesmos dados meteorológicos já utilizados no escritório de fábrica.

No que diz respeito ao registo da envolvente, no ANEXO J encontra-se o levantamento dos coeficientes globais de transferência de calor dos vários elementos da envolvente opaca. Tal como no escritório de fábrica, também não se dispunha do calor específico dos vários elementos construtivos da envolvente, pelo que estes foram modelados de uma forma simplificada, com um tipo de material que não toma em consideração a inércia térmica. A impossibilidade de modelar as pontes térmicas no software DesignBuilder também obrigou a efectuar um incremento do consumo de aquecimento em 5 %. No anexo D podem-se observar as propriedades térmicas dos envidraçados existentes.

No que concerne à iluminação, nos anexo J e anexo C encontra-se uma descrição das várias armaduras existentes e suas respectivas potências, bem como um levantamento do número de armaduras por zona térmica utilizado na simulação real. Relativamente às fracções convectiva e radiativa do calor libertado pelas lâmpadas e visível, as quais dependem da posição da armadura, tal como no escritório de fábrica, foi efectuada a aproximação de valores referentes à posição da armadura mais frequente, a qual se encontrava montada no tecto falso (do Inglês *Recessed*) (Fig. 3-7). Assim, as fracções radiativa, visível e convectiva adoptadas foram de 0,72; 0,18 e 0,10, respectivamente. Tendo em conta que não foi possível monitorizar o consumo de iluminação individualmente, não foi possível criar um horário de funcionamento preciso, pelo que os horários adoptados basearam-se nas monitorizações dos consumos do quadro geral, da UPS e da informação fornecida pelo responsável da manutenção.

Os horários de funcionamento adoptados foram os seguintes:

- 11,5 horas de funcionamento diário das 8h00 às 19h30 de 2^a a 6^a em todas as zonas térmicas dos pisos 1, 3, 4 (à excepção do bar – zona 602), 5; zona 805 do piso 6, caixa de escadas (zona 205), garagem (zona 105) e zona 110 (piso -1);
- 3 horas de funcionamento diário (de 2^a a 6^a) no bar – zona 602: das 10h30 às 11h00, das 12h30 às 14h30 e das 15h30 às 16h00;
- Iluminação exterior: Verão - 12h dia 7 dias por semana durante 5 meses; Inverno - 15h dia 7 dias por semana 7 meses;
- 1 hora por semana – Piso -1, zonas 104, 108 e 107 (grupo bombagem de água situado debaixo da garagem), piso 0, zonas 206 e 204 (casa do gerador de emergência) e casa das máquinas dos elevadores (zona 903, cobertura)
- Zona 201_202_203, Piso 0; todas as zonas térmicas dos pisos 2 e 6 (à excepção da zona térmica 805 do piso 6); zonas 904, 905 e 906 – Desligado durante todo o ano

Relativamente à ocupação, no anexo M encontra-se o registo do número de ocupantes existentes nas várias zonas térmicas do edifício, nos dias das visitas. A actividade metabólica adoptada foi a de 1 Met. Relativamente aos horários de ocupação, foi definido que os mesmos são iguais aos horários de iluminação.

No anexo L encontram-se os vários equipamentos de escritório existentes, bem como as respectivas potências médias de consumo. A determinação da potência dos servidores e bastidores existentes no 2º piso bem como a dos computadores foi efectuada pela monitorização dos consumos da UPS. À excepção dos servidores e bastidores, o horário de funcionamento dos restantes equipamentos foi o mesmo que o horário de ocupação. Relativamente às fracções convectiva e radiativa adoptadas foram as de 0,80 e 0,20 respectivamente.

A climatização dos espaços úteis é efectuada através de várias unidades individuais do tipo *split*, sendo que as suas características se encontram especificadas no anexo N. Tendo em conta que existiam zonas térmicas climatizadas em mais do que uma unidade exterior, no anexo O encontram-se as potências adoptadas nas várias zonas térmicas (correspondentes à soma da potência nominal das unidades interiores) bem como a respectiva eficiência adoptada, a qual corresponde a um cálculo ponderado entre as potências e eficiências das várias unidades interiores existentes em cada zona. Na sala dos servidores, zona 409, foi-nos dito pelo responsável da manutenção que, embora a zona tivesse dois equipamentos, apenas um deles, o mais recente, se encontra em funcionamento pelo se definiu que apenas este se encontra em funcionamento nas condições reais e nominais. No que diz respeito ao horário de funcionamento, à excepção da sala dos servidores e dos bastidores, zona 407, em que os equipamentos funcionam ininterruptamente com temperaturas de conforto constantes (21°C na sala dos servidores e 22°C na sala dos bastidores), foi definido que nas restantes zonas térmicas, os equipamentos de AVAC têm um horário de funcionamento igual ao horário de iluminação. As temperaturas de conforto definidas para os restantes equipamentos foram de 20°C para aquecimento e 21°C para arrefecimento.

4.1 Medições efectuadas

Relativamente às medições efectuadas no local, foram efectuados os registos dos consumos do quadro geral – Fig. 4-2, da UPS – Fig. 4-3, do grupo de bombagem de água – Fig. 4-4 e dos elevadores – Fig. 4-5.

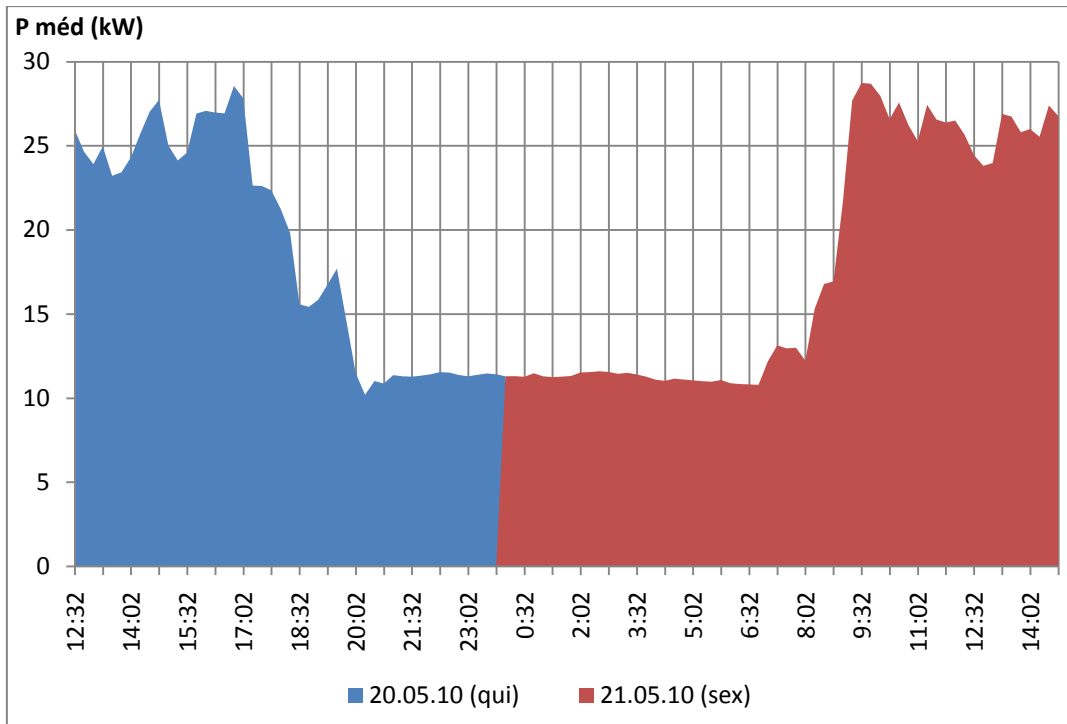


Figura 4-2 Medições efectuadas no quadro geral do edifício em estudo.

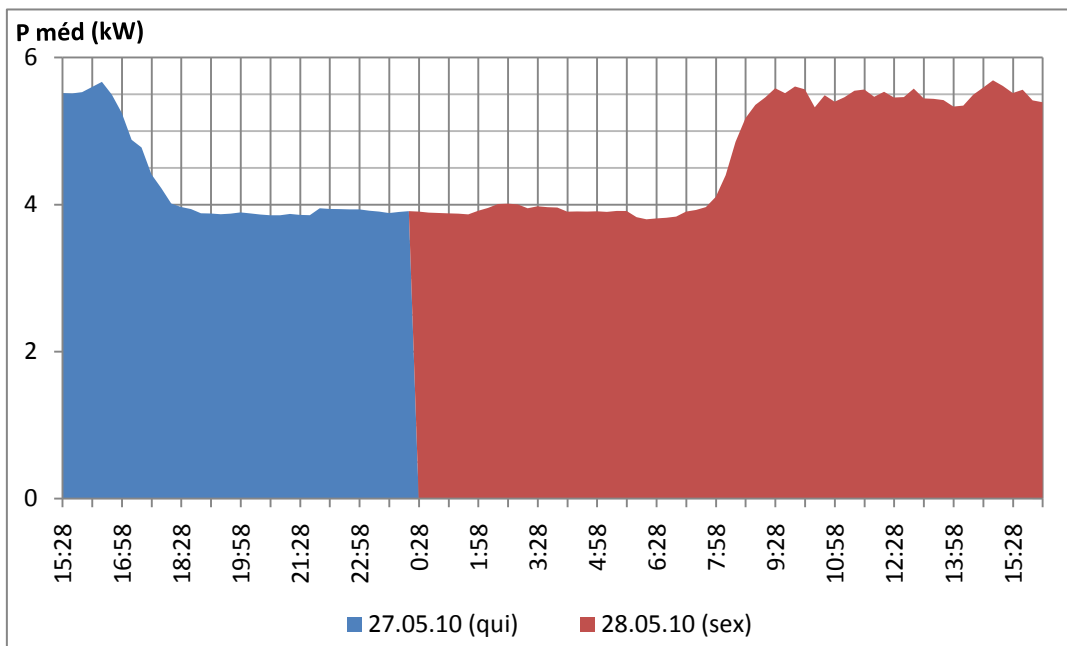


Figura 4-3 Medições efectuadas no quadro da UPS.

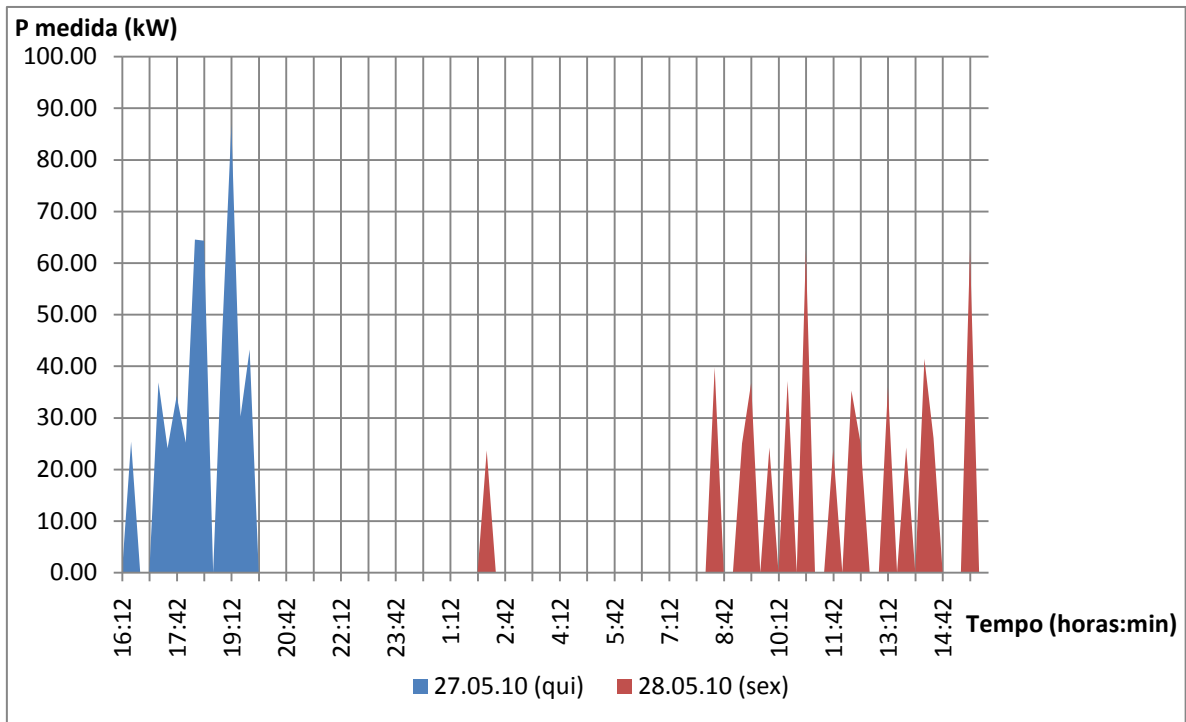


Figura 4-4 Medições efectuadas no quadro das bombas de água

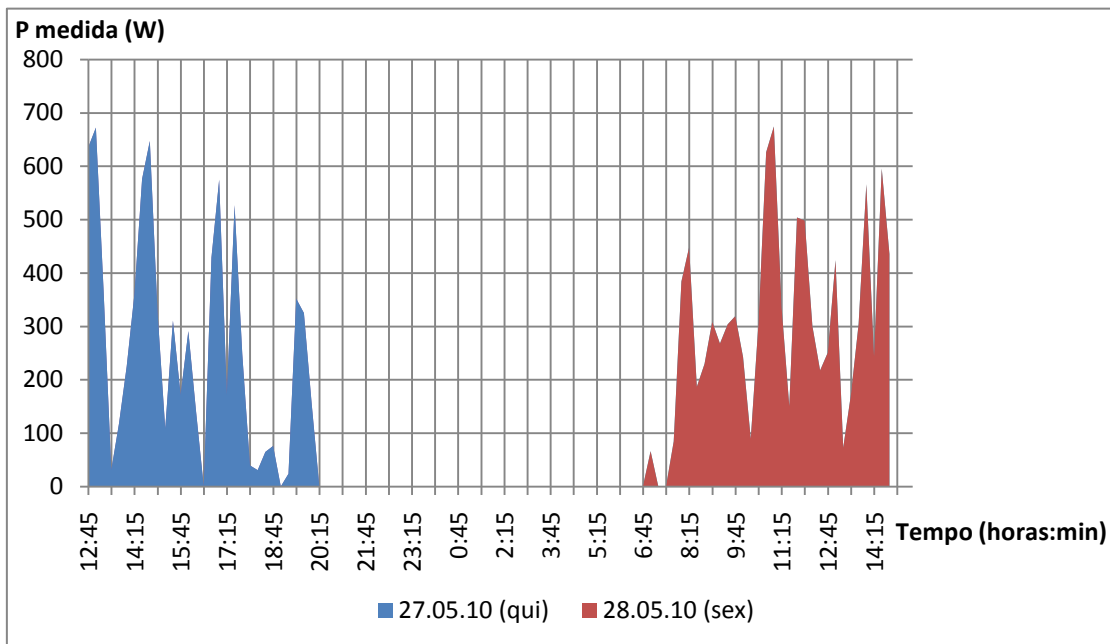


Figura 4-5 Medições efectuadas no quadro dos elevadores (consumos médios registados de 15 em 15 minutos – a potência máxima registada foi de 40 [kW]).

Relativamente aos consumos dos elevadores e bombas de água, também não houve necessidade de os incluir na simulação, pois os mesmos encontram-se em espaços não úteis, os quais não são climatizados nas simulações efectuadas, sendo os seus consumos posteriormente adicionados para a validação do consumo global do edifício.

No que diz respeito aos consumos dos equipamentos de ar condicionado, iluminação, ventilação da garagem e do consumo dos restantes equipamentos que não são “alimentados” pela UPS, não foi possível efectuar um registo do seu consumo geral, pois estes encontravam-se separados pelos vários quadros eléctricos do edifício e seria necessário o registo de dezenas de medições, o que tornaria o trabalho muito dispendioso. Consequentemente, será efectuada uma estimativa dos respectivos consumos através da diferença dos consumos do quadro geral e das restantes medições, bem como das variações dos consumos registadas, as quais permitem assim obter informações credíveis quanto aos perfis de utilização (que serão definidos mais à frente).

Tendo em conta que o ventilador da garagem se encontrava num local não acessível e que o responsável da manutenção do edifício não conhecia as suas características técnicas nem o seu horário de funcionamento, foi definido que o consumo médio do mesmo terá como base os valores nominais definidos no anexo XV do RSECE para a densidade de potência de um edifício de escritórios ($8 [W / m^2]$), e o número de horas de funcionamento será o correspondente às variações no registo do consumo do quadro geral – Fig. 4-2 – que neste caso corresponde a 11,5 horas por dia, o que perfaz um consumo anual de $5911 kWh$. Uma vez que a garagem não é aquecida e arrefecida nas condições reais e nominais, o consumo de ventilação não foi incluído na simulação, sendo posteriormente adicionado aos resultados da mesma.

No bar, zona 602, existe um termoacumulador eléctrico de 30 litros, ao qual se atribuiu um consumo de $622 [kWh/ano]$ correspondentes a um consumo diário de 2ª a 6ª de 32l de água a $60^\circ C$ (sendo a temperatura média da rede pública de $15^\circ C$) e um rendimento de 70%.

Assim, a Tabela 4-1 que a seguir se apresenta indica a previsão dos consumos.

Tabela 4-1 Previsão dos consumos nas condições reais a partir das medições efectuadas e dos registos das facturas.

	Consumo [MWh]	Repartição [%]
Total	132	100%
Ventilação garagem	5,91	4,48%
Elevadores	1,21	0,92%
Bombas	0,090	0,07%
AQS	0,622	0,47%
UPS	42,1	31,9%
AVAC + Equipamento não "alimentado" pela UPS	29,9	22,7 %
Iluminação	52,1	39,5%

Como podemos constatar, não será possível averiguar com exactidão a repartição dos consumos de AVAC e dos restantes equipamentos não alimentados pela UPS pelo que, dos resultados da simulação apenas se comparará o consumo global, sendo posteriormente adicionados os consumos da ventilação da garagem, dos elevadores e do grupo de bombagem não incluídos na simulação.

4.2 A simulação nas condições nominais de funcionamento

Uma vez validada a simulação nas condições reais serão efectuadas as devidas modificações, de modo a efectuar a simulação nas condições nominais e obter o $IEE_{nominal}$. Nesta secção serão descritas as modificações efectuadas de modo a obter a simulação nominal.

Os perfis de densidade de potência dos equipamentos, a ocupação bem como os respectivos horários de funcionamento e de iluminação, foram definidos de acordo com o anexo XV do RSECE.

As zonas que no anexo I estão definidas como “*Espaço útil não climatizado nas condições reais e climatizado nas condições nominais*” passarão a estar climatizadas sendo que, na ausência de equipamento (no anexo O encontram-se as várias zonas térmicas que têm equipamentos de AVAC), se adoptará o equipamento *default* definido no RSECE: resistência eléctrica para aquecimento (eficiência igual a 1) e bomba de calor para arrefecimento com $EER = 3$. As temperaturas de conforto serão as definidas no RSECE e correspondem a 20°C para aquecimento e 25°C para arrefecimento.

Em todos os compartimentos climatizados será implementada a ventilação de ar novo, em que os respectivos caudais se encontram definidos no anexo VI do RSECE, em função da tipologia das várias zonas térmicas. No entanto, a presença de compostos voláteis e a eficiência de ventilação de 80% obrigam a efectuar um majoramento do caudal de:

$$\dot{V} = \dot{V}_{Anexo\ VI} \cdot 1,50 / 0,80$$

Na Tabela 4-2 encontram-se os caudais nominais definidos no RSECE e na Tabela 4-3 encontram-se os caudais adoptados, tendo em conta os majoramentos atrás referidos.

Tabela 4-2 Caudais de ar novo definidos pelo RSECE para as condições nominais.

Caudais nominais		
	$[m^3/h\ pessoa]$	$[m^3/(h\ m^2)]$
Gabinetes	35	5
Circulação		5
Salas de refeições	35	

Tabela 4-3 Caudais de ar novo adoptados no edifício de escritórios com filial bancária no rés-do-chão.

Caudais nominais utilizados tendo em conta a existência de compostos voláteis e a eficiência de ventilação de 80%		
	$[m^3/h\ pessoa]$	$[m^3/(h\ m^2)]$
Gabinetes	66	9
Circulação	0	9
Salas de refeições	66	

O caudal de ar novo a adoptar para cada zona será o valor máximo entre o caudal em função do número de pessoas e o caudal em função da área de pavimento.

O sistema de AQS existente no bar também permanecerá, na simulação nominal, com o mesmo consumo anual registado na simulação real.

Os consumos de ventilação e equipamentos da garagem adoptados foram os que se encontram definidos no anexo XV para edifícios de escritórios. Tendo em conta que este compartimento não se encontra climatizado, os consumos da garagem serão calculados manualmente e posteriormente adicionados aos consumos da simulação.

Determinação dos IEE de referência ponderados

De modo a averiguar se os consumos obtidos se encontram dentro do limite regulamentar e considerando que o edifício em estudo é constituído por diferentes tipologias – escritórios, filial bancária e garagem – houve necessidade de determinar o IEE ponderado em função das respectivas áreas de pavimento. Na Tabela 4-4 encontram-se os IEE limite de cada uma das tipologias bem como a respectiva área de pavimento. Assim, teremos um IEE ponderado igual a 36,9 [$kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})$].

Tabela 4-4 Determinação do IEE ponderado de referência do edifício em estudo

	$IEE_{ref \text{ existente}} [kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})]$	Área [m^2]
Escritórios	40	1252
Filiais de Bancos e Seguradoras	40	319
Estacionamento 10h/dia (2ª a 6ª)	12	194
$IEE_{ref \text{ existentes}}$	36,9	

Tendo em conta que o edifício em estudo é um edifício existente segundo o RSECE, também será necessário calcular o IEE ponderado para edifícios de serviços novos, de modo a obter a classe energética.

Tabela 4-5 Determinação do IEE ponderado para o edifício em estudo se o mesmo fosse novo para a determinação da classe energética.

	$IEE [kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})]$	Área [m^2]
Escritórios	35	1252
Filiais de Bancos e Seguradoras	35	319
Estacionamento 10h/dia (2ª a 6ª)	12	194
$IEE_{ref \text{ novos}}$	32,5	

Determinação dos factores de correcção climática

Uma vez que o RSECE tem como objectivo a determinação e comparação do desempenho energético dos edifícios e que o nosso país apresenta condições meteorológicas muito distintas, foram criados dois factores de correcção do consumo de energia de arrefecimento e aquecimento com o intuito de ter em conta as condições meteorológicas de Verão e de Inverno do local em causa. Ao contrário do escritório de fábrica em que os respectivos

Simulação dinâmica de um edifício de acordo com as exigências do DL 79-2006 RSECE, usando o software de cálculo "Energy Plus"

factores de correcção climática já se encontravam determinados, foi necessário proceder à sua determinação. No anexo IX do RSECE encontra-se descrita a metodologia de cálculo dos mesmos.

Assim, tendo em conta que o edifício se encontra no concelho do Porto e que o factor de forma do mesmo é igual a 0,42, obteve-se um factor de correcção do consumo de energia de aquecimento de 0,65 e um factor de correcção do consumo de energia de arrefecimento de 1.

5 Resultados obtidos nas simulações efectuadas ao edifício de escritórios com filial bancária no Rés-do-Chão

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos nas várias simulações efectuadas ao edifício de escritórios, com filial bancária no Rés-do-Chão, bem como a respectiva discussão dos mesmos.

5.1 Validação da simulação nas condições reais

Depois de efectuada a simulação nas condições reais obtiveram-se os resultados que se encontram na Tabela 5-1, aos quais foram somados os consumos não incluídos na simulação (grupo de bombagem de água, elevadores e ventilação da garagem). Tendo em conta que não se modelou separadamente os consumos da UPS e dos restantes equipamentos, que não foi possível efectuar uma repartição credível dos consumos de AVAC e dos restantes equipamentos não alimentados pela UPS, apenas será comparado o consumo global do edifício.

Relativamente ao tempo da simulação, esta demorou aproximadamente 2 horas e meia num computador com 2,2 GHz e processamento paralelo e 3Gb de RAM.

Como podemos constatar, os consumos de AQS e de iluminação apresentam um desvio de acordo que se encontra dentro dos valores legais. O desvio de 4,8 % observado no consumo de iluminação pode dever-se ao facto de se ter efectuado a modelação da potência de iluminação em $[W]$ através da densidade de potência em $[W/m^2]$, por intervalos discretos de $1 W / m^2$.

No que diz respeito à validação do consumo global do edifício, também se obteve um desvio de 6,6 %, inferior ao previsto pela lei. Consequentemente, podemos concluir que a simulação se encontra “calibrada”.

No entanto, observando com atenção os resultados obtidos bem como o limite inferior do consumo global do edifício, seria possível “calibrar” e validar a simulação com um consumo anual inferior ao registado. Considerando que não foi fornecida qualquer informação quanto às temperaturas de conforto, bem como aos períodos de funcionamento dos sistemas de AVAC e dos equipamentos que não estão a ser alimentados pela UPS, poderiam ter sido diminuídos ligeiramente os períodos de funcionamento diário dos mesmos bem como o período de funcionamento dos equipamentos de AVAC e a temperatura de conforto para aquecimento. Também se poderia aumentar ligeiramente a temperatura de conforto para arrefecimento, de modo a obter um consumo anual mais reduzido na simulação real, o que teria impacto directo na determinação do IEE_{real} . Estas modificações não teriam impacto directo na determinação do $IEE_{nominal}$ pois, os horários de funcionamento atrás referidos e as temperaturas de conforto nas condições nominais, estão definidas no anexo XV do RSECE.

Contudo, a determinação da viabilidade económica das medidas de melhoria será influenciada por estes parâmetros.

Tabela 5-1 Validação dos resultados obtidos na simulação real

Validação da simulação real					
	Previsão	Real	desvio	Tolerância	
	[MWh]	[MWh]	%	mínimo [kWh]	máximo [kWh]
Equipamento não UPS + UPS		58,8			
UPS	42,1				
Bombas	0,090	0,090			
Elevadores	1,21	1,21			
Iluminação	52,1	49,6	-4,8%	46,9	57,3
Aquecimento ¹		2,16			
Arrefecimento		22,3			
AQS	0,622	0,614	-1,2%	0,560	0,684
Ventilação garagem	5,91	5,91			
TOTAL	132	140,7	6,6%	118,8	145,2

De modo a obter uma validação dos consumos mais realista, para além das exigências do RSECE que apenas exigem que o consumo médio anual seja semelhante à previsão das facturas também se efectuou uma comparação com o consumo diário do dia em que se efectuou a medição. Na Tabela 5-2 podemos observar o consumo global diário do edifício nas medições e na simulação.

Tabela 5-2 Validação dos resultados obtidos na simulação real durante o período das medições.

Consumo Simulação + estimativas [kWh]	
Equipamento não UPS + UPS	185
Bombas	0,3
Elevadores	4,0
Iluminação	190
AVAC_aquecimento	0,3
AVAC_arrefecimento	89,8
AQS	2,4
Ventilação garagem	22,7
TOTAL Simulação	495
TOTAL Medições	483
Desvio	-2,5%

Como podemos constatar, o consumo global diário encontra-se dentro do esperado.

¹ O consumo de aquecimento referido já inclui um incremento de 5 % devido à incapacidade do DesignBuilder em modelar pontes térmicas. O resultado do consumo antes do respectivo incremento encontra-se na Tabela5-3 e é de 2,05 [MWh]

Na Tabela 5-3 é possível observar a determinação do IEE_{real} tendo em conta os factores de correcção climática dos consumos de aquecimento e de arrefecimento. Assim, obteve-se um IEE_{real} de 23 [$kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})$].

Tabela 5-3 Determinação do IEE_{real}

Consumos da simulação real			
IEE_{real}	23,0	[$kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})$]	
Factor conversão	290	[kg_{ep}/MWh]	
Área pavimento	1766	[m^2]	
Consumo anual	140,7	[MWh]	
Iluminação	49,6	[MWh]	
Aquecimento	2,05	Agravamento de 5%	2,16 [MWh]
Factor correcção climática de aquecimento			0,65
Arrefecimento	22,3	[MWh]	
Factor correcção climática de arrefecimento			1
Equipamento	58,8	[MWh]	
Bombas	0,090	[MWh]	
Elevadores	1,21	[MWh]	
AQS	0,614	[MWh]	
Ventilação Garagem	5,91	[MWh]	

5.2 A simulação nas condições nominais – determinação do $IEE_{nominal}$

Uma vez efectuada e calibrada a simulação real, foram efectuadas as devidas modificações de modo a obter a simulação nas condições nominais, bem como o respectivo $IEE_{nominal}$ que será posteriormente calculado.

Como podemos observar nos resultados da Tabela 5-4, o $IEE_{nominal}$ é de 28,4 [$kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})$] o que dá uma **classe energética B-**.

Tanto o $IEE_{nominal}$ como o IEE_{real} encontram-se abaixo do $IEE_{ref \text{ existentes}}$ – 36,9 [$kg_{ep} / (m^2 \text{ ano})$] pelo que, tendo em conta a pergunta F.2 das perguntas e respostas do RSECE-Energia, versão de 12 de Novembro de 2008, não será necessária a execução de um plano de racionalização energética.

Tabela 5-4 Determinação do $IEE_{nominal}$

Consumos da simulação nominal			
$IEE_{nominal}$	28,4	[kgep / (m² ano)]	
Factor conversão	290	[kgep/MWh]	
Área pavimento	1766	[m ²]	
$IEE_{ref\ existentes}$	36,9		
$IEE_{ref\ novos}$	32,5		
$IEE_{nominal} / IEE_{ref\ novos}$	0,87		
		Classe Energética	B-
Iluminação	66,2	[MWh]	
Aquecimento	15,8	Agravamento de 5%	16,6 [MWh]
Factor correcção climática de aquecimento			0,65
Arrefecimento	17,1	[MWh]	
Factor correcção climática de arrefecimento			1
Equipamento	73,0	[MWh]	
AQS	0,614	[MWh]	
Equipamento garagem	1,01	[MWh]	
Ventilação Garagem	4,04	[MWh]	

5.3 Medidas de melhoria

Tal como no escritório de fábrica, embora não seja legalmente obrigatória a análise da viabilidade económica de medidas de melhoria, foi efectuada uma nova simulação onde se procedeu à alteração dos balastros ferro-magnéticos das 202 armaduras, com 4 lâmpadas fluorescentes tubulares de 18 [W], por balastros electrónicos, permitindo assim diminuir a potência das respectivas armaduras de 87 para 54 [W]. Na Tabela 5-5 e na Tabela 5-6 encontram-se os resultados obtidos das simulações reais e nominais efectuadas com esta medida de melhoria, bem como o cálculo do respectivo IEE.

Tabela 5-5 Determinação do IEE_{real} com a medida de melhoria

Consumos da simulação real da medida de melhoria			
IEE real	20,6	[kgep / (m² ano)]	
Factor conversão	290	[kgep/MWh]	
Área pavimento	1766	[m ²]	
Consumo anual	126,6	[MWh]	
Iluminação	36,7	[MWh]	
Aquecimento	2,58	Agravamento de 5%	2,71 [MWh]
Factor correcção climática de aquecimento			0,65
Arrefecimento	20,6	[MWh]	
Factor correcção climática de arrefecimento			1
Equipamento	58,8	[MWh]	
Bombas	0,090	[MWh]	
Elevadores	1,21	[MWh]	
AQS	0,614	[MWh]	
Ventilação Garagem	5,91	[MWh]	

Com esta medida de melhoria é possível obter uma poupança de 14123 [kWh] (obtidos a partir das condições reais) o que, considerando que o preço da electricidade deste edifício era de 0,102 €/kWh, corresponde a uma poupança anual de 1441€, face a um investimento adicional de 2761€ correspondente à diferença entre o custo da substituição dos respectivos balastos ferro-magnéticos por electrónicos. O período de retorno simples (PRS) desta medida de eficiência energética (atrás definido no capítulo 3.3) é de 1,9 anos.

Tabela 5-6 Determinação do $IEE_{nominal}$ com a medida de melhoria

Consumos da simulação nominal da medida de melhoria			
IEE nominal	25,7		[kgep / (m² ano)]
	Factor conversão	290	[kgep/MWh]
	Área pavimento	1766	[m ²]
	$IEE_{ref\ existentes}$	36,9	[kgep / (m ² ano)]
	$IEE_{ref\ novos}$	32,5	
	$IEE_{nominal} / IEE_{ref\ novos}$	0,79	
		Classe Energética	B-
Iluminação	50,6	[MWh]	
Aquecimento	17,4	Agravamento de 5%	18,3 [kWh]
	Factor correcção climática de aquecimento		0,65
Arrefecimento	15,2	[MWh]	
	Factor correcção climática de arrefecimento		1
Equipamento	73,0	[MWh]	
AQS	0,614	[MWh]	
Equipamento garagem	1,01	[MWh]	
Ventilação Garagem	4,04	[MWh]	

No que diz respeito à classe energética do edifício, esta permanecerá constante, classe **B-**, com um $IEE_{nominal}/IEE_{ref\ novos} = 0,79$, sendo que já se encontra próxima da classe B, a qual corresponde a:

$$0,5 < IEE_{nominal}/IEE_{ref\ novos} < 0,75$$

Contudo, a incerteza quanto à veracidade dos vários horários de funcionamento utilizados na simulação real, devido à falta de informação mais exacta por parte do responsável pela manutenção e dos funcionários, assim como as temperaturas de conforto adoptadas, foram factores com impacto directo nos resultados obtidos, o que implica que os valores conseguidos terão de ser vistos como indicadores.

6 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

A execução obrigatória de uma simulação energética para a previsão dos consumos globais do edifício e da limitação da potência, no caso dos novos projectos de climatização ou grandes reabilitações, vem implicar a definição de diversos parâmetros a serem definidos pelo Perito Qualificado, os quais se irão reflectir nos resultados obtidos na respectiva simulação, de acordo com a análise realizada ao RSECE.

Neste contexto é definido que a respectiva simulação terá que ser efectuada com softwares que cumpram a norma ASHRAE 140-2004. De modo a homogeneizar os resultados do projectista e do perito qualificado do RSECE energia, é confirmado pela ADENE que ambos terão de utilizar o mesmo software de simulação.

A oportunidade de executar a simulação do escritório de fábrica durante o período de adaptação, o qual é de dimensão e complexidade reduzidas, permitiu cumprir parcialmente o objectivo principal da presente dissertação – a execução de uma simulação dinâmica de acordo com as exigências do RSECE. Para além disso, simular um edifício em que a documentação necessária à execução da respectiva simulação já se encontrava preparada facilitou significativamente o levantamento dos vários parâmetros necessários à execução do 2º caso de estudo.

Por outro lado, a execução com um grau de detalhe superior ao exigido permitiu averiguar que, à excepção dos consumos de aquecimento e arrefecimento, é possível obter os restantes consumos devidamente “calibrados” e validados com um desvio muito reduzido. Uma das razões pela qual se obteve um desvio relativamente elevado nos consumos de aquecimento e de arrefecimento está na dificuldade em conseguir obter as temperaturas de conforto definidas pelos ocupantes. No entanto, constatando-se que os escritórios climatizados apresentavam ganhos relativamente semelhantes foi possível agrupá-los em função da sua adjacência com o exterior e da sua localização, permitindo assim minimizar os esforços computacionais e obtendo-se simulações mais rápidas.

A obtenção de um IEE_{real} e de um $IEE_{nominal}$ inferiores ao $IEE_{ref\ existentes}$ e da classe energética B-, não obrigou à execução de um Plano de Racionalização Energética nem à análise de viabilidade económica de medidas de melhoria. Contudo, foi determinada a viabilidade económica de substituir os balastros ferro-magnéticos das armaduras mais frequentes no edifício, por balastros electrónicos. Com esta medida de melhoria é possível poupar anualmente 182€ nas condições reais de funcionamento, face a um investimento adicional de 1618 €. Consequentemente, o período de retorno simples será de 8.9 anos.

Com a participação no levantamento e posterior tratamento dos dados necessários à execução da simulação do edifício de escritórios com filial bancária no Rés-do-Chão, o qual já tinha uma dimensão considerável, foi possível constatar que existe uma elevada dificuldade por parte dos ocupantes e do responsável da manutenção em fornecer informações quanto às

temperaturas de conforto utilizadas nos sistemas de climatização, bem como nos vários horários de funcionamento necessários à execução da simulação detalhada nas condições reais. De modo a colmatar esta lacuna, o cumprimento do RSECE veio exigir a monitorização dos consumos do edifício durante um período superior a 24 horas, num dia normal de funcionamento. Contudo, no edifício em análise a “alimentação” dos equipamentos de AVAC, da iluminação e dos equipamentos não “alimentados” pela UPS encontrava-se repartida pelos quadros eléctricos dos vários pisos pelo que não foi possível monitorizar o consumo dos mesmos.

Depois de definidos todos os parâmetros necessários à execução da simulação nas condições reais foi possível obter uma simulação “calibrada” logo na primeira iteração.

Contudo, observando com atenção os resultados obtidos bem como o limite inferior do consumo global do edifício, obtido pela simulação real (de modo a que esta seja legalmente aceitável), seria possível “calibrar” e validar a simulação com um consumo anual inferior ao obtido. Uma vez que não foi fornecida qualquer informação quanto às temperaturas de conforto e aos horários de funcionamento dos equipamentos de AVAC e dos equipamentos não alimentados pela UPS, bastaria diminuir ligeiramente os respectivos horários, a temperatura de conforto para aquecimento assim como um ligeiro aumento da temperatura de conforto para arrefecimento. Estas modificações não alteram a determinação do $IEE_{nominal}$ pois os horários de funcionamento atrás referidos e as temperaturas de conforto nas condições nominais estão definidas no anexo XV do RSECE. No entanto, haveriam diferenças na determinação do IEE_{real} e da viabilidade económica das medidas de melhoria.

Assim, como recomendação para trabalhos futuros fica a sugestão de averiguar o impacto da variação dos vários parâmetros definidos pelo simulador e pelo Perito Qualificado, de modo a obter simulações “calibradas” com várias combinações possíveis de desvios (de preferência nos limites superior e inferior) e comparar a respectiva viabilidade económica de várias medidas de melhoria.

Tal como no escritório de fábrica, este edifício apresenta consumos inferiores aos limites regulamentares pelo que não foi necessária a execução de um plano de racionalização energética. Contudo, também foi determinada a viabilidade económica de substituir os balastros ferro-magnéticos das armaduras mais frequentes no edifício por balastros electrónicos.

Com esta medida de melhoria é possível poupar anualmente 1441€ nas condições reais de funcionamento, face a um investimento adicional de 2761 €. Consequentemente, o período de retorno simples será de 1,9 anos.

Por fim, resta referir que com a execução da presente dissertação em ambiente empresarial, estando integrado numa equipa de RSECE e participando nas várias reuniões mensais de departamento (ainda que de cariz confidencial), foi possível iniciar-se à integração e adaptação à vida profissional.

7 Referências e Bibliografia

- ADENE. 2008. NOTA TÉCNICA NT-SCE-01. Setembro
- ADENE. 2008. Perguntas & Respostas sobre o RSECE – Energia, versão 1.2 de Novembro de 2008
- ASHRAE. 2009. “Fundamentals Handbook”
- Attia, Shady, Liliana Beltrán et al. 2008. “Architect Friendly”: A Comparison of Ten Different Building Performance Simulation Tools. Artigo apresentado na 11ª Conferência Internacional da IBPSA. Glasgow, Scotland Julho 27-30, 2009. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_0204_211.pdf (Consultado em Março de 2010)
- DIRECTIVA 2002/91/CE. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. 1 (2003-01-04).
- DECRETO-LEI n.º 78/2006 de 4 de Abril. Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar.
- DECRETO-LEI n.º 79/2006 de 4 de Abril. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios – RSECE.
- DECRETO-LEI n.º 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE.
- DesignBuilder. 2010. <http://www.designbuilder.co.uk/> (Consultado em Abril e Maio de 2010)
- DesignBuilder. 2010. <http://www.designbuilder.co.uk/helpv2/> (Consultado em Abril e Maio de 2010)
- Drury, B.Crawley, Jon W. Hand, Michaël Kummert, Brent T. Griffith. 2005. Constrating the capabilities of building energy performance simulation programs. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/pdfs/contrasting_the_capabilities_of_building_energy_performance_simulation_programs_v1.0.pdf (Consultado em Março de 2010)
- EnergyPlus. 2009. Input/Output Reference. Versão 4.0. USA
- EnergyPlus. 2009. Engineering Reference. Versão 4.0. USA
- EnergyPlus. 2009. Output Details / Examples. Versão 4.0. USA
- EnergyPlus. 2010. Tips and Tricks. Versão 5.0. USA
- Karashima, Thiago M.. 2006. Avaliação de Diferentes Ferramentas Para o Cálculo de Carga Térmica e sua Aplicação na Análise Energética de Edifícios. Projecto de Graduação para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico. Universidade de Brasília. http://www.laar.unb.br/Relatorios_PG/Relatorio_final_ThiagoMachadoKarashima.pdf (Consultado em Março de 2010)

Simulação dinâmica de um edifício de acordo com as exigências do DL 79-2006 RSECE, usando o software de cálculo "Energy Plus"

Matias, Luis, Carlos Santos. 2006. Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Lisboa: LNEC. (ITE; 50)

Natural Works. 2010. <http://www.natural-works.com/db/> (Consultado em Abril e Maio de 2010)

Pan, Yiqun, Mingming Zuo, Gang Wu. 2009. Whole Building Energy Simulation and Energy Saving Potential Analysis of a Large Public Building. Conferência Internacional da IBPSA. Glasgow, Scotland Julho 27-30, 2009. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_0129_136.pdf (Consultado em Março de 2010)

Carrillo, Antonio, Fernando Dominguez, Jose M. Cejudo. 2009. Calibration of an Energyplus Simulation Model by the Stempstar Method. Conferência Internacional da IBPSA. Glasgow, Scotland Julho 27-30, 2009. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_2043_2050.pdf (Consultado em Março de 2010)

Silva, Onésimo, 2008. Análise da reabilitação da TORRE NORTE do IST face à introdução da certificação de edifícios existentes. MSc, Instituto Superior Técnico – Lisboa;

Silva, Pedro, Manuela Almeida, Luís Bragança, Vasco Mesquita. 2009. Methodology to Enhance the Portuguese Thermal Regulation Accuracy for Existing Buildings. Artigo apresentado na 11ª Conferência Internacional da IBPSA. Glasgow, Scotland Julho 27-30, 2009. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_0576_583.pdf (Consultado em Março de 2010)

ANEXO A: Ocupação do escritório de fábrica – Condições reais

Zona	Nº de ocupantes	Actividade metabólica [Met]	Horário
Entrada_9+10	0	1	8:00 - 12:30 & 14:00-18:00 100% 12:30-14:00 50% 2ª/6ª
1	0	1	
2	0	1	
3	3	1	
4	2	1	
5	1	1	
6	0	1	
7	1	1	
8	1	1	
wc & corredor	0	1	0%
arquivo	0	1	
gabinete R/C	0	1	

ANEXO B: Iluminação no escritório de fábrica – Potência das armaduras

Codigo armadura	Descrição	Potência / armadura [W]
F4x18	Armadura com 4 lâmpadas fluorescentes tubulares de 18W - Balastro ferro-magnético	81
F4x18 BE	Armadura com 4 lâmpadas fluorescentes tubulares de 18w - Balastro Electrónico	70
F1x21	Armadura com 1 lâmpada tubular de 21 W - balastro ferro-magnético	25
F1x28	Armadura com 1 lâmpada tubular de 28 W - balastro ferro-magnético	33
F1x36	Armadura com 1 lâmpada tubular de 36 W - balastro ferro-magnético	44
F1x36 BE	Armadura com 1 lâmpada tubular de 36 W - balastro electrónico	36
IM70	Armadura com 1 lâmpada de iodetos metálicos de 70 W	88,7
Hal 20	Armadura com 1 lâmpada de Halogénio de 20 W	20

ANEXO C: Iluminação do escritório de fábrica – Condições reais e medida de melhoria

Zona	Nº Armaduras	Armadura - Condições Reais	Armadura - Medida Melhoria	Horário
Entrada_9+10	7	F1x21	F1x21	8:00 - 12:30 & 14:00-18:00 100%; 12:30-14:00 50% 2ª/6ª
	5	F1x28	F1x28	
	5	IM70	IM70	
1	12	F4x18 BE	F4x18 BE	
2	20	F4x18	F4x18 BE	
3	12	F4x18 BE	F4x18 BE	
4	9	F4x18 BE	F4x18 BE	
5	11	F4x18	F4x18 BE	
6	4	F4x18	F4x18 BE	
7	6	F4x18	F4x18 BE	
8	6	F4x18	F4x18 BE	
wc & corredor	2	F1x36	F1x36	3h/dia 2ª/6ª
	8	F1x36 BE	F1x36 BE	
	2	Hal 20	Hal 20	
arquivo	2	F1x36	F1x36	3h / semana
gabinete R/C	8	F4x18	F4x18 BE	3h/dia 2ª/6ª

ANEXO D: Envolvente do edifício de escritórios com filial bancária no rés do chão – Propriedades térmicas dos envidraçados existentes
Envidraçados exteriores do edifício de escritórios

Piso	Parte 1		Parte 2		U [W / (m ² K)]	Cor Vidro	Protecção interior			Factor solar
	A [m ²]		% Área				Tipo de protecção interior	Cor	g protecção	
-1	0,68	De correr	0%		6,500	Colorido				0,706
0	4,46	Fixa	16%	Giratória	6,032	Colorido				0,706
0	1,07	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
0	1,00	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
0	3,54	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
0	3,28	Fixa	0%		6,000	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
0	2,98	Fixa	67%	Giratória	6,134	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318

Piso	A [m ²]	Parte 1		Parte 2		U [W/m ² K]	Cor Vidro	Protecção interior			Factor solar
				% Área				Tipo de protecção interior	Cor	g protecção	
1	2,87	Fixa		57%	Giratória	6,114	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
1	2,83	Fixa		58%	Giratória	6,116	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
1	2,87	Fixa		57%	Giratória	6,114	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
1	3,74	Fixa		24%	De correr	6,122	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
1	3,74	Fixa		24%	De correr	6,122	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
1	1,44	Giratória		0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
1	1,32	Giratória		0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
1	2,31	Giratória		0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
1	2,31	Giratória		0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
1	1,44	Giratória		0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
1	1,32	Giratória		0%		6,200	Colorido				0,706
1	2,87	Fixa		0%		6,000	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
1	2,87	Fixa		0%		6,000	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339

Piso	A [m ²]	Parte 1	Parte 2		U [W/ m ² K]	Cor Vidro	Protecção interior			Factor solar
			% Área				Tipo de protecção interior	Cor	g protecção	
2	1,44	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	1,44	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,073	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	4,20	Fixa	0%		6,000	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	4,20	Fixa	0%		6,000	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,073	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,073	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	3,72	De correr	26%	Fixa	6,371	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	3,72	De correr	26%	Fixa	6,371	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
2	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318

Piso	Parte 1		Parte 2		U [W/ m ² K]	Cor Vidro	Protecção interior			Factor solar
	A [m ²]		% Área				Tipo de protecção interior	Cor	g protecção	
3	1,44	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	1,44	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,073	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	4,20	Fixa	0%		6,000	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,073	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	4,20	Fixa	0%		6,000	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,073	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	3,72	De correr	26%	Fixa	6,371	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	3,72	De correr	26%	Fixa	6,371	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
3	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339

Piso	Parte 1		Parte 2		U [W/ m ² K]	Cor Vidro	Protecção interior			Factor solar
	A [m ²]		% Área				Tipo de protecção interior	Cor	g protecção	
4	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,073	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	4,20	Fixa	0%		6,000	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	4,20	Fixa	0%		6,000	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,074	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	1,44	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,073	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,073	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	3,72	De correr	26%	Fixa	6,371	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	3,72	De correr	26%	Fixa	6,371	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
4	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339

Piso	Parte 1		Parte 2		U [W/ m ² K]	Cor Vidro	Protecção interior			Factor solar
	A [m ²]		% Área				Tipo de protecção interior	Cor	g protecção	
5	3,72	De correr	26%	Fixa	6,371	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	1,32	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	3,72	De correr	26%	Fixa	6,371	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	1,44	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	4,20	Fixa	0%		6,000	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,074	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	4,20	Fixa	0%		6,000	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,073	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	4,20	Fixa	37%	Giratória	6,073	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318
5	1,44	Giratória	0%		6,200	Colorido	Estores de laminas	Clara	0,45	0,318

Piso	Parte 1		Parte 2		U [W/ m ² K]	Cor Vidro	Protecção interior			Factor solar
	A [m ²]		% Área				Tipo de protecção interior	Cor	g protecção	
6	1,44	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
6	1,17	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
6	6,32	Fixa	51%	Giratória	6,103	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
6	1,17	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
6	1,44	Giratória	0%		6,200	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
6	4,13	De correr	26%	Fixa	6,370	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
6	1,65	Giratória	27%	Fixa	6,147	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
6	1,65	Giratória	27%	Fixa	6,147	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
6	1,65	Giratória	27%	Fixa	6,147	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
6	1,65	Giratória	27%	Fixa	6,147	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339
6	4,13	De correr	27%	Fixa	6,367	Colorido	Protecções interiores; cortinas Transparentes	Média	0,48	0,339

ANEXO E: Envolvente do escritório de fábrica - Coeficientes Globais de Transferência de Calor dos vários elementos da envolvente opaca

Paredes exteriores de betão

Constituição	d_i (m)	λ (W / (m°C))	R_j [m ² , °C / W]
pladur	0,01	2,5	0,004
lã de rocha	0,03	0,04	0,75
cx de ar	0,01		0,15
Betão	0,27	2	0,14

Total	1,04
-------	------

Rse	0,04
Rsi	0,13
Resistência térmica superficial total	0,17

R _{térmica total} [m ² °C/W]	1,21
U [W/m².°C]	0,83

mi (kg/m ²)	48
em (m)	0,320

Paredes exteriores em painel sanduíche

Constituição	d_i (m)	λ (W / (m°C))	R_j [m ² .°C /W]
pladur	0,01	2,5	0,004
lã de rocha	0,03	0,04	0,75
cx de ar	0,23		0,18
chapa pré-lacada de 0,5 mm + lã de rocha 50mm+chapa0,5mm	0,05	0,04	1,25

Total	2,18
-------	------

Rse	0,04
Rsi	0,13
Resistência térmica superficial total	0,17

R _{térmica total} [m ² .°C/W]	2,35
U [W/m ² .°C]	0,42

mi (kg/m ²)	48
em (m)	0,320

Paredes interiores de pladur

Constituição	d_i (m)	λ (W / (m°C))	R_j [m ² .°C /W]
placas de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06
placas de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06
lã de rocha	0,04	0,04	1,00
placas de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06
placas de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06

Total	1,24
-------	------

Rse	0,13
Rsi	0,13
Resistência térmica superficial total	0,26

R _{térmica total} [m ² .°C/W]	1,50
U [W/m ² .°C]	0,67

mi (kg/m ²)	64
em (m)	0,100

Paredes interiores blocos de betão

Constituição	d_i (m)	λ (W / (m°C))	R_j [m².°C /W]
reboco	0,025	1,3	0,019
blocos de betão	0,11		0,160
reboco	0,025	1,3	0,0192

Total	0,20
-------	------

Rse	0,13
Rsi	0,13
Resistência térmica superficial total	0,26

R _{térmica total} [m ² .°C/W]	0,46
U [W/m².°C]	2,18

mi (kg/m ²)	70
em (m)	0,160

Cobertura exterior do armazém

Constituição	d_i (m)	λ (W / (m°C))	R_j [m².°C /W]
chapa pré-lacada de 0,5 mm + lã de rocha 50mm+chapa0,5mm	0,05	0,04	1,25

Total	1,25
-------	------

Rse	0,04
Rsi	0,10
Resistência térmica superficial total	0,14

R _{térmica total} [m ² .°C/W]	1,39
U [W/m².°C]	0,72

mi (kg/m ²)	0,00
ep (m)	0,050

Pavimento interior leve

	R_j [$m^2 \cdot ^\circ C$ / W]
Total	0,24

Ser	0,17
Rsi	0,17
Resistência térmica superficial total	0,34

$R_{t\acute{e}rmica\ total}$ [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]	0,58
U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	1,71

mi (kg/m ²)	0,00
ep (m)	0,000

Pavimento interior leve da zona térmica 2

Constituição	d_i (m)	λ ($W / (m \cdot ^\circ C)$)	R_j [$m^2 \cdot ^\circ C$ / W]
pavimento			0,24
caixa de ar	0,28		0,22
painel semi-rígido de lã de rocha	0,04	0,035	1,14
tecto falso metálico microperfurado	0,00053	50	0,00

Total	1,61
-------	------

Rse	0,17
Rsi	0,17
Resistência térmica superficial total	0,34

$R_{t\acute{e}rmica\ total}$ [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]	1,948
U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	0,513

mi (kg/m ²)	0,00
ep (m)	0,317

Cobertura interior escritórios

Constituição	d_i (m)	λ (W / (m°C))	R_j [m². °C /W]
tecto falso metálico microperfurado	0,00053	50	0,000011
painel semi-rígido de lã de rocha	0,04	0,035	1,14

Total	1,14
--------------	-------------

Rse	0,1
Rsi	0,10
Resistência térmica superficial total	0,20

R_{térmica total} [m².°C/W]	1,34
U [W/m².°C]	0,74

mi (kg/m²)	9,20
ep (m)	0,041

ANEXO F: Envolvente do escritório de fábrica – Propriedades térmicas dos envidraçados existentes

vidro para fábrica			Factor Solar
sem protecção	vidro simples incolor 6mm	g' 100%	0,85
U_w	6	[W/(m2. °C)]	janela metálica fixa

vidro para escadas			Factor Solar
sem protecção	vidro simples incolor 6mm	g' 100%	0,85
U_w	6	[W/(m2. °C)]	janela metálica fixa

porta de vidro para escadas			Factor Solar
sem protecção	vidro simples incolor 6mm	g' 100%	0,85
U_w	6,2	[W/(m2. °C)]	janela metálica giratória

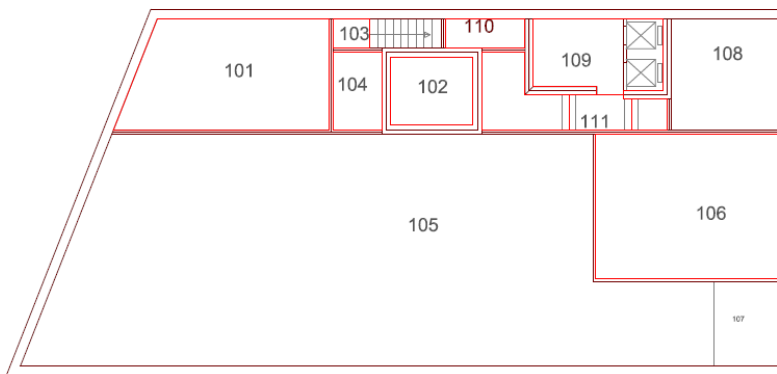
porta de entrada			Factor Solar
sem protecção	vidro simples colorido na massa 6mm	g' 100%	0,6
U_w	6,2	[W/(m2. °C)]	janela metálica giratória

ANEXO G: AVAC no escritório de fábrica - Eficiências e Potências

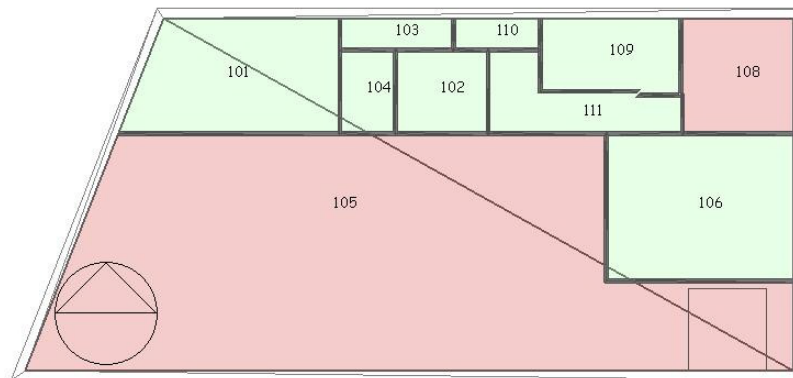
Zona Térmica	Potência térmica		Potência consumo		EER	COP
	Frigorífica	Calorífica	Frigorífica	Calorífica		
	Nominal [kW]	Nominal [kW]	[kW]	[kW]		
1	4,6	5	1,63	1,55	2,822	3,226
2	10	10,45	3,17	3,16	3,155	3,307
3	5,4	6,2	2,25	2,27	2,400	2,731
4	4,6	5	1,63	1,55	2,822	3,226
5	4,6	5	1,63	1,55	2,822	3,226
6	2,5	3,4	0,695	0,935	3,597	3,636
7	2,5	3,4	0,695	0,935	3,597	3,636
8	2,5	3,4	0,695	0,935	3,597	3,636
9	2,5	3,4	0,695	0,935	3,597	3,636
10	2,5	3,4	0,695	0,935	3,597	3,636

ANEXO I: Compartimentos e respectivas zonas térmicas no edifício de escritórios com filial bancária no rés-do-chão – Compartimentos existentes e respectivas zonas térmicas adoptadas

Piso -1



PLANTA DO PISO -1

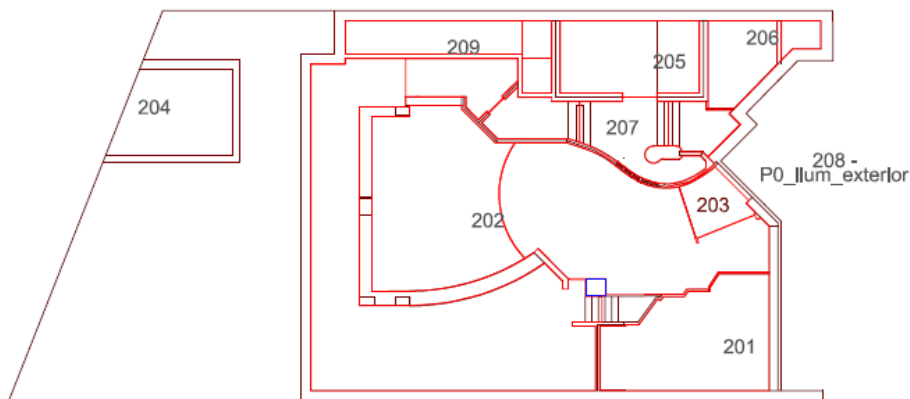


	Área [m ²]
Piso -1	
104 - 101_102_103_209	
Espaço útil não climatizado nas condições nominais	
Arrumos	
105	
Espaço não útil	
Garagem	
106	
Espaço útil climatizado nas condições reais	
Gabinete	

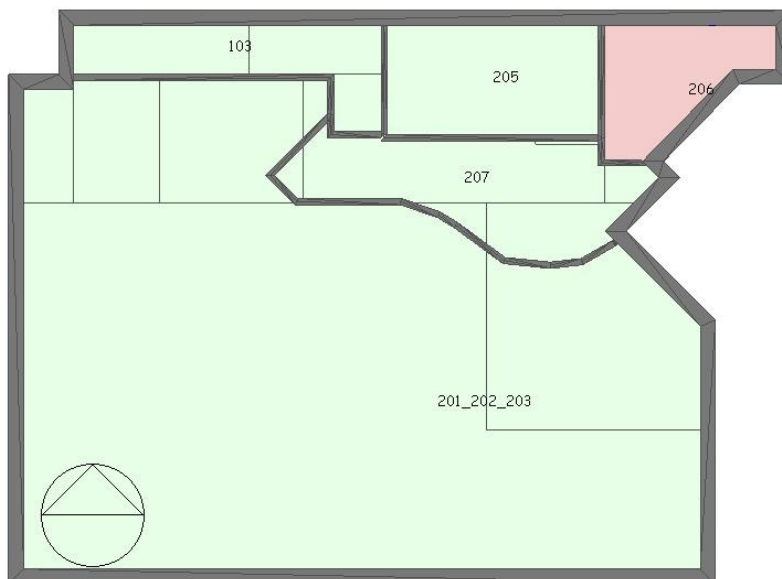
107
Espaço não útil
Arrumos
108
Espaço não útil
Arrumos
109
Espaço útil não climatizado nas condições reais e climatizado nas condições nominais
Circulação comum
110
Espaço útil não climatizado nas condições nominais
Casa de banho não aquecida

Piso 0

A caixa de escadas de código 205 foi definida como uma única zona térmica que engloba os seguintes compartimentos: 109, 111, 207, 301, 401, 501, 605, 701, 801, 901 e 902

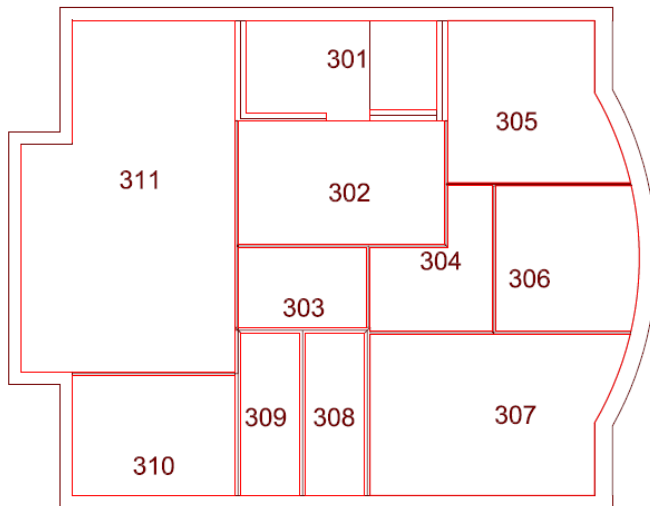


PLANTA DO PISO 0

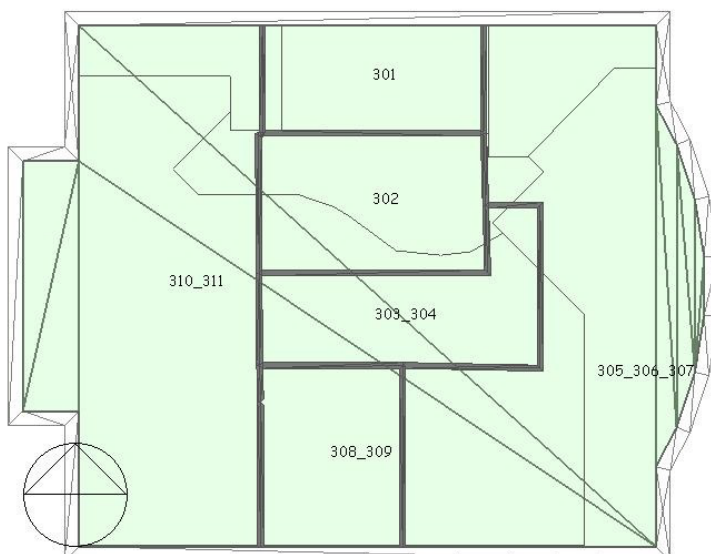


Piso 0
201 202 203
Espaço útil climatizado nas condições reais
Gabinete
204
Espaço não útil
Arrumos
205 – 109_111_207_301_401_501_605_701_801_901_902
Espaço útil não climatizado nas condições reais e climatizado nas condições nominais
Circulação comum
206
Espaço não útil
Arrumos

Piso 1

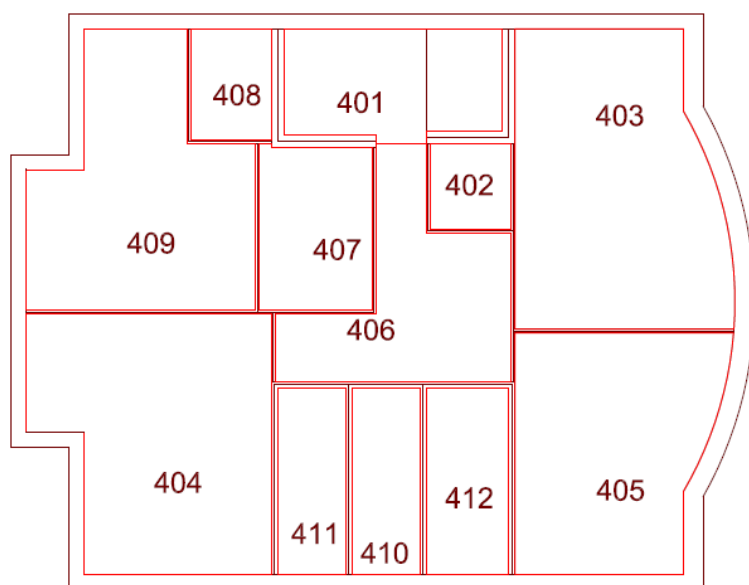


PLANTA DO 1º PISO

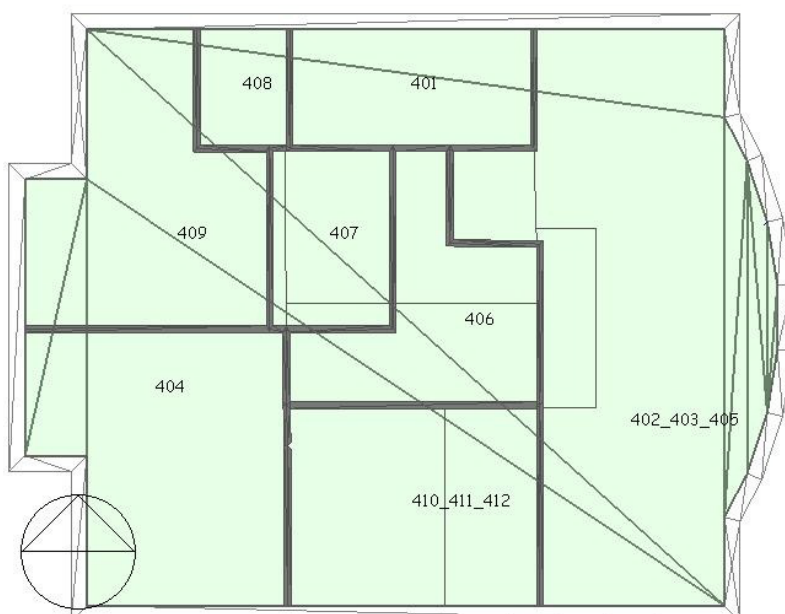


Piso 1
302
Espaço útil climatizado nas condições reais
Circulação comum
303 304
Espaço útil não climatizado nas condições reais e climatizado nas condições nominais
Circulação comum
305 306 307
Espaço útil climatizado nas condições reais
Gabinete
308 309
Espaço útil não climatizado nas condições nominais
Casa de banho não aquecida
310 311
Espaço útil climatizado nas condições reais
Gabinete

Piso 2

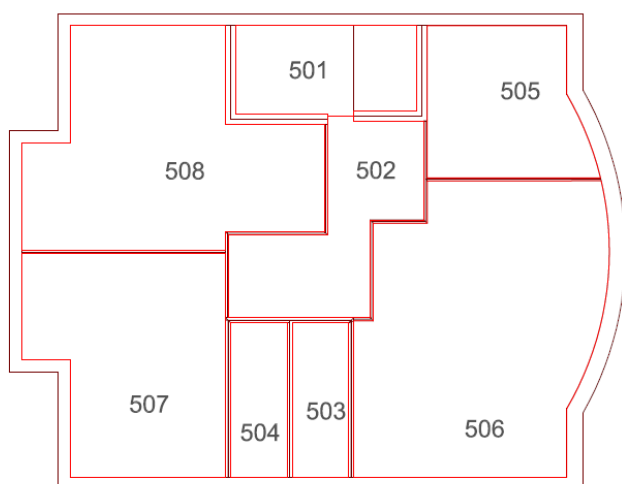


PLANTA DO 2º PISO

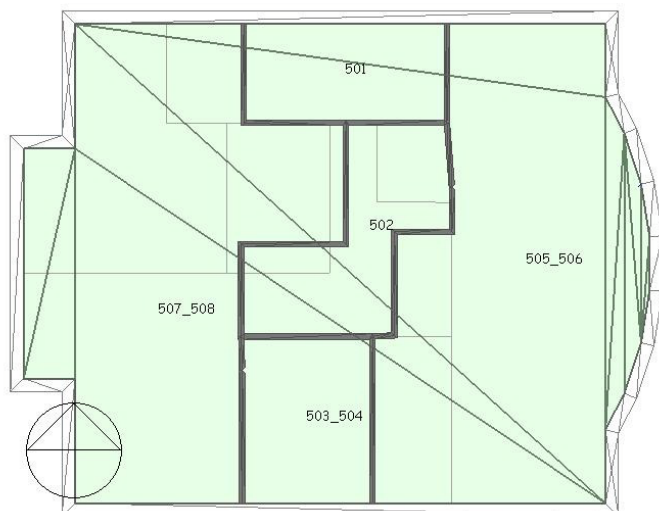


Piso 2	
402 403 405	Espaço útil climatizado nas condições reais Gabinete
404	Espaço útil climatizado nas condições reais Gabinete
406	Espaço útil não climatizado nas condições reais e climatizado nas condições nominais Circulação comum
407	Espaço útil climatizado nas condições reais Gabinete
408	Espaço útil climatizado nas condições reais Gabinete
409	Espaço útil climatizado nas condições reais Gabinete
410 411 412	Espaço útil não climatizado nas condições nominais Arrumos Casa de banho não aquecida

Piso 3



PLANTA DO 3º PISO



Piso 3

502

Espaço útil não climatizado nas condições reais e climatizado nas condições nominais

Circulação comum

503 504

Espaço útil não climatizado nas condições nominais

Casa de banho não aquecida

505 506

Espaço útil climatizado nas condições reais

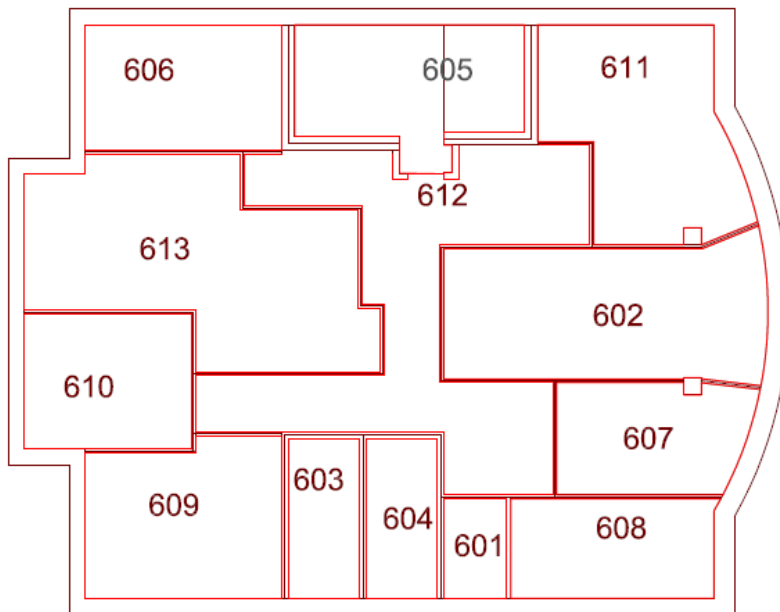
Gabinete

507 508

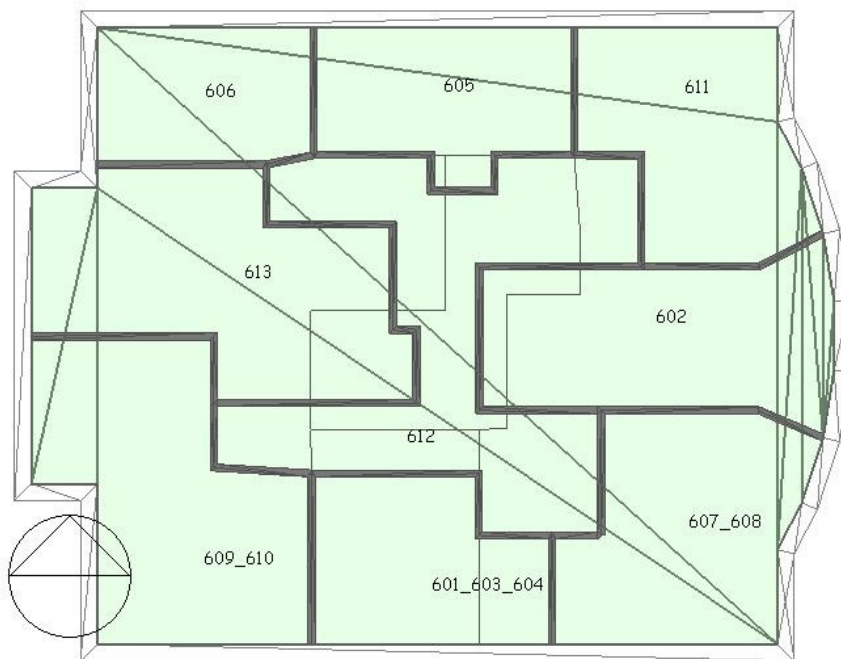
Espaço útil climatizado nas condições reais

Gabinete

Piso 4

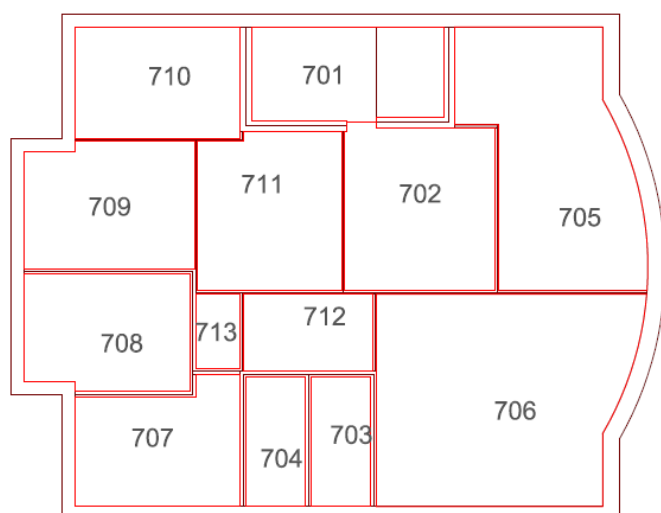


PLANTA DO 4º PISO

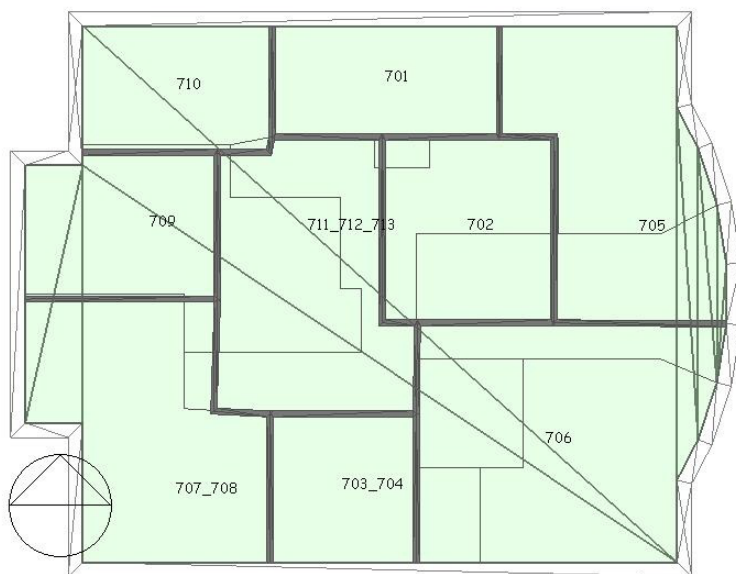


Piso 4
601 603 604
Espaço útil não climatizado nas condições nominais
Arrumos
Casa de banho não aquecida
602
Espaço útil climatizado nas condições reais
Salas de Refeições
606
Espaço útil climatizado nas condições reais
Gabinete
607 608
Espaço útil climatizado nas condições reais
Gabinete
609 610
Espaço útil climatizado nas condições reais
Gabinete
611
Espaço útil climatizado nas condições reais
Gabinete
612
Espaço útil não climatizado nas condições reais e climatizado nas condições nominais
Circulação comum
613
Espaço útil climatizado nas condições reais
Gabinete

Piso 5

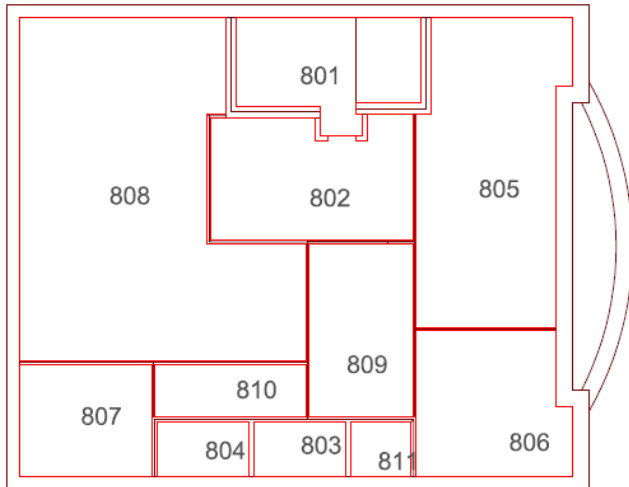


PLANTA DO 5º PISO

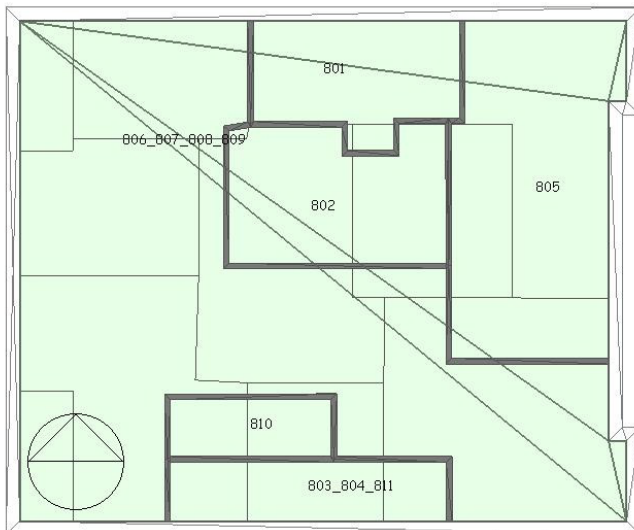


Piso 5	
702	Espaço útil climatizado nas condições reais
	Circulação comum
703 704	Espaço útil não climatizado nas condições reais e nominais
	Casa de banho não aquecida
705	Espaço útil climatizado nas condições reais
	Gabinete
706	Espaço útil climatizado nas condições reais
	Gabinete
707 708	Espaço útil climatizado nas condições reais
	Gabinete
709	Espaço útil climatizado nas condições reais
	Gabinete
710	Espaço útil climatizado nas condições reais
	Gabinete
711 712 713	Espaço útil não climatizado nas condições reais e climatizado nas condições nominais
	Circulação comum

Piso 6

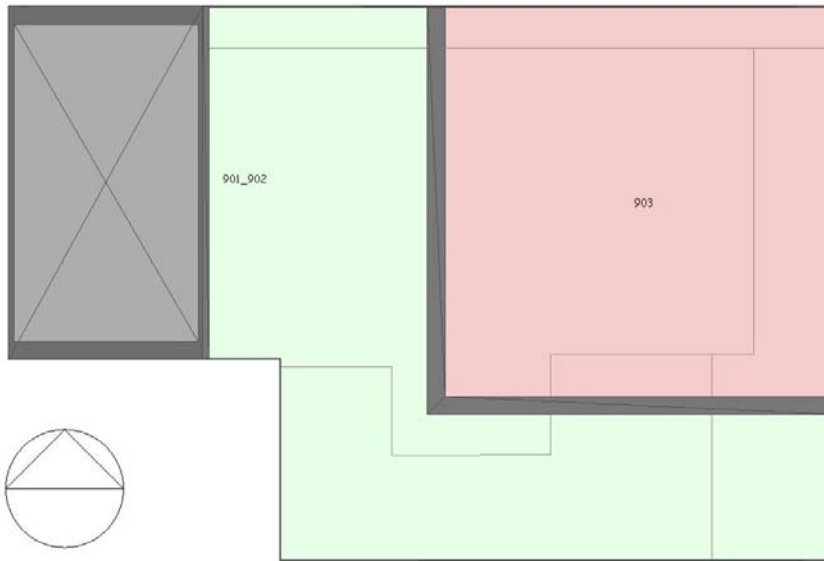


PLANTA DO 6º PISO

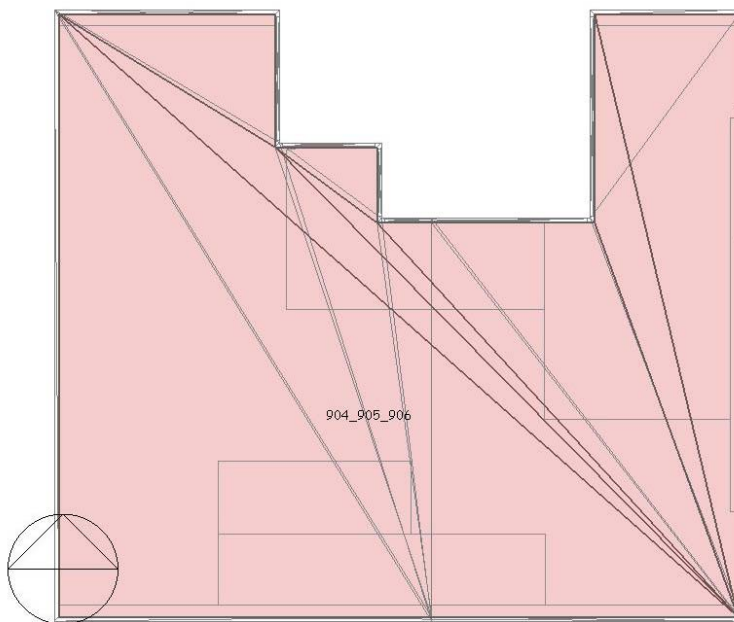


Piso 6
802
Espaço útil não climatizado nas condições reais e nominais
Circulação comum
803 804 811
Espaço útil não climatizado nas condições reais e nominais
Casa de banho não aquecida
805
Espaço útil climatizado nas condições reais
Gabinete
806 807 808 809
Espaço útil climatizado nas condições reais
Circulação comum
Gabinete
810
Espaço útil não climatizado nas condições reais e climatizado nas condições nominais
Circulação comum

Escadas, último piso (cobertura) e casa das máquinas dos elevadores



Telhado



ANEXO J: Envolvente do escritório de fábrica - Coeficientes Globais de Transferência de Calor dos vários elementos da envolvente opaca

Fonte: Nota Técnica NT-SCE-01

Descrição	Espessura	$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$
Parede exterior das fachadas norte, Oeste e Sul, nota técnica	0,36	0,96
Parede exterior da fachada da frente	0,42	0,96
Paredes interiores de alvenaria de 15 cm	0,15	1,7
1cm placo + 7cm caixa ar + 1 cm placo	0,09	²
Pavimento Pesado		3,1
Cobertura Pesada Horizontal		2,6

² Como não foi encontrada informação relativa à descrição desta parede e tendo em conta que estas paredes apenas separavam espaços úteis não tendo por isso exigências regulamentares foram adoptadas as propriedades térmicas adoptadas para as paredes de pladur do escritório de fábrica que se encontra no ANEXO E

ANEXO J: Iluminação no edifício de escritórios – Potência das armaduras

Código	Descrição	Potência [W]
F 1 X 18	Armadura com uma lâmpada fluorescente tubular de 18W - Balastro ferro-magnético	29
F 1 X 36	Armadura com uma lâmpada fluorescente tubular de 36W - Balastro ferro-magnético	44
F 1 X 58	Armadura com uma lâmpada fluorescente tubular de 58W - Balastro ferro-magnético	68,5
F 2 X 36	Armadura com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 18W - Balastro ferro-magnético	90
F 3 X 18	Armadura com três lâmpadas fluorescentes tubulares de 18W - Balastro ferro-magnético	87
FC1 X 08	Armadura com uma lâmpada fluorescente compacta de 8W - balastro ferro-magnético	10,5
FC1 X 10	Armadura com uma lâmpada fluorescente compacta de 10W - balastro ferro-magnético	14
FC2 X 09	Armadura com duas lâmpadas fluorescentes compactas de 9W - balastro ferro-magnético	27,8
FC2 X 18	Armadura com duas lâmpadas fluorescentes compactas de 18W - balastro ferro-magnético	43,4
I 1 X 40	Armadura com uma lâmpada Incandescente de 40W	40
I 1 X 60	Armadura com uma lâmpada Incandescente de 60W	60
HL1 X 35	Armadura com uma lâmpada de halogénio de 35W	35

ANEXO K: Iluminação no edifício de escritórios – Condições reais e medida de melhoria

As armaduras modificadas na medida de melhoria encontram-se com preenchimento verde. A modificação consistiu na substituição dos balastos ferro-magnéticos por balastos electrónicos.

Piso -1

Piso	Zona Térmica	Tipo de armadura	Número de armaduras
Piso -1	104	F 1 X 18W	3
		F 1 X 36W	2
		I 1 X 40W	1
	105	F 1 X 36W	13
	106	F 2 X 36W	9
	107	F 1 X 36W	1
	108	F 1 X 36W	1
	110	I 1 X 60W	1
	111	I 1 X 60W	1

Piso 0

Piso	Zona Térmica	Tipo de armadura	Número de armaduras
Piso 0	201 202 203	F 2 X 36W	1
		F 3 X 18W	18
		FC2 X 09W	17
		I 1 X 40W	26
	204	F 1 X 36W	2
	205	F 1 X 36W	9
		F 1 X 58W	8
		FC1 X 08W	7
		FC1 X 10W	9
		I 1 X 40W	8
		I 1 X 60W	1
	206	F 1 X 36W	1
	208	F 1 X 36W	3
		F 1 X 58W	3
		FC1 X 10W	11

Piso 1

Piso	Zona Térmica	Tipo de armadura	Número de armaduras
Piso 1	302	F 3 X 18W	3
		FC1 X 08W	1
	303 304	FC1 X 08W	1
		FC2 X 18W	3
	305 306 307	F 3 X 18W	12
		HL1 X 35W	1
	308 309	F 1 X 18W	2
		I 1 X 40W	2
	310 311	F 3 X 18W	15

Piso 2

Piso	Zona Térmica	Tipo de armadura	Número de armaduras
Piso 2	402 403 405	F 2 X 36W	13
		404	F 2 X 36W
	406	F 2 X 36W	2
		FC1 X 08W	1
	407	F 2 X 36W	1
	408	F 2 X 36W	1
	409	F 2 X 36W	4
	410 411 412	F 1 X 18W	2
		I 1 X 40W	4

Piso 3

Piso	Zona Térmica	Tipo de armadura	Número de armaduras
Piso 3	502	F 3 X 18W	3
		FC1 X 08W	1
	503 504	F 1 X 18W	2
		I 1 X 40W	2
	505 506	F 3 X 18W	15
		507 508	F 3 X 18W

Piso 4

Piso	Zona Térmica	Tipo de armadura	Número de armaduras
Piso 4	601 603 604	F 1 X 18W	2
		I 1 X 40W	2
	602	F 3 X 18W	1
		FC2 X 09W	5
		FC2 X 18W	2
	606	F 3 X 18W	6
	607 608	F 3 X 18W	6
	609 610	F 3 X 18W	10

Simulação dinâmica de um edifício de acordo com as exigências do DL 79-2006 RSECE, usando o software de cálculo "Energy Plus"

611	F 3 X 18W	5
	I 1 X 60W	1
612	F 3 X 18W	1
	FC1 X 08W	2
	FC2 X 18W	8
613	F 3 X 18W	8

Piso 5

Piso	Zona Térmica	Tipo de armadura	Número de armaduras
Piso 5	702	F 3 X 18W	4
		FC1 X 08W	1
	703 704	F 1 X 18W	2
		I 1 X 40W	2
	705	F 3 X 18W	6
	706	F 3 X 18W	6
	707 708	F 3 X 18W	6
	709	F 3 X 18W	3
	710	F 3 X 18W	3
	711 712 713	F 3 X 18W	5

Piso 6

Piso	Zona Térmica	Tipo de armadura	Número de armaduras
Piso 6	802	F 3 X 18W	6
		FC1 X 08W	1
	803 804 811	F 1 X 18W	2
		I 1 X 40W	3
	805	F 3 X 18W	14
	806 807 808 809	F 3 X 18W	31
	810	FC2 X 18W	2

Cobertura

Piso	Zona Térmica	Tipo de armadura	Número de armaduras
Cobertura	903	F 1 X 36W	1
	Desvão	F 1 X 58W	4
		I 1 X 40W	1

ANEXO L: Equipamentos no edifício de escritórios

	Potência por equipamento [W]	Potência Nominal [W] ³
Piso 0		713
205		53
1 Computador	53	53
206		660
1 ATM	660	660
Piso 1		975
303 304		305
1 Fotocopiadora	305	305
305 306 307		212
3 Computadores	159	159
1 Laptop	53	53
310 311		458
1 Impressora laser	110	110
1 Multifunções	30	30
2 Computadores	53	106
4 Computadores	53	212
Piso 2		9706
407		2006
1 Bastidores	1900	1900
2 Computadores	53	106
409		7700
1 Servidor	2000	2000
1 UPS	5700	5700
Piso 3		1133
502		380
1 Fotocopiadora	305	305
1 Impressora	75	75
505 506		373
1 Computador	53	53
1 Fax	55	55

³ Potência média considerada como constante durante o horário de funcionamento

5 Computadores	53	265
507 508		380
1 Fax	40	40
1 Impressora	75	75
2 Computadores	53	106
3 Computadores	53	159
Piso 4		2841
602		1794
1 Frigorifico	690	690
1 Micro-ondas	400	400
2 Máquina café	352	704
606		163
1 Computador	53	53
1 Impressora	110	110
612		305
1 Fotocopiadora	305	305
613		120
1 Retroprojector	120	120
607 608		236
1 Computador	106	106
1 Fax	20	20
1 Impressora	110	110
609 610		223
1 Computador	53	53
1 Fax	20	20
1 Impressora	150	150
Piso 5		811
705		703
1 Computador	53	53
2 Fax	20	40
2 Fotocopiadora	305	610
706		55
1 TV	55	55
709		53
1 Computador	53	53
Piso 6		219
805		219
1 Multifunções	60	60
3 Computadores	53	159
Total Geral		16398

ANEXO M: Ocupação no edifício de escritórios – Número de Ocupantes nas condições reais

Piso	Zona Térmica	Número de ocupantes
Piso 0	205	1
Piso 1	305 306 307	4
	310 311	6
Piso 3	505 506	6
	507 508	5
Piso 4	606	1
	607 608	2
	609 610	3
Piso 5	705	1
	709	1
Piso 6	805	3

ANEXO N: AVAC no edifício de escritórios – Potências e eficiências das várias unidades exteriores bem como respectivas zonas térmicas

	Potência Arrefecimento [kW]	EER	Potência Aquecimento [kW]	COP
Piso -1				
106 ⁴		1,44		1,50
Piso 0				
201 202 203	20,50	2,93		
Piso 1				
305 306 307	1,58	2,61	2,01	3,82
310 311	2,35	2,61	2,47	3,82
305 306 307	2,35	2,61	2,47	3,82
305 306 307	1,58	2,61	2,01	3,82
302	2,70	2,49	2,97	2,89
310 311	1,82	2,49	2,43	2,89
310 311	2,70	2,49	2,97	2,89
Piso 2				
409	3,50	1,44	4,10	1,50
402 403 405	2,28	2,63	2,56	3,77
408	2,28	2,63	2,56	3,77
402 403 405	3,33	2,63	3,73	3,77
409	7,10	2,52	8,00	2,35
407	3,50	3,10	4,00	3,25
404	3,65	2,47	4,15	3,49
402 403 405	3,65	2,47	4,15	3,49
Piso 3				
505 506	2,45	2,50	2,93	3,61
507 508	2,45	2,50	2,93	3,61
507 508	2,45	2,50	2,93	3,61

⁴ Não foi possível ver a placa característica deste equipamento pelo que, tendo em conta que este equipamento se encontra desligado nas condições reais, efectuou-se a aproximação de considerar a potência ilimitada e a menor eficiência de todos os restantes equipamentos.

505 506	2,28	2,63	2,56	3,77
505 506	2,28	2,63	2,56	3,77
507 508	3,33	2,63	3,73	3,77
Piso 4	32,50		38,18	
611	3,65	2,47	4,15	3,49
606	3,65	2,47	4,15	3,49
613	4,06	2,40	4,73	3,07
609 610	2,79	2,40	3,24	3,07
607 608	1,68	2,46	2,23	3,36
611	3,80	2,46	3,65	3,36
613	1,68	2,46	2,23	3,36
609 610	3,65	2,47	4,15	3,49
607 608	3,65	2,47	4,15	3,49
602	3,90	2,43	5,50	3,02
Piso 5	18,04		21,32	
709	2,10	2,63	2,42	4,45
702	1,34	2,63	1,53	4,45
705	1,34	2,63	1,53	4,45
710	2,10	2,63	2,42	4,45
705	1,34	2,63	1,53	4,45
707 708	3,16	2,31	3,90	2,60
707 708	3,16	2,31	3,90	2,60
706	3,50	1,44	4,10	1,50
Piso 6	25,48		30,23	
802	2,79	2,40	3,24	3,07
806 807 808 809	4,06	2,40	4,73	3,07
806 807 808 809	2,35	2,57	2,72	3,62
805	3,60	2,57	3,75	3,62
806 807 808 809	1,63	2,57	2,18	3,62
806 807 808 809	3,80	2,46	3,65	3,36
806 807 808 809	1,68	2,46	2,23	3,36
806 807 808 809	1,68	2,46	2,23	3,36
805	3,90	2,43	5,50	3,02

ANEXO O: AVAC no edifício de escritórios – Potências e eficiências adoptadas na modelação das várias zonas térmicas

Zona Térmica	Potência Arrefecimento [kW]	EER Ponderado	Potência de Aquecimento [kW]	COP Ponderado
Piso -1				
106		1,44		1,50
Piso 0				
201 202 203	20,500	2,93		
Piso 1				
302	2,700	2,49	2,970	2,89
305 306 307	5,510	2,61	6,480	3,82
310 311	6,865	2,53	7,870	3,18
Piso 2				
402 403 405	7,899	2,63	8,850	3,77
404	3,650	2,47	4,150	3,49
407	3,500	3,10	4,000	3,25
408	2,284	2,63	2,559	3,77
409	7,100	2,52	8,000	2,35
Piso 3				
505 506	7,018	2,59	8,051	3,71
507 508	8,231	2,55	9,598	3,67
Piso 4				
602	3,900	2,43	5,500	3,02
606	3,650	2,47	4,150	3,49
607 608	5,325	2,47	6,380	3,44
609 610	6,436	2,44	7,392	3,30
611	7,450	2,47	7,800	3,43
613	5,739	2,42	6,958	3,16
Piso 5				
702	1,340	2,63	1,530	4,45
705	2,680	2,63	3,060	4,45
706	3,500	1,44	4,100	1,50
707 708	6,320	2,31	7,790	2,60
709	2,100	2,63	2,420	4,45
710	2,100	2,63	2,420	4,45
Piso 6				
802	2,786	2,40	3,242	3,07
805	7,500	2,50	9,250	3,26
806 807 808 809	15,189	2,47	17,738	3,35

ANEXO P: Principais funcionalidades do software DesignBuilder (Site Natural Works)

Fonte: <http://www.natural-works.com/designbuilder/interface.php>

- *“Interface*
 - *O modelador OpenGL permite a construção de edifícios através da criação de ‘blocos’ que são desenhados num espaço 3D. Estes podem ser cortados, rodados ou esticados para criar qualquer geometria.*
 - *Podem ser feitas mudanças nas características do edifício a vários níveis: alterações globais, que afectam todo o edifício, ao nível do bloco, da zona, ou ainda dos componentes de cada zona, como paredes, tecto, janelas etc.*
 - *Controlo total do nível de detalhe de cada edifício, consoante as necessidades e estágio do projecto.*
 - *É possível importar ficheiros de CAD para auxiliar na criação das geometrias 3D.*
 - *Gerar imagens foto-realísticas impressionantes e filmes do edifício, incluindo o sombreamento ao longo do dia.*
 - *A arquitectura interna do código do motor gráfico, está preparada para ser expandida de forma rápida pelo que permitirá um rápido desenvolvimento das novas ferramentas de modelação, previstas para as próximas versões.*
- *Simulação*
 - *Os dados do comportamento físico do edifício podem ser visualizados sem recorrer a módulos externos de tratamento de dados.*
 - *As descrições EnergyPlus ‘AVAC Compacto / Compact HVAC’ são uma ferramenta versátil e rápida para a análise detalhada de sistemas de aquecimento e climatização mais comuns. Estão pré-definidas as seguintes configurações:*
 - *Modelo para sistema VAV com reaquecimento terminal e controlo de ar exterior*
 - *Volume constante.*
 - *Sistemas de ar condicionado SPLIT.*
 - *Ventiloconvectores.*
 - *Recuperação de calor.*
 - *Unidades exteriores de cobertura, de expansão directa.*

- *Radiador de água quente.*
- *Pavimento radiante.*
- *Aquecimento radiante de alta temperatura.*
- *Todos os sistemas de ar podem ter recirculação com controlo de ar exterior, economizador e modelação de ventiladores e bombas de circulação.*
- *AQS*
- *É possível modelar sistemas de ventilação natural introduzindo setpoints de temperatura para controlar a abertura de janelas. As grelhas/registos podem ser reguladas de acordo com a temperatura de ar exterior.*
- *As janelas e envidraçados podem ser configurados com diferentes caixilhos e definindo o número de divisórias horizontais e verticais. Estão disponíveis ainda envidraçados electrocrómico e isolamento transparente.*
- *Para criar sombreamento, podem ser usadas palas horizontais, laterais e de lamelas, bem como dispositivos de sombreamento móveis interiores e exteriores.*
- *É possível modelar cavidades envidraçadas tais como duplas fachadas e paredes de Trombe.*
- *Iluminação natural - modelação do controlo de iluminação usando um ou dois sensores (dimmers) por zona de funcionamento contínuo ou discreto. Cálculo da poupança energética de iluminação.*
- *Gradientes verticais dinâmicos de temperaturas em zonas de pés-direitos altos, como átrios e para sistemas de ventilação por deslocamento vertical.*
- *São modeladas e analisadas estruturas arquitectónicas complexas, tais como colunas, dispositivos de sombreamento complexos etc., incluindo efeitos de sombreamento e reflexões.*
- *Podem ser disponibilizados os seguintes tipos de dados da simulação, em períodos anuais, mensais, diários, horários ou sub-horários:*
 - *Consumo energético discriminado por fins (aquecimento, arrefecimento ambiente, ventilação, iluminação, equipamentos etc.) e por formas de energia utilizadas no edifício (electricidade, gás natural, propano ou butano, biomassa ou outras).*
 - *Temperaturas do ar interior, média radiante e operacional, humidade relativa.*
 - *Índices de conforto, incluindo curvas de distribuição de temperatura.*
 - *Dados climatéricos do local.*
 - *Transmissão de calor através da envolvente do edifício, incluindo paredes, coberturas, infiltração, ventilação etc.*
 - *Cargas de aquecimento e climatização.*
 - *Produção de CO2.*

- *Dimensionamento das unidades de climatização feito com base nos dados climáticos.*
- *Os gráficos de análise paramétrica permitem investigar efeitos de variações em vários tipos de parâmetros construtivos.*
- *Podem ser exportados ficheiros IDF dos modelos para serem utilizados fora da plataforma do DesignBuilder.*
- *Estão disponíveis vários motores de simulação EnergyPlus (executável ou DLL), incluindo versões anteriores disponibilizadas pelo DOE, assim como versões compiladas pelo próprio utilizador.*
- *Base-de-dados*
 - *Inclui o último conjunto de dados climatéricos e de localização ASHRAE a nível mundial (4429 conjuntos de dados) e através de download automático a partir do programa, é possível obter dados climatéricos horários do EnergyPlus (1258 disponíveis, de todo o mundo).*
 - *Bibliotecas pré-definidas permitem rapidamente definir materiais e construções, actividades e sistemas de iluminação e AVAC.*
 - *É possível criar bibliotecas de pré-definições personalizadas, caso seja útil utilizar determinadas definições em várias construções e edifícios.*
- *Visualização*
 - *O modelo serve também para gerar e exportar imagens realísticas do edifício, tendo em conta as construções e materiais utilizados.*
 - *Análise de sombreamento para cada dia do ano.*
 - *Filmes AVI de sombreamento ao longo do dia e de voo orbital em torno da construção gerados automaticamente.*
 - *Zonas com diversas Colour-coded layout images show zone activities (usage).*
 - *Secções por corte.”(Site Natural Works*