

Análise e Certificação Energética de um Edifício de Comércio e Serviços

Tomás Miguel Pacheco Alves

Relatório Final da Dissertação apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Para obtenção do grau de Mestre em
Energias Renováveis e Eficiência Energética

Orientado por:

Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares

2014/2015

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais e irmã Ângela,
Por todos os sacrifícios que fizeram por mim e por todo o apoio que me deram.
Dedico também à Paula,
por todo o apoio, carinho, compreensão e paciência que teve ao longo destes meses.
Aos meus avós pelas palavras sábias e pelo exemplo que sempre deram.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Orlando Soares, um sincero agradecimento por todo o apoio e orientação que teve antes e durante a execução deste trabalho, não poupando esforços durante estes longos meses, contribuindo para o culminar deste trabalho.

À direção da Câmara Municipal de Paços de Ferreira, pela autorização da realização deste trabalho, pela disponibilidade de toda a informação possível e apoio dos departamentos intervenientes.

Ao Engenheiro Paulo Vilhena, um sincero obrigado, pela incansável abertura e apoio que teve para comigo, durante todas as visitas que foram efetuadas, para a recolha de toda a informação.

À Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, pela disponibilização dos equipamentos e do software essencial para a realização do trabalho. Um agradecimento especial a todos os meus amigos e familiares pelo seu incentivo e carinho que me deram durante este percurso académico.

Resumo

A dependência de energia e do desenvolvimento tecnológico da sociedade atual, faz com que se torne necessário olhar para a eficiência energética como uma ferramenta para a redução dos consumos energéticos.

A aplicação da Diretiva 2002/91/CE, através da criação dos decretos-lei, visou a inserção de um conjunto de medidas que levem à introdução de forma intensa da eficiência energética dos edifícios.

Os decretos-lei produzidos possuem diversos objetivos dos quais se destacam a metodologia de cálculo do desempenho energético, aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético de edifícios novos e existentes e a sua certificação energética.

Relativamente aos grandes edifícios de comércio e serviços as metodologias de determinação do seu desempenho energético existentes são através do consumo efetivo ou através da simulação dinâmica multizona. A metodologia com base na simulação dinâmica multizona é efetuada através de um programa acreditado pela norma ASHRAE 140.

A análise energética foi efetuada com recurso ao software DesignBuilder, tendo sido efetuado um levantamento exigente de todas as características arquitectónicas, à ocupação e dos sistemas de iluminação e climatização no edifício em estudo. Para uma melhor recolha de informação recorreu-se a equipamentos técnicos especializados como o termofluxímetro e a câmara termográfica.

Palavras Chave: Eficiência Energética, Certificação Energética, DesignBuilder, Simulação Dinâmica

Abstract

The dependence on energy and technological development of the current society, makes it becomes necessary to look at energy efficiency as a tool for the reduction of energy consumption.

The application of Directive 2002/91/CE, through the creation of the ordinance-law, sought the insert of a group of measures to take to the introduction in intense way of the energy efficiency of the buildings.

The ordinance-law produced possess several objectives of the which stand out the methodology of calculation of the energy acting, application of minimum requirements for the energy acting of new and existing buildings and his energy certification.

For major buildings of trade and services, methodologies of determining its existing energy performance are through the effective consumption or through dynamic simulation multi-zone. The methodology with base in the simulation dynamic multizona is made through a program believed by the norm ASHRAE 140.

Energy analysis was performed using the software DesignBuilder, having been made an exacting further lifting of all the architectural features, the occupation and the lighting and HVAC systems in the building under study. For better data collection was used specialized technical equipment, such as heat flowmeter and thermography camera.

Keywords: Energy Efficiency, Energy Certification, DesignBuilder, Dynamic Simulation.

Índice

Índice de Figuras	XIII
Índice de Tabelas	XV
Lista de Abreviaturas	XIX
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura do documento.....	3
2. Política e Legislação Energética	5
2.1 Política Energética Nacional.....	5
2.1.1 PNAEE 2016-Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética.....	6
2.1.2 PNAER 2020-Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis	7
2.2 Legislação Energética Nacional Atual.....	8
3. Desempenho Energético de um Edifício.....	11
3.1 Simulação Dinâmica Multizona	13
3.2 Cálculo Dinâmico Simplificado	13
3.3 Consumo Efetivo.....	14
3.4 Rácio de classe energética	14
4. Auditoria Energética	17
4.1 Breve introdução	17
4.2 Caso de Estudo-Edifício Câmara Municipal de Paços de Ferreira.....	18
4.3 Características arquitetónicas	19
4.4 Ocupação.....	21
4.5 Iluminação.....	21
4.6 Equipamentos	23
4.7 Climatização.....	24
4.8 Infraestruturas Energéticas	26
4.9 Consumos e Custos energéticos.....	27
4.10 Emissões de Dióxido de Carbono associadas	29
4.11 Indicador de Eficiência Energética do Edifício.	30
5. Medições efetuadas no local	31
5.1 Estudo termográfico	31
5.1.1 Breve Introdução - Radiação infravermelha	31
5.1.2 Termografia por infravermelhos	32
5.1.3 Equipamentos	33
5.1.4 Termografia em Edifícios-Caso de estudo	33

Índice

5.2	Estudo do Coeficiente de transferência de calor através do termofluxímetro	35
5.2.1	Breve introdução - Medição da resistência e transmitância térmica <i>in-Situ</i>	36
5.2.2	Aparelho	36
5.2.3	Medições	37
5.2.4	Aquisição de dados	37
5.2.5	Análise dos dados	38
5.2.6	Caso de estudo	38
6.	Simulação Dinâmica Multizona-DesignBuilder	41
6.1	Construção Modelo computacional	41
6.2	Calibração do modelo	43
6.3	Necessidades de Aquecimento e Arrefecimento	44
6.4	Balço Energético do Edifício	47
6.4.1	Envolvente	47
6.4.2	Ganhos Internos	48
6.4.3	Ganhos Solares	49
6.4.4	Consumos Energia Elétrica e Gás Natural	50
6.4.5	Emissões estimadas de dióxido de carbono	52
6.4.6	Classe Energética	52
7.	Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício	55
7.1	Medida 1-Substituição dos balastros ferromagnéticos por balastros eletrónicos	55
7.1.1	Retorno do Investimento	57
7.2	Medida 2- Substituição dos sistemas de iluminação de lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas LED	58
7.2.1	Retorno do Investimento	59
7.3	Medida 3 - Aplicação de películas solares nos vãos envidraçados	60
7.3.1	Retorno do Investimento	61
7.4	Medida 4- Substituição dos sistemas de iluminação de lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas LED e aplicação de películas solares nos vãos envidraçados	61
7.4.1	Retorno do Investimento	62
7.5	Sistema Solar Fotovoltaico para autoconsumo	62
7.5.1	Descrição do sistema	64
7.5.2	Estimativa de Energia produzida	65
7.5.3	Retorno do Investimento	65
7.6	Classificação Energética	66
8.	Conclusão	67
	Bibliografia	69
	Anexo A-Sistemas de Iluminação	i
	Anexo B-Equipamentos	v

Anexo C-Medições Termofluxímetro	vii
Anexo D-Esquemas dos pisos na Simulação.....	xi
Anexo E-Resultado da Simulação do Sistema Solar Fotovoltaico no PVSyst.....	xxv
Anexo F-Retorno do Investimento das medidas propostas em conjunto com a instalação do Sistema Solar Fotovoltaico	xxvii

Índice de Figuras

Figura 4-1-Edifício da Câmara Municipal de Paços de Ferreira	18
Figura 4-2-Tipologia das Lâmpadas utilizadas no edifício.	21
Figura 4-3-Número de Lâmpadas por piso.....	22
Figura 4-4- Problema no isolamento da tubagem.....	24
Figura 4-5-Caldeira e Queimador instalados.....	25
Figura 4-6Chillers Elétricos instalados no topo do edifício.	25
Figura 4-7-UTA's responsáveis pela ventilação no Bloco A.....	26
Figura 4-8-Variação da Energia Reativa Consumida	26
Figura 4-9- Variação da Energia Reativa Fornecida	27
Figura 4-10-Variação da faturação (C/IVA) da energia elétrica durante 2012 a 2014 ..	29
Figura 5-1-Espectro Eletromagnético [21]	31
Figura 5-2-Perdas de energia associadas ao mau isolamento do circuito de aquecimento.	34
Figura 5-3-Perdas de calor nos Quadros elétricos.....	34
Figura 5-4-Análise termográfica da fachada do edifício (perdas referentes ao isolamento da parede).	35
Figura 5-5-Análise termográfica do Salão Nobre.....	39
Figura 5-6-Sensor de Temperatura de contato e termofluxímetro.	39
Figura 6-1-Modelo tridimensional implementado.....	41
Figura 6-2-Zoneamento do Piso 2	42
Figura 6-3-Visualização tridimensional do edifício e das sombras para o dia 2 de agosto	43
Figura 6-4-Perdas de calor no edifício	45
Figura 6-5-Variação horária das temperaturas interna do ar, radiante, operativa e externa do boldo seco.....	46
Figura 6-6-Balanco Energético anual da envolvente do edifício.	48
Figura 6-7-Balanco Energético mensal da envolvente.	48
Figura 6-8-Ganhos Internos anuais.....	49
Figura 6-9-Ganhos Solares ao longo do ano.	49
Figura 6-10-Resultados da simulação referentes ao consumo de eletricidade e gás natural.	51
Figura 6-11-Desagregação dos consumos por sector	51
Figura 6-12-Variação mensal das emissões de CO ₂	52
Figura 7-1-Local de instalação do Sistema solar Fotovoltaico.....	63

Índice de Figuras

Figura 7-2-Sistema Solar Fotovoltaico para autoconsumo [24].	63
Figura 7-3-Modulo Fotovoltaico	64
Figura D- 1-Zoneamento Piso 0-CMPF	xiii
Figura D- 2-Zoneamento Piso 1-CMPF	xv
Figura D- 3-Zoneamento Piso 2-CMPF	xvii
Figura D- 4-Zoneamento Piso 3-CMPF	xix
Figura D- 5-Zoneamento Piso 0-Junta de freguesia.	xxi
Figura D- 6-Zoneamento Piso 1-Junta de Freguesia	xxiii

Índice de Tabelas

Tabela 3-1-Consumos de Energia a considerar no IEE _S e no IEE _T [15]	12
Tabela 3-2-Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio e serviços de acordo com o tipo de edifício e a sua situação [15].....	13
Tabela 3-3-Fórmula de cálculo do IEE, para efeitos de classificação energética de pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços [16].	15
Tabela 3-4-Intervalos de valor de RIEE para a determinação da classe energética em edifícios de comércio e serviços [16].	15
Tabela 4-1-Área dos diferentes andares da Câmara Municipal de Paços de Ferreira	19
Tabela 4-2- Elementos construtivos das Paredes Exteriores	20
Tabela 4-3- Elementos construtivos das Coberturas Superiores	20
Tabela 4-4-Densidade Luminosa dos diferentes espaços do edifício.....	22
Tabela 4-5-Densidade de Equipamentos dos diferentes espaços do edifício	23
Tabela 4-6- Consumo e Faturação do gás natural	28
Tabela 4-7-Variação da Energia Ativa de 2012-2014	28
Tabela 4-8- Fatores de Conversão de energia final para energia primária [19]	29
Tabela 4-9-Fatores de Conversão das emissões de CO ₂ [19]	30
Tabela 4-10-Indicador de Eficiência Energética	30
Tabela 5-1-Subdivisão da radiação infravermelha [21].....	32
Tabela 6-1-Consumos Globais faturados e previstos pela simulação	44
Tabela 6-2-Temperaturas obtidas da simulação (necessidades de aquecimento).....	44
Tabela 6-3-Necessidades de Aquecimento por Piso.....	46
Tabela 6-4-Temperaturas obtidas da simulação (necessidades de arrefecimento).....	47
Tabela 6-5-Necessidades de Arrefecimento por Piso	47
Tabela 6-6-Racio Janela/parede tendo como base a orientação.	50
Tabela 6-7-Fatores de Conversão referentes às Emissões de CO ₂	52
Tabela 6-8-Rácio de classe energética.....	53
Tabela 7-1-Redução da potência instalada associada à substituição dos balastros	55
Tabela 7-2-Densidade Luminosa após a alteração para balastros eletrónicos.....	56
Tabela 7-3-Redução dos consumos energéticos estimados-Medida 1.	57
Tabela 7-4-Investimento estimado-Medida 1	57
Tabela 7-5-Retorno do Investimento-Medida 1	58
Tabela 7-6-Redução da potência instalada associada à substituição dos sistemas de iluminação por lâmpadas LED	58

Tabela 7-7-Densidade Luminosa após a alteração dos sistemas de iluminação por LED.	58
Tabela 7-8-Redução dos consumos energéticos estimados-Medida 2	59
Tabela 7-9-Investimento estimado-Medida 2	59
Tabela 7-10-Retorno do Investimento-Medida 2	60
Tabela 7-11-Diferença dos Ganhos Solares Mensais apos a aplicação das películas solares.	60
Tabela 7-12- Redução dos consumos energéticos estimados-Medida 3	61
Tabela 7-13-Investimento estimado-Medida 3	61
Tabela 7-14-Retorno do Investimento-Medida 3	61
Tabela 7-15- Redução dos consumos energéticos estimados-Medida 4	62
Tabela 7-16-Investimento estimado-Medida 4	62
Tabela 7-17-Retorno do Investimento-Medida 4	62
O módulo escolhido foi o modelo c-Si M60B de potência de pico de 260Wp, da marca Bosch, sendo as características elétricas apresentadas na	64
Tabela 7-18-Características Elétricas do Módulo	64
Tabela 7-19-Características do Inversor Fotovoltaico	65
Tabela 7-20-Produção estimada de energia do sistema solar fotovoltaico	65
Tabela 7-21-Investimento estimado-Sistema Solar Fotovoltaico	65
Tabela 7-22- Retorno do Investimento-Sistema Solar Fotovoltaico	66
Tabela 7-23-Variação do R_{IEE} com a implementação das propostas apresentadas	66
Tabela 7-24- Variação do R_{IEE} com a implementação das propostas apresentadas em conjunto com o sistema solar fotovoltaico	66
Tabela A- 1-Iluminação presente no Piso 0-CMPF	i
Tabela A- 2-Iluminação presente no Piso 1-CMPF	i
Tabela A- 3-iluminação presente no Piso 2-CMPF	ii
Tabela A- 4-Iluminação presente no Piso 0-Junta de Freguesia.	iii
Tabela A- 5-Iluminação presente no Piso 1-Junta de Freguesia	iii
Tabela B- 1-Equipamentos presentes no Piso 0-CMPF.	v
Tabela B- 2-Equipamentos presentes no Piso 1-CMPF.	v
Tabela B- 3-Equipamentos presentes no Piso 2-CMPF.	vi
Tabela B- 4-Equipamentos presentes na Junta de Freguesia	vi
Tabela C- 1-Medições efetuadas com o termofluxímetro.	vii
Tabela F- 1-Investimento estimado-Medida 1 (mais SSF)	xxvii
Tabela F- 2-Retorno de Investimento-Medida 1 (mais SSF)	xxvii

Tabela F- 3-Investimento estimado-Medida 2 (mais SSF).....	xxvii
Tabela F- 4-Retorno de Investimento-Medida 2 (mais SSF)	xxvii
Tabela F- 5-Investimento estimado-Medida 3 (mais SSF).....	xxviii
Tabela F- 6-Retorno de Investimento-Medida 3 (mais SSF)	xxviii
Tabela F- 7-Investimento estimado-Medida 4 (mais SSF).....	xxviii
Tabela F- 8-Retorno de Investimento-Medida 4 (mais SSF)	xxviii

Lista de Abreviaturas

- APREN:** Associação Portuguesa de Energias Renováveis;
- ASHRAE:** Standard method of Test for Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs;
- CAD:** Desenho Assistido por Computador;
- CO₂:** Dióxido de Carbono
- GEE:** Gases de Efeito de Estufa;
- GES:** Grande Edifício de Comércio e Serviços;
- HVAC:** Heating, Ventilating, and Air Conditioning;
- IEE:** Indicador de Eficiência Energética;
- LED:** díodo emissor de luz;
- Mtep:** Milhões de toneladas equivalentes de petróleo;
- PES:** Pequeno Edifício de Comércio e Serviços;
- PIB:** Produto Interno Bruto;
- PNAEE:** Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética;
- PNAER:** Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis;
- PNBEPH:** Plano Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico;
- QAI:** Qualidade do Ar Interior nos Edifícios;
- RCCTE:** Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;
- RECS:** Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços;
- REH:** Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação;
- R_{IEE}:** Rácio de Classe Energético do Edifício;
- RSECE:** Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios;
- SCE:** Sistema de Certificação Energética;
- TIV:** Termografia por infravermelhos;
- U_{global}:** Condutividade térmica global;
- UTA:** Unidade de tratamento de Ar.

1. Introdução

1.1 Enquadramento

No mundo atual, a sociedade encontra-se cada vez mais dependente da energia e do desenvolvimento tecnológico e económico, o que leva a uma perspetiva de aumento futuro das necessidades energéticas.

Portugal, tal como a União Europeia, é energeticamente dependente de terceiros, mesmo após a introdução de medidas para o impulsionamento da utilização de fontes renováveis de energia e da melhoria da eficiência energética dos sistemas.

O consumo interno bruto de energia na Europa atingiu, em 2013, o valor mais baixo desde 1994, que precisou de 1.666 milhões de toneladas equivalentes a petróleo (Mtep) para satisfazer as suas necessidades internas de energia, sendo que pouco mais de metade é ainda proveniente do exterior. Com estes dados, o consumo interno bruto de energia europeu encontra-se nos níveis dos primeiros anos da década de 90 e representa uma queda de 9% comparativamente a 2006, ano em que se deu o maior pico de consumo desde 1990 (832 Mtep).[1]

Também em 2013, foram gerados 790 Mtep de energia dentro das fronteiras europeias, colocando a dependência energética do exterior nos 53,2%. A energia nuclear (29%) e as renováveis (24%) representaram, em conjunto, mais de metade da produção doméstica de energia na Europa. [1]

Em Portugal, o consumo energético bruto em 2013 situou-se nos 22,6 Mtep, não oscilando muito dos valores registados nos dois anos anteriores. A dependência energética nacional, foi de 73,5%. Praticamente toda a energia gerada em Portugal tem origem em fontes renováveis — 97,5% de 5,7 Mtep. Os resíduos não renováveis correspondem a 2,5% da produção doméstica. [1]

A Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN) prevê que a utilização de energia proveniente de fontes de energia renováveis levará a uma redução de 17,3% da dependência energética em 2030, que por sua vez levará a melhorias consideráveis em termos do PIB, criação de emprego entre outros. [2]

1.Introdução

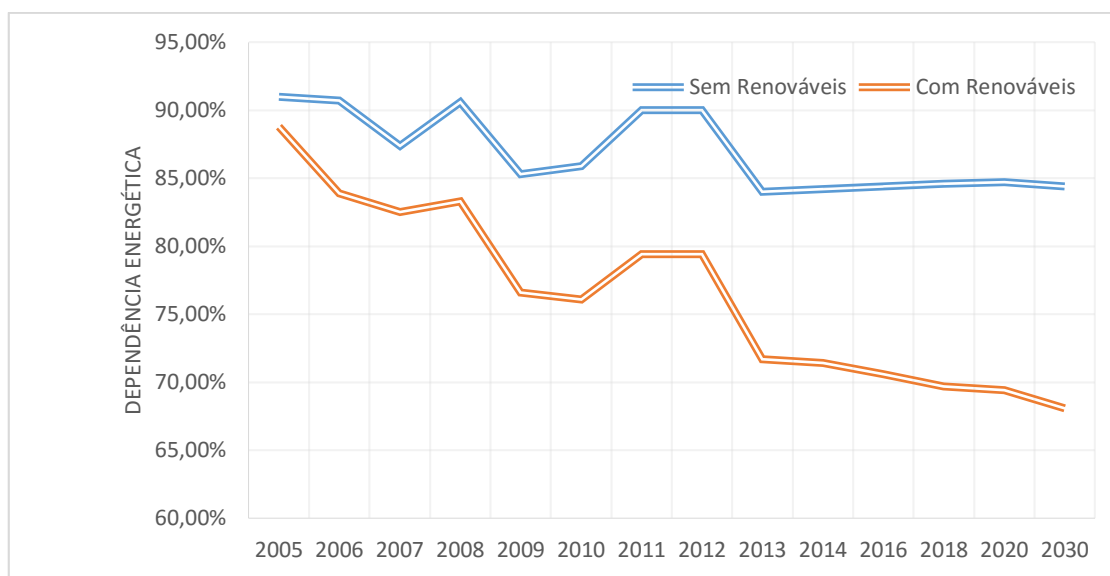


Figura 1-1-Dependência Energética em Portugal (Adaptado de [2])

O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente de 40% da energia final da Europa, e cerca de 30% no caso nacional, sendo porem possível reduzir em mais de 50% através de medidas de eficiência energética [3]. Sobre o certificado energético de um edifício pode-se afirmar que representa uma importante ferramenta de informação e sensibilização do consumidor que permite não só ter a ideia do comportamento térmico do edifício bem como quais os impactos na fatura ao final do mês.

Diversos fatores (como o reduzido isolamento térmico, a humidade, a fraca ventilação entre outros), contribuem para o aumento do consumo de energia final, uma vez que influenciam de uma maneira negativa as necessidades de aquecimento e arrefecimento.

1.2 Objetivos

O objetivo central desta dissertação é a análise energética detalhada de um edifício de comércio e serviços, sendo neste caso, o edifício da Câmara Municipal de Paços de Ferreira, tendo como base a legislação nacional atual.

Para a realização da análise energética, efetuou-se um plano de ações para efetuar uma completa recolha de toda a informação, sendo implementada toda a informação recolhida no *software* DesignBuilder, através da criação de um modelo computacional que represente todas as características arquitectónicas e todos os equipamentos existentes, possibilitando efetuar a simulação dinâmica multizona do edifício. Através dos resultados da simulação dinâmica multizona é possível obter a classificação energética do edifício. De seguida, pretende-se efetuar um plano de alterações técnicas ou comportamentais a implementar no edifício, com vista à melhoria da classificação energética, simulando a

sua aplicação no edifício, no *software*, com vista a obter uma estimativa das reduções do consumo energético de cada medida.

Por último, procura-se efetuar uma análise técnica e económica de cada medida a implementar, com apresentação dos custos, poupanças e retorno simples do investimento.

1.3 Estrutura do documento

A dissertação é repartida em diversos capítulos com vista a fácil compreensão dos conceitos teóricos relacionados com a legislação e com a eficiência energética, sendo de seguida apresentada a análise dos resultados e do plano de ação com vista a melhoria da eficiência energética. Posto isto a estrutura do documento é o seguinte:

- Capítulo 1: enquadramento da dissertação e definição dos objetivos da mesma;
- Capítulo 2: apresentação da política energética nacional, com a apresentação do Plano Nacional de Ação para a Eficiência energética (PNAEE 2016) e do Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER 2020), bem como da legislação nacional atual, mais concretamente o Sistema de Certificação Energética dos edifícios (SCE), o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento do Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços (RECS);
- Capítulo 3: apresenta a fórmula de cálculo do Desempenho Energético de um Edifício, bem como dos métodos definidos para a determinação do índice de eficiência energética relativamente a edifícios de comércio e serviços;
- Capítulo 4: fundamentação teórica de uma execução de uma auditoria energética e apresentação do edifício em estudo, com a apresentação das características arquitectónicas, da ocupação, da iluminação, dos equipamentos, da climatização e a caracterização das infraestruturas energéticas. É apresentada também os consumos energéticos anuais do edifício bem como dos seus custos financeiros e emissões de dióxido de carbono.
- Capítulo 5: são apresentados dois estudos efetuados através da medição *in-loco*, estudo termográfico com recurso à câmara termográfica e estudo do coeficiente de transferência de calor através de um termofluxímetro;
- Capítulo 6: é apresentado o modelo computacional utilizada para a simulação dinâmica, bem como a análise detalhada dos resultados obtidos.
- Capítulo 7: é descrito um plano de ação com vista a melhoria do desempenho energético do edifício em estudo, sendo efetuado uma análise técnica e económica

1.Introdução

de cada medida proposta. Por fim é apresentada a influência que cada uma das medidas apresentadas, e da conjugação de alguma das medidas em termos de redução de consumos energéticos e da melhoria da classificação energética do edifício.

- Capítulo 8: apresentação das conclusões obtidas durante a execução da dissertação.

2. Política e Legislação Energética

A União Europeia tem unido esforços para a implementação de medidas direcionadas para a redução significativa da dependência energética de energias de origem fósseis, substituindo-as por fontes de energias renováveis e por fomentar alterações a nível comportamental dos cidadãos europeus, adaptando-os a um nível de vida mais sustentável. Assim durante o Conselho Europeu de Bruxelas de março de 2007 foram definidas as diretrizes para a introdução de medidas que visam a proteção do clima e a criação de políticas energéticas.

O uso e produção de energia são responsáveis por um elevado desgaste no ambiente, visto promoverem a libertação de uma grande quantidade de gases com efeito de estufa (GEE) para a atmosfera. A limitação e redução dessas emissões é um dos principais focos de atuação da política energética europeia, tendo como meta para 2020 a redução de, pelo menos, 20% nas emissões de gases de efeito de estufa quando comparados com os valores verificados em 1990.

Contudo a limitação e redução não seria o único foco de atuação do Conselho Europeu ao nível de políticas energéticas tendo sido definidos mais dois focos. Aumentar a contribuição das energias renováveis no consumo de energia para cerca de 20% bem como a melhoria de 20% na eficiência energética. [4]

2.1 Política Energética Nacional

Portugal, tal como todos os Estados Membros tendo por base o compromisso assinado no Protocolo de Quioto, assentou o seu Plano Político Energético na:

- Racionalidade económica e;
- Sustentabilidades.

Para permitir a sua implementação, foram criadas medidas de eficiência energética, de utilização de energia proveniente de fontes renováveis e de redução de custos, podendo ser apresentadas em traços gerais nos seguintes objetivos (5):

- Reduzir significativamente as emissões de gases com efeito de estufa, de forma sustentável;
- Reforçar a diversificação das fontes de energia primária, contribuindo para aumentar estruturalmente a segurança de abastecimento do País;
- Aumentar a eficiência energética da economia, em particular no setor Estado, contribuindo para a redução da despesa pública e o uso eficiente dos recursos;

2. Política e Legislação Energética

- Contribuir para o aumento da competitividade da economia, através da redução dos consumos e custos associados ao funcionamento das empresas e à gestão da economia doméstica, libertando recursos para dinamizar a procura interna e novos investimentos [5].

De modo a não colocar em causa a competitividade das empresas e a qualidade de vida dos cidadãos na criação de um modelo energético racional e sustentável, foram desenvolvidos planos e programas que concorrem para objetivos específicos e que permitem dinamizar medidas a todos os níveis, nomeadamente, o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) e o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP)(5). De referir que até 2013 o PNAEE e o PNAER eram tratados separadamente, tendo sido recentemente integrados de modo a que seja possível existir uma atividade centrada no cumprimento dos objetivos nacionais e europeus, reduzindo o investimento e aumentando a competitividade.

2.1.1 PNAEE 2016-Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

A criação de uma estratégia para Eficiência Energética tem por objetivo tornar a eficiência energética numa prioridade, uma vez que Portugal não possui recursos fósseis endógenos nem volume suficiente de compras de energia primária para que possa influenciar os preços de mercado (*price taker*). Por outro lado, promove a proteção ambiental e a segurança energética com uma boa relação custo-benefício [6,7].

O Principal objetivo do PNAEE 2016 é estimular novas ações e metas para 2016, em articulação com o PNAER 2020, integrando preocupações relativas à redução de energia primária, com base em três eixos de atuação:

1. Ação, através da adequação das medidas ao atual contexto económico-financeiro, tendo em vista a redução do custo global do programa nacional de eficiência energética;
2. Monitorização, através da revisão dos métodos de monitorização dos resultados em conformidade com as diretrizes europeias e criação de uma visão macro do impacto do programa nacional de eficiência energética;
3. Governação, através da redefinição do modelo de governação PNAEE.

Os sectores abrangidos pelo PNAEE 2016 são os Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura [7].

No setor dos Transportes foram abrangidos os seguintes programas:

- Eco Carro;
- Mobilidade Urbana;
- Sistema de Eficiência Energética nos Transportes.

No setor Residencial e Serviços foram abrangidos os programas:

- Renove Casa & Escritórios
- Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios
- Integração de Fontes de Energia Renováveis Térmicas/Solar Térmico

No setor Indústria foi abrangido o programa designado por Sistema de Eficiência Energética na Indústria, enquanto no setor do Estado foi designado o Eficiência Energética no Estado [7].

Relativamente ao setor da Agricultura foi definido o programa Eficiência Energética no Setor Agrário, sendo o programa Comunicas Eficiência Energética o definido para o setor de Comportamentos.

2.1.2 PNAER 2020-Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

A Diretiva Europeia para as Energias Renováveis estabelece a obrigatoriedade de cada Estado Membro a aprovação e notificação à Comissão Europeia de um plano nacional de ação para as energias renováveis, firmando os objetivos em termos de cotas de energia proveniente de fontes renováveis [8]. Os sectores abrangidos são os setores da Eletricidade, do Aquecimento e Arrefecimentos e dos Transportes. Porém apenas foi definida como meta de 10% de consumo energético proveniente de fontes renováveis no setor dos transportes de forma vinculativa [7].

O PNAER estabelece as trajetórias de introdução de fontes de energia renovável em concordância com o ritmo de implementação das medidas e ações previstas para cada um dos setores já referidos.

São apresentadas as seguintes políticas para o setor do aquecimento e arrefecimento:

- Solar Térmico;
- Calor Verde;
- Registo de instaladores de pequenos sistemas renováveis.

Relativamente ao setor da Eletricidade, destacam-se os seguintes programas:

- Centrais de Biomassa;
- Miniprodução;
- Plano Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH);
- Sobre-equipamento Parques Eólicos;

- Valorização da Biomassa Florestal

No setor dos Transportes, o PNAER apresenta duas medidas específicas denominadas por Mobilidade Elétrica e Biocombustíveis.

2.2 Legislação Energética Nacional Atual

O Estado Português tendo por base a Diretiva nº2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de Dezembro de 2002, criou um conjunto de medidas através da publicação de Decretos-lei, que visam promover de forma intensa a eficiência energética dos edifícios. A Diretiva nº2002/91/CE detém como principais objetivos a metodologia de cálculo do desempenho energético, a aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético de novos edifícios e dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a grandes intervenções, a certificação energética dos edifícios e a inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e avaliação dos equipamentos com mais de 15 anos de vida [9].

Os Decretos-lei criados para a aplicação da diretiva foram:

- Decreto-Lei 78/2006 de 4 de abril [10], que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE) e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (QAI);
- Decreto-Lei 79/2006 de 4 de abril [11], que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE);
- Decreto-Lei 80/2006 de 4 de abril [12], que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

O SCE tinha como principais objetivos assegurar, em termos regulamentares, as condições de eficiência energética, a utilização de sistemas de energia renováveis e as condições de garantia de qualidade de ar interior, seguindo as indicações expressas no RSECE e RCCTE. Pretendia também certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios, bem como identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos. [10]

O RCCTE tinha como objetivo definir os requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e para os pequenos edifícios de comércio e serviços, mais precisamente nas características construtivas do edifício de modo a tentar limitar as perdas térmicas. [12]

O RSECE por seu lado, abrangia os grandes edifícios de comércio e serviços e de habitação com sistemas de climatização, com especial enfoque na eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios e a qualidade do ar interior. [11]

Com a publicação da Diretiva nº2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios, foram reformulados os seguintes requisitos [13]:

- Metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e frações autónomas;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios e frações autónomas novas;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos:
 - Edifícios existentes, frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações;
 - Elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos;
 - Sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado.
- Planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia, isto é, um edifício com um desempenho energético muito elevado e que as necessidades de energia deverão ser suprimidas por energia proveniente de fontes renováveis;
- Certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;
- Inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios;
- Sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção.

A transposição da diretiva para o regime jurídico nacional foi feita através do Decreto-Lei 118/2013 de 20 de agosto, que permitiu também uma revisão da legislação nacional que se une em melhoria ao nível da sistematização e âmbito de aplicação, num único diploma. Nesse diploma único está incluído o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). [14]

Com a separação clara do âmbito de aplicação do REH e do RECS, passando o primeiro a incidir exclusivamente sobre os edifícios de habitação, tendo como principal destaque

2. Política e Legislação Energética

o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas. Relativamente ao RECS, a incidência era sobre os edifícios de comércio e serviços, com destaque para o comportamento térmico, eficiência dos sistemas e instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos.

Para além da revisão dos requisitos de qualidade térmica são implementados requisitos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios, introduzindo assim padrões mínimos de eficiência energética para os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis e de gestão de energia.

3. Desempenho Energético de um Edifício

O desempenho energético de um edifício de comércio e serviços é avaliado pela determinação do IEE-Indicador de Eficiência Energética, seguindo as determinações explicitadas na Portaria nº 349-D/2013 de 2 de dezembro [15]. Segundo esta portaria o IEE é determinado com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área interior útil de pavimento, tendo por base a seguinte equação:

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren} \quad \text{Eq.1}$$

Em que:

- IEE_S , representa os consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, sendo determinado pela Eq.2 e considerando os consumos anuais de energia por fontes i , $E_{S,i}$, para as funções indicadas na Tabela 3-1:

$$IEE_S = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}) \quad \text{Eq.2}$$

Onde:

- $E_{S,i}$ que representa o consumo de energia por fonte de energia i para os usos de tipo S;
- A_p , representa a área útil de pavimento;
- $F_{pu,i}$, que representa o fator de conversão de energia útil para energia primária.
- IEE_T , representa os consumos de energia que não são considerados para efeitos de classificação energética, sendo determinado pela equação 3 e considerando os consumos anuais de energia por fontes i , $E_{T,i}$, para as funções indicadas na Tabela 3-1:

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{pu,i}) \quad \text{Eq.3}$$

Onde:

- $E_{T,i}$ que representa o consumo de energia por fonte de energia i para os usos de tipo T;
- IEE_{ren} , que é obtido com base na produção de energia elétrica e térmica com base em energias renováveis, sendo apenas tida em consideração a energia elétrica produzida e destinada a autoconsumo e a energia térmica efetivamente utilizada.

3.Desempenho Energético de um Edifício

Tabela 3-1-Consumos de Energia a considerar no IEE_s e no IEE_T [15]

Consumos IEE _s	Consumos IEE _T
Aquecimento e arrefecimento ambiente;	Ventilação e bombagem não associada ao controlo de cargas térmicas;
Ventilação e bombagem em sistemas de climatização	Equipamentos de frio;
Aquecimento de águas quentes sanitárias e de piscina;	Iluminação de utilização pontual;
Iluminação interior;	Elevadores, escadas, tapetes rolantes e iluminação exterior (até ao fim de 2015);
Elevadores, escadas, tapetes rolantes e iluminação exterior (a partir de 2016);	Restantes equipamentos não incluídos em IEE _s

A Portaria nº349-D/2013 distingue, tendo em consideração a aplicação nos edifícios de comércio e serviços, os seguintes tipos de IEE:

- IEE previsto (IEE_{pr}), que procura traduzir o consumo anual de energia do edifício tendo em consideração a localização do edifício, as características da envolvente, a eficiência dos sistemas técnicos bem como dos perfis de utilização previstos;
- IEE efetivo (IEE_{ef}), que procura traduzir o consumo anual de energia do edifício tendo em consideração o histórico de faturas de energia, e/ou a avaliação energética realizada num período de um ano;
- IEE referência (IEE_{ref}), que procura traduzir o consumo anual de energia do edifício, caso este fosse equipado de soluções de referência para alguns elementos da envolvente e para alguns dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as demais características do edifício.

Para a determinação dos diferentes IEE de um edifício de comércio e serviços utilizam-se diferentes métodos, tais como, simulação dinâmica multizona, cálculo dinâmico simplificado e consumo efetivo, tal como está explicitado na Tabela 3-2.

Tabela 3-2-Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio e serviços de acordo com o tipo de edifício e a sua situação [15].

Tipo de Edifício	Método	Novo	Existente	Grande Intervenção
Pequeno Edifício de Comércio e Serviços (PES)	Base	Simulação Dinâmica Multizona	Consumo Efetivo	Simulação Dinâmica Multizona
	Alternativo	Cálculo Dinâmico Simplificado	Simulação Dinâmica Multizona ou Cálculo Dinâmico Simplificado	Cálculo Dinâmico Simplificado
Grande Edifício de Comércio e Serviços (GES)	Base	Simulação Dinâmica Multizona	Consumo Efetivo	Simulação Dinâmica Multizona
	Alternativo	Não aplicável	Simulação Dinâmica Multizona	Não Aplicável

3.1 Simulação Dinâmica Multizona

A determinação do IEE com base no método de simulação dinâmica multizona deve ser realizada por um programa acreditado pela norma ASHRAE 140, sendo o exemplo DesignBuilder que será utilizado no âmbito deste trabalho e que tem nomeadamente capacidade para modelar [15] :

- Mais que uma zona térmica;
- Com um incremento de tempo horário e por um período de um ano civil, contabilizado em 8760 horas;
- A variação horária das cargas internas, diferenciadas em ocupação iluminação e equipamentos;
- Os pontos de ajuste dos termostatos das zonas térmicas e a operação dos sistemas de climatização, permitindo a respetiva parametrização, de forma independente, para dias de semana e fins de semana;
- A recuperação de calor do ar de rejeição;
- O efeito de massa térmica do edifício.

3.2 Cálculo Dinâmico Simplificado

O método de Cálculo Dinâmico Simplificado deve determinar o IEE_{pr} tendo por base o balanço de energia numa base horária para a estimativa das necessidades de energia em

3. Desempenho Energético de um Edifício

aquecimento e arrefecimento. Esse balanço é obtido tendo em consideração algumas simplificações metodológicas e pressupostos tais como [15]:

- O cálculo das necessidades de energias para aquecimento e arrefecimento por zona térmica;
- Introdução de perfis de utilização em hora solar;
- A utilização de dispositivos de sombreamento, sempre que a fachada possua mais de 300 W/m² de radiação solar incidente;
- O cálculo do fator solar, dos fatores de obstrução, fração envidraçada, coeficiente de redução de perdas de espaços complementares e edifícios adjacentes, os coeficientes de absorção à radiação solar da envolvente opaca e pontes térmicas planas e dos coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior, interior e em contato com o solo é feito de acordo com o estabelecido no REH.

3.3 Consumo Efetivo

Relativamente ao método do consumo efetivo, o IEE_{ef} é calculado a partir do consumo médio anual de energia final (E_f), por fonte de energia (i), expresso em kWh, e tendo em conta o fator de conversão para energia primária (F_{pi}) e a área útil de pavimento do edifício (Eq.4)

$$IEE_{ef} = \frac{1}{A_p} \sum_i E_{fi} \cdot F_{pi} \quad \text{Eq.4}$$

Para a determinação do consumo médio anual de energia final por fonte de energia e de consumo anual desagregado por tipos de utilização, considera-se as seguintes formas ou fontes de informação [15]:

- Faturas de energia e/ou registos de contagem de energia de 36 meses de utilização ou de 12 meses, no mínimo, e que representem o funcionamento normal do edifício;
- Resultados de uma avaliação energética, bem como os dados provenientes de um sistema de gestão de energia.

3.4 Rácio de classe energética

Após a determinação do IEE aplicável ao caso em estudo e de acordo com os métodos mencionados é possível calcular a classe energética de um edifício. Para tal o Despacho n° 15793-J/2013 [16] apresenta a fórmula a utilizar para a determinação da classe energética de um edifício de comércio e serviços (Eq.5):

$$R_{IEE} = \frac{IEE_s - IEE_{ren}}{IEE_{ref,s}} \quad \text{Eq.5}$$

Em que:

- R_{IEE} , representa o rácio de classe energética do edifício;
- IEE_s , representa o indicador de eficiência energética obtido mediante as informações da Tabela 3-3;
- IEE_{ren} , representa o indicador de eficiência energética renovável associado à produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis de energia;
- $IEE_{ref,s}$, que representa o indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S.

Tabela 3-3-Fórmula de cálculo do IEE, para efeitos de classificação energética de pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços [16].

Fórmula de cálculo do IEEs			
Tipo de Edifício	Novo	Existente	Grande intervenção
PES	$IEE_{pr,S}$	$IEE_{ef,S}$ ou $IEE_{pr,S}$	$IEE_{pr,S}$
GES	$IEE_{pr,S}$	$IEE_{ef,S}$ ou $IEE_{pr,S}$	$IEE_{pr,S}$

Obtido o R_{IEE} mediante a conjugação das variáveis mencionadas, a determinação da classe energética do edifício de comércio e serviços deve ser feita com recurso à Tabela 3-4 sendo a classe energética aquela que se enquadra num dos 8 níveis de classes possíveis.

Tabela 3-4-Intervalos de valor de R_{IEE} para a determinação da classe energética em edifícios de comércio e serviços [16].

Classe energética	Valor de R_{IEE}
A ⁺	$R_{IEE} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{IEE} \leq 0,75$
B ⁻	$0,76 \leq R_{IEE} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{IEE} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{IEE} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{IEE} \leq 2,50$
F	$R_{IEE} \geq 2,51$

4. Auditoria Energética

4.1 Breve introdução

Uma auditoria energética caracteriza-se como um estudo detalhado das condições de utilização de energia numa determinada instalação, tornando-se assim numa ferramenta importante a utilizar pelo gestor de energia. O principal objetivo da auditoria energética é identificar e quantificar os fluxos de energia utilizados (eletricidade, tipos de combustíveis, etc.), caracterizar os sistemas existentes para a conversão destas forma de energia em energia final e avaliar as necessidades energéticas específicas de cada utilização e /ou sector do edifício. [17,18]

Para a realização eficiente da auditoria é necessário efetuar um planeamento prévio, de modo a desenvolver algumas tarefas por uma determinada ordem e sequência corretas, que vão desde a análise detalhada das faturas energéticas à análise física detalhada aos equipamentos responsáveis pela geração/consumo de energia térmica e elétrica. Na fase final da auditoria são apresentados os resultados e possíveis medidas a implementar de forma a reduzir os consumos em áreas específicas. [17,18]

Durante a execução da auditoria, a definição e a sequência das ações a executar são de uma significativa importância, de modo a se identificar, quantificar e corrigir as perdas de energias identificadas. O planeamento da auditoria é uma das etapas mais influentes na qualidade do trabalho a desenvolver, sendo geralmente onde se realiza a recolha e análise dos dados referentes à organização funcional do edifício (plantas), as características construtivas, os setores e serviços existentes, a distribuição e utilização dos diversos tipos de energia (elétrica e térmica), as características dos principais consumidores (equipamentos/serviços), a compra de energia (faturas) entre outras. [17,18]

De seguida, é elaborado o plano de intervenção de campo, que compreende a recolha de toda a informação possível e útil para a elaboração do relatório recorrendo a todas as medições possíveis e necessárias para se identificar as possibilidades reais de redução de consumo de energia, analisando as operações e /ou equipamentos com elevado consumo de energia. A intervenção de campo tem uma duração entre uma e duas semanas, devendo o auditor ter uma atenção permanente, de modo a que lhe seja possível detetar todas as situações possíveis de corrigir. [17,18]

Após o término da intervenção de campo, é preciso efetuar à análise e organização da informação obtida, devendo-se privilegiar o tratamento da informação de forma a

4. Auditoria Energética

apresentar como resultados um conjunto de indicadores de natureza quantitativa que permitam uma avaliação rigorosa do desempenho energético. Após a identificação de situações que representem uma incorreta utilização da energia, o auditor deve estudar e apresentar possíveis soluções a implementar para corrigir essa anomalia. Deve-se realizar também um estudo técnico-económico a todas as soluções que se possam implementar e quantificar as poupanças a elas associadas. [17,18]

Por fim, é necessário criar um relatório onde conste toda a informação recolhida, a análise energética, as situações encontradas, a identificação das anomalias e as medidas propostas para anular ou diminuir essas anomalias. [17,18]

4.2 Caso de Estudo-Edifício Câmara Municipal de Paços de Ferreira

O edifício em análise é a Câmara Municipal de Paços de Ferreira, um edifício público de prestação de serviços, localizado na Praça da República nº 46, na cidade de Paços de Ferreira. O edifício data dos finais dos anos 90, não tendo sido realizadas alterações significativas ao nível arquitetónico com o decorrer dos anos. Na Figura 4-1 é apresentada uma imagem da fachada principal do edifício.



Figura 4-1-Edifício da Câmara Municipal de Paços de Ferreira

Em termos de geometria, o edifício composto por 2 corpos (Bloco A e Bloco B) que comunicam entre si. O Bloco A está organizado em 2 pisos e o Bloco B em 4. Relativamente ao Bloco A, o Rés-do-Chão (piso 0) é referente aos serviços de atendimento ao público, tais como Secretaria, Gabinete do Município, Divisão Jurídica entre outros, enquanto no 2º andar se encontra os gabinetes dos diversos dirigentes políticos (Presidente e Vereadores das mais diversas áreas) bem como o salão nobre,

utilizado para atividades públicas de relevo. Em relação ao Bloco B, o Rés-do-chão é direcionado aos gabinetes dos Serviços Informáticos, Economato e Fiscalização entre outros, o 1º andar é referente ocupado por gabinetes das mais diversas áreas de Engenharia e Ambiente, o 2º andar tem os gabinetes referentes às áreas de Arquitetura e Notariado e o 3º andar foi pensado como local de arquivo geral, não estando, porém, concluído, o que leva a sua não utilização. Em termos de orientação, este tem a fachada principal orientada para oeste (270⁰). De referir que a fachada mais a Sul do Rés-do-chão do Bloco B estão localizadas as instalações da Junta de Freguesia. No subsolo encontram-se dois pisos de estacionamento aberto a todos os utilizadores, adjacente a todo o edifício sendo considerado de espaço não útil com ventilação permanentemente aberta.

Na Tabela 4-1 é apresentada a distribuição de áreas por andar.

Tabela 4-1-Área dos diferentes andares da Câmara Municipal de Paços de Ferreira

Piso	Área (m²)
Rés-do Chão	2.075,50
1º Andar	2.146,90
2º Andar	727,20
3º Andar	727,20

Segundo a legislação em vigor (14)define-se como grande edifício de comércio e serviços, todos os edifícios com área interior útil de pavimento, descontando os espaços complementares, igual ou superior a 1.000 m², ou 500 m² para o caso dos hipermercados, supermercados e piscinas cobertas. Assim é possível classificar o edifício da Câmara Municipal de Paços de Ferreira como um grande edifício de comércio e serviços (GECeS).

4.3 Características arquitetónicas

O levantamento da informação “*in loco*” bem como a análise de alguns documentos disponibilizados pelo gabinete técnico do Executivo da Câmara Municipal, permitiu identificar algumas das componentes das paredes exteriores, interiores, dos vãos envidraçados e das coberturas. De salientar que por motivos de alteração de gestão do município ao longo dos anos não foi possível ter acesso a todas as informações arquitectónicas, bem como a descrição completa de todas as paredes constituintes do edifício. As paredes exteriores são constituídas pelos elementos apresentados na

Tabela 4-2:

Tabela 4-2- Elementos construtivos das Paredes Exteriores

Exterior	Elemento	Espessura (m)
↓	Placa de Granito/Mármore	0,03
	Caixa-de-Ar	0,015
	Areado Fino	0,01
	Tijolo Simples	0,11
	Caixa-de Ar	0,3
	Poliestireno Extrudido (XPS)	0,03
	Tijolo Simples	0,11
Interior	Areado Fino	0,01

As placas de granito/mármore são fixadas na parede através da utilização de grampos que permitem assim uma fixação eficiente das mesmas bem como garantir uma distância à parede fazendo com que haja circulação permanente de ar entre as placas de granito e a parede, tornando a fachada fortemente ventilada. Em termos de condutividade térmica da parede decidiu-se que o mais correto, devido à existência de alguma danificação dos elementos constituintes, seria fazer a determinação através do recurso ao termofluxímetro que será abordado em mais detalhe no ponto 5.2 tendo-se obtido um valor de $1,62 \text{ W/m}^2\text{K}$. Relativamente às paredes interiores do edifício, são constituídas por tijolo de 11 cm, com areado fino de ambas as partes, com um U_{global} de $2,245 \text{ W/m}^2\text{K}$.

As coberturas superiores de ambos os blocos são constituídas pelos seguintes elementos (Tabela 4-3):

Tabela 4-3- Elementos construtivos das Coberturas Superiores

Exterior	Elemento	Espessura (m)
↓	Gravilha	0,016 a 0,036
	Poliestireno Extrudido (XPS)	0,03
	Tijolo	0,25
	Caixa-de-Ar	1 a 2
Interior	Teto falso de pladur	0,013

A variação da espessura da caixa-de-ar deve-se ao facto de o pé-direito do edifício variar consoante as mais diversas zonas (corredores, gabinetes de apoio, WC) possuindo um U_{global} de $1,165 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Os vãos envidraçados do edifício, na sua totalidade são de vidros duplos de 6+10+6 mm, com caixilharia de alumínio, sendo utilizado o ar como gás de barreira térmica entre cada vidro com uma condutividade térmica de $3,157 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.4 Ocupação

A ocupação do edifício é de cerca de 80 pessoas, sendo de 100% ao longo do horário de trabalho, isto é, entre as 9h e as 18h de segunda-feira a sexta-feira, estando encerrado aos fins de semana, excetuando atividades casuais. Tem termos de ocupante por área, verifica-se que a ocupação de todo o edifício é de cerca de 0,0315 ocupantes/m².

4.5 Iluminação

A iluminação do edifício é garantida na sua quase totalidade por lâmpadas fluorescentes tubulares de 36 W e de 58 W e com recurso a balastros ferromagnéticos o que aumenta o consumo em cerca de 20% a 30%. Existem também alguns locais onde a iluminação é feita através de lâmpadas fluorescentes compactas de 18 W (tipicamente zonas de passagem com iluminação natural) e com lâmpadas de halogénio de 50 W (Sala de reuniões e Salão Nobre no Bloco A). Para se obter estes valores foi efetuado o levantamento exaustivo, visto que nunca foi efetuado este tipo de trabalho no edifício pelos técnicos responsáveis pela iluminação.

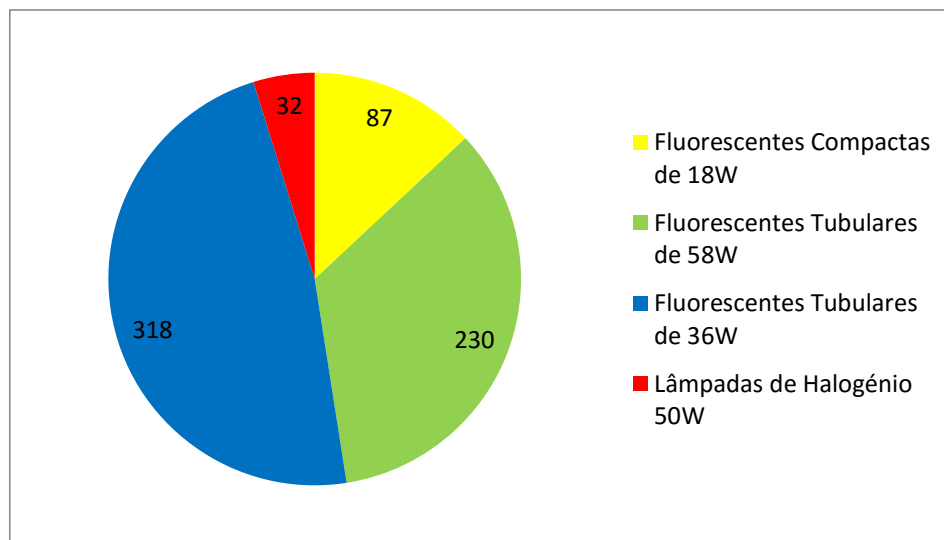


Figura 4-2-Tipologia das Lâmpadas utilizadas no edifício.

No edifício encontram-se instaladas 667 lâmpadas, com uma potência total instalada de 28.290 W. Em termos estatísticos verifica-se que as lâmpadas fluorescentes tubulares são responsáveis por 82,16% de toda a potência instalada referente à iluminação (Figura 4-2). Em termos de distribuição por piso verifica-se que o Piso 0 e Piso 1 são os responsáveis por quase a totalidade da potência instalada, sendo que o Piso 3 não possui qualquer carga devido a ainda não estar completamente concluído Figura 4-3.

4. Auditoria Energética

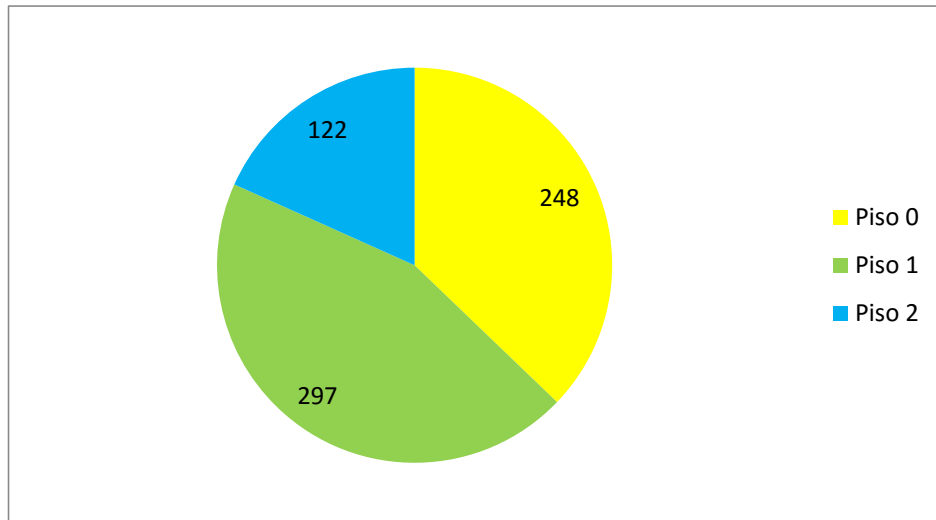


Figura 4-3-Número de Lâmpadas por piso.

Relativamente à densidade luminosa de cada espaço verifica-se que os espaços com maior valor são os corredores sem iluminação natural. Na Tabela 4-4 é apresentada a densidade luminosa por piso e por espaço.

Tabela 4-4-Densidade Luminosa dos diferentes espaços do edifício.

Piso 0		Piso 1		Piso 2	
	W/m ²		W/m ²		W/m ²
Corr. Ent. Traseiras	0,69	Corredor	18,15	Arquitetura	9,86
Corr. Gab Tecn. Bloco B	19,31	Corredor 1	1,79	Arquivo	12,45
Corr. Gab Tecn. Bloco A	19,29	Corredor 2	19,66	Corredor	19,58
Gab. Apoio	9,59	Corredor 3	20,32	Gab. Apoio 1	9,06
Gab. Apoio 1	13,45	Corredor 4	0,71	Gab. Apoio 2	11,96
Gab. Apoio 2	9,43	Gab Apoio	8,80	Notariado	7,04
Gab. Inform. e Economato	7,92	Gab Apoio 1	9,45	Rec. Humano	8,10
Gab. Tecnico	9,21	Gab Apoio 2	10,72	Reprografia	8,19
Hall Ent., Segur.	1,55	Gab Apoio, Presidência	8,53	Sala de Desenho	9,46
Sistemas Informáticos	7,84	Gab Apoio Vereação	7,07	Topografia	15,71
Taxas Lic., Div Jurídica	7,33	Gab Apoio Vereação 1	7,82	Toponímia	5,24
Tesouraria	6,03	Gab Apoio Vereação 2	10,05	WC	5,50
WC	8,72	Sala de Reuniões	9,85		
WC 1	12,07	Salão Nobre	6,51		
WC 2	12,07	Telefonistas	3,87		

<u>Corredor</u>	<u>10,22</u>	WC	8,61
<u>Gabinete</u>	<u>6,48</u>	WC 1	8,61
<u>WC</u>	<u>13,92</u>	WC 2	8,61
		<u>Corredor</u>	<u>7,79</u>
		<u>Gabinete</u>	<u>5,62</u>
		<u>WC</u>	<u>7,96</u>

Os espaços a sublinhado e itálico na tabela são referentes à Junta de Freguesia localizada na zona sul do Piso 0. Toda a informação detalhada sobre o levantamento dos sistemas de iluminação está disponível no **Anexo A**.

4.6 Equipamentos

Apesar das cargas referentes à iluminação terem uma forte influência nos consumos energéticos, estas não são, porém, as únicas consumidoras de energia elétrica existentes no edifício. Equipamentos tais como computadores e impressoras são essenciais para o funcionamento de um edifício de comércio e serviços, tornando-se assim essencial fazer o levantamento de todos esses equipamentos.

Tabela 4-5-Densidade de Equipamentos dos diferentes espaços do edifício

Piso 0	W/m²	Piso 1	W/m²	Piso 2	W/m²
Gab. Apoio	21,24	Gab Apoio	22,93	Arquitetura	12,84
Gab. Apoio 1	25,01	Gab Apoio 1	21,53	Arquivo	2,59
Gab. Apoio 2	12,27	Gab Apoio 2	13,53	Gab. Apoio 1	10,89
Gab. Informática e Economato	13,20	Gab Apoio, Presidência	20,44	Gab. Apoio 2	13,35
Gab. Técnico	13,33	Gab Apoio Vereação	6,55	Notariado	4,58
Hall Entrada, Segurança	1,66	Gab Apoio Vereação 1	13,58	Recursos Humanos	7,91
Sistemas Informáticos	30,62	Gab Apoio Vereação 2	17,28	Reprografia	10,60
Taxas Licenças, Div Jurídica	13,59	Sala de Reuniões	0,00	Sala de Desenho	24,85
Tesouraria	17,48	Salão Nobre	0,58	Topografia	40,92
<u>Gabinete</u>	<u>7,50</u>	Telefonistas	27,67	Toponímia	13,64
		<u>Gabinete</u>	<u>7,32</u>		

Com o levantamento efetuado é possível determinar a densidade de equipamentos por todas as zonas implementadas no modelo computacional, permitindo assim torná-lo o mais realístico possível. Na Tabela 4-5 estão apresentadas as densidades de equipamentos por zona.

4. Auditoria Energética

Relativamente à tipologia dos equipamentos verificou-se que os computadores representam quase a totalidade dos equipamentos existentes, com cerca de 90,5% da potência. Em termos de utilização assumiu-se que estavam em utilização durante todo o horário de funcionamento do edifício. Em termos absolutos, o edifício possui um total de 168 equipamentos, entre computadores e impressoras, totalizando uma potência 40.990 W. A informação detalhada sobre os equipamentos presentes no edifício está disponível no **Anexo B**.

4.7 Climatização

A climatização do edifício é feita através de caldeiras a gás natural para o aquecimento ambiente e de *chillers* elétricos para o arrefecimento. O controlo da climatização é monitorizado através de um sistema de gestão central, estando pré-definidos os tempos de ativação das caldeiras e dos *chillers*. A climatização é feita de forma distinta no Bloco A e Bloco B. O Bloco A tem a climatização garantida através de ventiloconvectores instalados no solo e de UTA's que garantem a renovação de ar e a insuflação de ar frio mediante as condições. Relativamente ao Bloco B a climatização é garantida apenas por ventiloconvectores.



Figura 4-4- Problema no isolamento da tubagem.

A energia térmica é transportada através de uma rede de tubagem de água até aos ventiloconvectores que fazem a climatização do edifício. Existe na componente de aquecimento coletores de retorno e ida que fazem a ligação às caldeiras. De referir que foram verificados alguns problemas de isolamento das tubagens como se pode verificar na Figura 4-4. O aquecimento é garantido por duas caldeiras com uma potência térmica unitária de 200 kW, com um queimador da marca *Lamborghini* com uma potência de 129-258,5 kW tendo sido inicialmente alimentadas a gás propano, sendo recentemente

convertidos os queimadores para consumirem gás natural (Figura 4-5). Em termos de horário de funcionamento, as caldeiras funcionam de novembro a março, entre as 8h e as 18h, de 2^a a 6^a feira, sendo controladas até que o fluido de circulação alcance os 80^oC.



Figura 4-5-Caldeira e Queimador instalados.

O arrefecimento ambiente é garantido por dois *Chillers* (Figura 4-6) da Dunham-Bush de 300 kW de potência térmica, encontrando-se em funcionamento de junho a setembro, de 2^a a 6^a feira, das 8h às 18h até que o fluido de circulação alcance os 10^oC, sendo controlado, tal como as caldeiras, pelo sistema de gestão central.



Figura 4-6Chillers Eléctricos instalados no topo do edifício.

Relativamente à ventilação do Bloco A é feita através de duas unidades de tratamento de ar do tipo “roof-top” sendo que uma delas é responsável única e exclusivamente pela ventilação do Salão Nobre (Figura 4-7).

4. Auditoria Energética



Figura 4-7-UTA's responsáveis pela ventilação no Bloco A.

4.8 Infraestruturas Energéticas

O edifício consome dois tipos de energia para conseguir funcionar de forma correta. Energia elétrica para a iluminação, equipamentos como computadores e arrefecimento ambiente e Gás Natural para o aquecimento ambiente. Assim torna-se importante para o estudo do edifício conhecer quais as infraestruturas que garantem o abastecimento dessas tipologias de energia.

A energia elétrica é fornecida ao edifício através de um posto de transformação (PT) de 630 kVA e com uma corrente nominal de 24,2 A, da marca SIEMENS do ano 1995, colocado num edifício independente ao edifício em estudo sendo depois a distribuição de energia efetuada por cablagem subterrânea a baixa tensão 230/400V

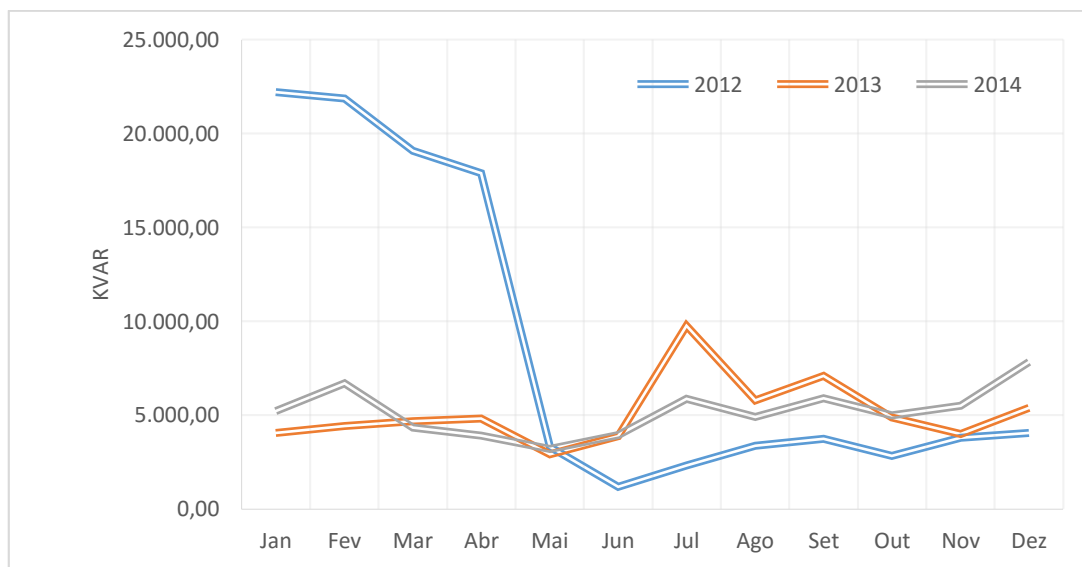


Figura 4-8-Variação da Energia Reativa Consumida

Relativamente ao consumo de energia reativa verifica-se que até 2012 houve faturação na ordem dos 2.700€ sendo que em julho desse ano foi instalada uma bateria de condensadores de 175 kVA automática. De referir que a faturação da energia reativa não é apenas referente à consumida, mas também à fornecida, e como seria de esperar, a consumida é a responsável por grande parte dessa faturação. Como primeiro efeito dessa instalação verificou uma redução drástica da faturação de energia reativa consumida, apesar de se ter verificado um aumento da energia reativa fornecida. Por este motivo foi necessário efetuar uma calibração da bateria de condensadores.

Em termos anuais, a faturação de energia reativa (consumida e fornecida) foi reduzida em cerca de 87%, para valores na ordem dos 340€ aproximadamente. Nas Figura 4-8 e Figura 4-9 é possível verificar a variação dos consumos de energia reativa para o triénio 2012-2014.

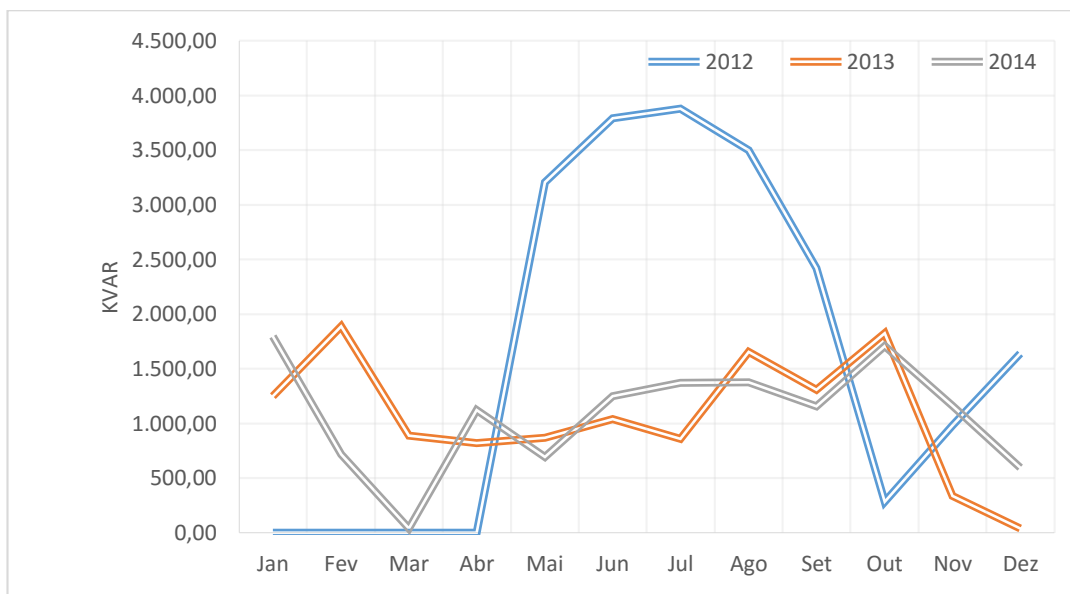


Figura 4-9- Variação da Energia Reativa Fornecida

O Gás Natural é garantido através da rede de distribuição de gás natural, comercializado pela EDP Comercial, sendo que antes da intervenção efetuada nas caldeiras (passagem de gás propano para gás natural), o combustível era proveniente de um depósito exterior de gás propano, instalado no exterior do edifício.

4.9 Consumos e Custos energéticos

Para além dos custos de pessoal, os custos energéticos são uma significativa despesa na gestão do edifício, sendo assim importante monitorizar e promover alterações com vista a redução dos consumos energéticos e consequentemente a sua faturação. Assim a monitorização dos consumos de energia elétrica é feita através de contador geral,

4. Auditoria Energética

existindo, no entanto, quadros de distribuição de energia por todo o edifício, sem contagens parciais.

Em termos de informação de consumos, foi possível ter acesso à faturação de energia elétrica de janeiro de 2012 a dezembro de 2014, porém apenas foi possível ter acesso ao valor anual do consumo de gás natural relativamente a 2014 (Tabela 4-6). Isso deve-se ao facto de ter existido a alteração do tipo de combustível e do comercializador. O preço médio, incluindo todas as taxas de kWh de gás natural, foi de cerca 6,86 c€ por kWh

Tabela 4-6- Consumo e Faturação do gás natural

Gás Natural (2014)	
Consumo (m ³)	14.000
Consumo (kWh)	206.618,21
Faturação	€ 6.425,82

Em termos de variação de energia elétrica verifica-se que em 2012 o consumo total de energia ativa foi de 386.403kWh (Tabela 4-7), tendo aumentado 8% em 2013. Esse aumento deve-se possivelmente ao fato de um período maior de funcionamento dos *Chillers* durante junho a setembro. Em 2014 verificou-se uma redução em cerca de 13% em relação ao valor de 2013, em parte devido à implementação de medidas eficiência energética, principalmente ao nível dos sistemas de iluminação.

Tabela 4-7-Variação da Energia Ativa de 2012-2014

Energia Ativa (kWh)	2012	2013	2014
Janeiro	38.364,68	34.482,67	43.698,85
Fevereiro	38.919,00	35.486,00	39.895,19
Março	35.959,00	33.365,00	25.409,66
Abril	29.564,85	29.155,00	26.805,33
Maio	28.994,00	22.612,00	21.417,01
Junho	26.405,00	24.760,00	26.373,10
Julho	32.742,00	44.997,11	34.604,20
Agosto	32.663,00	38.150,00	29.308,12
Setembro	33.192,00	42.077,00	33.020,69
Outubro	26.239,56	35.477,00	27.668,39
Novembro	28.002,00	28.660,55	27.508,42
Dezembro	33.346,00	52.464,00	30.548,37
Total	386.403,09	418.986,33	366.257,33

Em termos de faturação de energia elétrica (energia ativa e energia reativa) verificou-se que no ano 2012 atingiu-se o valor de 61.301,95€ (IVA incluído), tendo aumentado cerca

de 8% em 2013 para valores de 65.741,14€. No ano de 2014 os valores de faturação diminuíram para os 60.377,80€, cerca de 7% relativamente ao ano 2013.

Na Figura 4-10 está apresentada a variação mensal da faturação de energia elétrica. Em termos médios o valor do kWh de energia elétrica foi de 16,25c€.

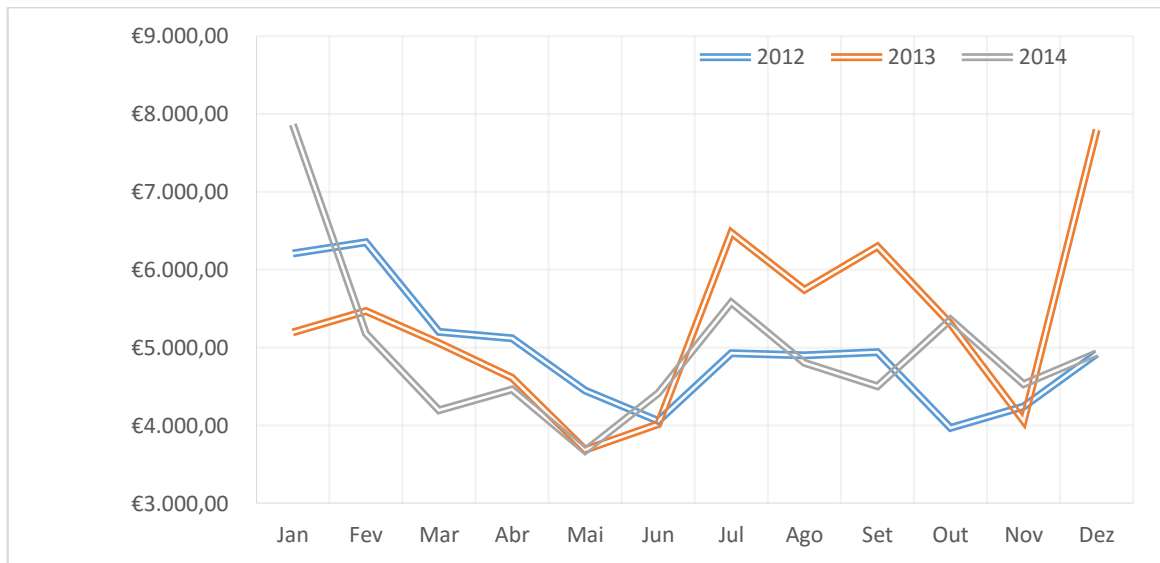


Figura 4-10-Variação da faturação (C/IVA) da energia elétrica durante 2012 a 2014

Em relação à potência contratada verificou-se que o valor foi constante durante o período em análise, relativo a uma potência igual a 292,95 kW.

4.10 Emissões de Dióxido de Carbono associadas

As emissões de dióxido de carbono são um indicador da influência ambiental que um edifício possui, uma vez que representa a emissão teórica da quantidade de dióxido de carbono expelida para a atmosfera para os seus consumos. Para isso é necessário efetuar a conversão a energia final comprada (energia elétrica e gás natural) em energia primária, utilizando os fatores de conversão da Tabela 4-8.

Tabela 4-8- Fatores de Conversão de energia final para energia primária [19]

Fonte de Energia	Fator de Conversão (kWh _{EP} /kWh)
Eletricidade	2,5
Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis	1

4. Auditoria Energética

Terminada a conversão de energia final para energia primária é possível determinar as emissões de dióxido de carbono referentes ao consumo de energia, através dos fatores de conversão apresentados na Tabela 4-9.

Tabela 4-9-Fatores de Conversão das emissões de CO₂ [19]

Fonte de Energia	Fator de Conversão (kgCO ₂ /kWh)
Eletricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL canalizado (propano)	0,170
GPL garrafas	
Renovável	0,0

Uma vez que apenas existem dados de consumos de gás natural do ano 2014 as emissões de CO₂ totais foram de 94.477,93 kgCO_{2eq}. Em termos estatísticos o consumo de energia elétrica é responsável por 63,7%, porém em termos de emissões de dióxido de carbono é responsável por 55,8%.

4.11 Indicador de Eficiência Energética do Edifício.

A determinação do IEE_{ef} é feita através da análise da fatura energética para o ano 2014, tendo sido seguida o método indicado no capítulo 3, tendo-se obtido um valor de 197,69 kWh_{EP}/m².ano (Tabela 4-10). Após a obtenção deste valor e comparando com os valores obtidos da Simulação Dinâmica Multizona do edifício, através do *software* DesignBuilder, é possível determinar o R_{IEE} e assim definir a classe energética.

Tabela 4-10-Indicador de Eficiência Energética

Indicador de Eficiência Energética	
Área Ocupada (m ²)	4.934,11
Consumo Eletricidade (kWh)	366.257,33
Consumo Gás Natural (kWh)	206.618,21
Consumo Eletricidade (kWh _{EP})	915.643,33
Consumo Gás Natural (kWh _{EP})	206.618,21
IEE (kWh _{EP} /m ² .ano)	197,69

5. Medições efetuadas no local

Na procura de obter informações mais próximas da realidade e, desta forma, complementar a avaliação o desempenho energético do edifício, foi possível, mediante a utilização dos equipamentos de medição apropriados, realizar dois estudos distintos:

- Estudo termográfico;
- Estudo da condutividade térmica através do termofluxímetro.

Os resultados obtidos nestas medições, permitiu verificar algumas das deficiências existentes no edifício, que de outra forma seriam difíceis de detetar através de uma análise mais linear das características físicas do edifício.

5.1 Estudo termográfico

5.1.1 Breve Introdução - Radiação infravermelha

Em 1800 o astrónomo inglês, Sir Frederick William Herschel descobriu os raios infravermelhos quando procurava determinar a quantidade de calor que passava através de filtros coloridos, utilizados na sua observação ao Sol e qual das cores correspondia ao maior aquecimento dos objetos. Para tal, Herschel incidiu a luz solar num prisma de vidro projetando um espectro contínuo de radiações com um comprimento de onda entre o vermelho e o violeta. Verificou então que a temperatura aumentava consoante se passava do violeta para o vermelho, obtendo-se temperaturas superiores numa zona de luz solar invisível.[20–22]

Posto isto, Herschel concluiu que as radiações para além da luz vermelha, invisíveis ao olho humano, eram responsáveis pelo aquecimento dos objetos denominando-as de “raios caloríficos” sendo posteriormente denominados de raios infravermelhos. [20–22]

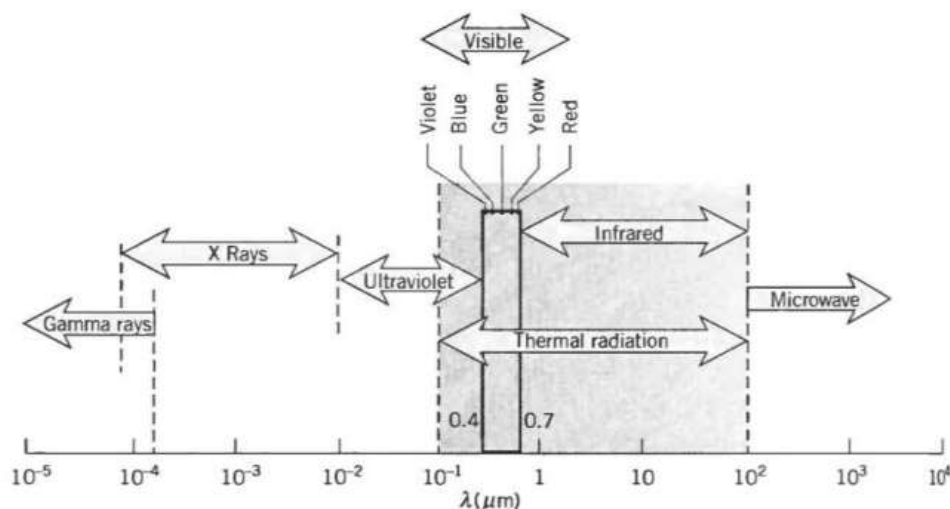


Figura 5-1-Espectro Eletromagnético [21]

5. Medições efetuadas no local

A radiação infravermelha é um gênero de energia eletromagnética idêntica às ondas rádios, raios-X, que se desloca à velocidade da luz no vácuo em relação ao observador, sob a forma de onda sinusoidal, sendo diferente apenas no comprimento de onda. A radiação infravermelha é transmitida por toda a matéria que se encontra a uma temperatura acima do zero absoluto ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$). No espectro eletromagnético (Figura 5-1) é possível encontrar a radiação infravermelha entre a luz visível (comprimento de onda de $0,4\text{ }\mu\text{m}$ e $0,7\text{ }\mu\text{m}$) e as ondas rádio. A radiação infravermelha pode ser dividida em categorias mediante o comprimento de onda (Tabela 5-1). [21]

Tabela 5-1-Subdivisão da radiação infravermelha [21]

Subdivisão da Radiação Infravermelha	Comprimento de Onda (μm)
Próximo - NIR	0.75 - 1
Curto – SWIR	1 – 3
Médio – MIR	3 – 5
Longo – LWIR	8 – 14
Muito Longo – VLWIR	14 - 100

5.1.2 Termografia por infravermelhos

A termografia por infravermelhos (TIV) é uma técnica utilizada para converter a radiação térmica emitida pela superfície de um objeto, que é invisível ao olho humano devido ao seu comprimento de onda, em imagens visuais detalhadas do perfil de temperaturas. Para tal, é utilizada uma câmara de termográfica que capta a radiação térmica (ou infravermelha) emitida pela superfície sem a necessidade de contato nem de um período de estabilização das temperaturas, o que permite a realização de medidas em situações onde não seria possível utilizar outras técnicas mais convencionais.

O resultado da análise termográfica são imagens térmicas, definidos como termogramas, em que as diferentes disposições de temperatura da superfície do objeto em estudo são exibidas por uma escala de cores. Esta técnica é uma importante ferramenta de estudo térmico nas mais diversas áreas, não sendo uma técnica destrutiva, necessitando, porém, que se verifique três condições para a sua aplicabilidade:

- O objeto ou superfície tem de apresentar uma temperatura diferente do meio em que se encontra inserido de modo a realçar a sua localização;
- Se na presença de um gradiente térmico, o objeto com as mesmas propriedades em toda a sua superfície apresentar flutuações de temperatura numa determinada zona, então estaremos possivelmente perante um defeito ou uma omissão de material;

- Na ausência das condições anteriores pode ser aplicada uma fonte de calor ou de frio na proximidade de superfície de modo a realçar anomalias ou defeitos.

A existência de defeitos a uma determinada superfície interfere com o fluxo de calor que a atravessa, originando mudanças locais da temperatura superficial, as quais podem ser detectadas através da termografia por infravermelhos.(21)]

5.1.3 Equipamentos

Com a evolução da tecnologia nos últimos anos foram criados e otimizados três sistemas para a medição de temperatura com o recurso à radiação infravermelha: os termómetros pontuais ou de ponto quente, os *scanners* de linha e as câmaras termográficas.

Os termómetros pontuais ou de ponto quente apenas têm a capacidade de indicar a temperatura de um ponto da superfície em estudo, sendo utilizados em muitas técnicas não destrutivas, apesar de não fornecerem uma imagem térmica.

Os *scanners* de linha por sua vez, colhem a radiação infravermelha numa série de prismas e espelhos internos permitindo assim obter um perfil de temperatura. A imagem térmica é construída com a repetição sucessiva do processo de recolha até se obter uma imagem completa.

As câmaras termográficas são o sistema para medição de temperatura através da radiação infravermelha mais recente, possuindo um formato muito semelhante a uma câmara de filmar ou a uma câmara fotográfica. A grande diferença destas câmaras termográficas é o facto de trabalharem na banda do espectro eletromagnético referente à radiação infravermelha. Com elas é possível captar e converter a radiação infravermelha emitida por uma superfície numa imagem térmica de duas dimensões numa escala de cores ou escala de cinza, representativa da temperatura da superfície. Apesar de até ao momento apenas ter-se falado da radiação, o utilizador desta tecnologia pretende também conhecer as temperaturas. Como a relação entre a radiação e a temperatura é uma lei física, foi possível implementar nas câmaras termográficas a conversão da radiação em temperatura.[20,21]

5.1.4 Termografia em Edifícios-Caso de estudo

A termografia em edifícios possui várias aplicações tais como a deteção de causas de patologias visíveis ou como ferramenta de engenharia preventiva, descobrindo patologias que ainda não apresentam causas visíveis. A título de exemplo, a aplicação da termografia em edifícios permite:

- Deteção de infiltrações ou fugas de água;

5. Medições efetuadas no local

- Detecção de fendas estruturais;
- Detecção de vazios no interior de betão;
- Detecção de corrosão de armaduras;
- Localização de redes interiores;
- Análise térmica dos edifícios.

Para o edifício em estudo foram efetuadas análises térmicas em locais como a fachada do edifício, na zona de climatização e nos quadros elétricos na procura de perdas de energia possíveis de resolver.



Figura 5-2-Perdas de energia associadas ao mau isolamento do circuito de aquecimento.

As principais patologias verificadas foram as perdas associadas a algumas zonas de circulação do fluido de aquecimento (Figura 5-2) onde se pode verificar os elementos onde existem perdas, essencialmente devido a falta ou defeito no isolamento dos circuitos. As termografias dos quadros elétricos permitem verificar o sobreaquecimento de disjuntores dos quadros elétricos (Figura 5-3).

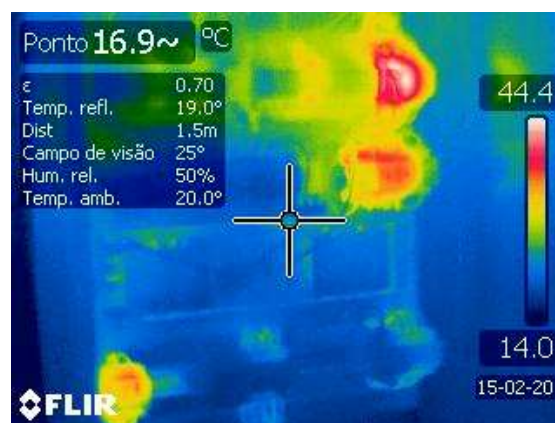


Figura 5-3-Perdas de calor nos Quadros elétricos.

Estes sobreaquecimentos são consequência das perdas por efeito de Joule, o que indica a existência de correntes elétricas elevadas devido à sobrecarga dos circuitos elétricos

protegidos por estes disjuntores. As perdas verificadas nos quadros elétricos são originárias, na sua grande maioria, pelos disjuntores responsáveis pela parte de comunicação dos diversos sectores do edifício e o sistema de gestão centralizado. Em termos da análise da fachada do edifício verificou-se que o principal ponto de perdas de energia são os envidraçados podendo também verificar-se algumas perdas devido ao desgaste do isolamento entre a parede e as placas de granito/mármore (pontes térmicas) (Figura 5-4).

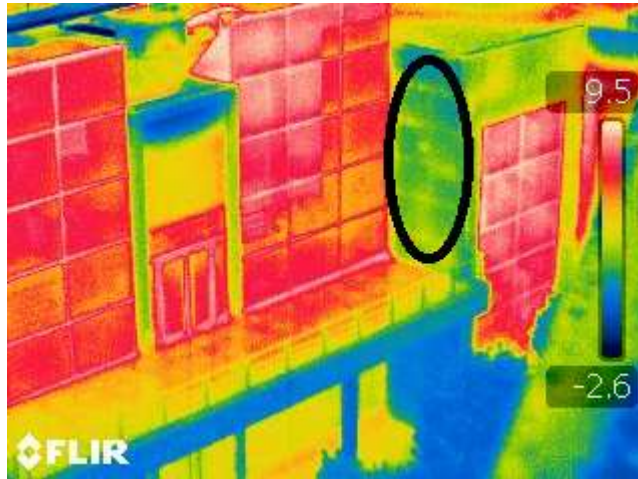


Figura 5-4-Análise termográfica da fachada do edifício (perdas referentes ao isolamento da parede).

5.2 Estudo do Coeficiente de transferência de calor através do termofluxímetro

O coeficiente de transferência de calor é obtido através da medição da taxa de fluxo de calor através de um elemento, com um medidor de fluxo de calor ou termofluxímetro, em conjunto com as temperaturas de ambos os lados do elemento em estado estacionário.

Porém como não é possível efetuar essa medição em estado estacionário, torna-se necessário recorrer a métodos que permitam ultrapassar essa dificuldade:

- Imposição das condições em estado estacionário com o recurso de uma caixa quente e fria, sendo geralmente utilizado este método em laboratórios;
- Assumir valores médios da taxa de fluxo de calor e temperaturas ao longo de um período suficientemente longo, que permita uma boa estimativa, sendo necessário garantir duas condições:
 - As propriedades térmicas dos materiais e a transferência de calor são constantes ao longo do intervalo de tempo em que ocorre o teste;
 - A alteração da quantidade de calor armazenado no elemento em estudo é negligenciável quando comparada com a quantidade de energia que atravessa o elemento. Este método é o mais indicado para trabalhos de

5. Medições efetuadas no local

campo, porém estão sujeitos a longos períodos de medição e a ocorrência de alguns erros.

- Utilizar uma teoria dinâmica para ter em consideração, as flutuações do fluxo de calor e temperaturas na análise de dados.

5.2.1 Breve introdução - Medição da resistência e transmitância térmica *in-Situ*

A norma ISO 9869/94 descreve o método de medição do fluxo de calor para a determinação das propriedades de transmissão térmica de uma construção plana constituída por camadas opacas e perpendiculares ao fluxo de calor. O método permite medir:

- A resistência térmica (R) e a condutividade térmica (Λ) a partir da superfície do elemento;
- A resistência térmica total (R_t) e a transmitância (U), a partir de um ambiente para outro, no caso de as temperaturas de ambos os ambientes sejam bem definidas.

O método pela medição do fluxo de calor também se pode aplicar em componentes constituídas por camadas quase homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, desde que as dimensões da falta de homogeneidade sejam inferiores às dimensões laterais e que não sejam pontes térmicas. Para outros componentes a transmitância térmica é obtida usando um calorímetro, ou pela obtenção de um valor médio de diversas medições.[23]

5.2.2 Aparelho

Os aparelhos utilizados são geralmente os termofluxímetros e os sensores de temperatura. Os termofluxímetros caracterizam-se por serem um transdutor que fornece um sinal elétrico em função de um fluxo de calor detectado. Usualmente são placas finas, termicamente resistivas com sensores de temperatura dispostos para que o sinal elétrico fornecido seja diretamente relacionado com o fluxo de calor. [23]

As suas principais propriedades são a baixa resistência térmica, de modo a minimizar as perturbações, alta sensibilidade que permita produzir um sinal suficientemente grande no caso de fluxos de calor baixos. No caso dos sensores de temperatura estes são transdutores que emitem um sinal em função linear com a temperatura, sendo que no mínimo se deve utilizar 2 sensores, permitindo assim medir a temperatura de ambos os lados do elemento em estudo. Um bom sensor de temperatura caracteriza-se por possuir uma precisão bastante elevada. Os sensores de superfície são adequados para a medição dos valores de R e de Λ . No geral são termopares finos ou de resistência plana, não sendo possível a sua incorporação no elemento. No caso de sensores de temperatura ambiente são os

adequados para a medição dos valores de U, necessitando de um cuidado especial na escolha tendo em consideração a gama de temperatura a medir. Estes devem ser protegidos contra fatores atmosféricos como a radiação solar e térmica e o vento, e permitir a sua incorporação no elemento. [23]

Durante a medição é necessário ter em consideração a dependência do sinal relativo à condutividade térmica do material, a temperatura do equipamento e outras grandezas físicas (tensões da radiação eletromagnética, etc.). [23]

5.2.3 Medições

A localização da área onde se irá efetuar a medição do fluxo calor desse ser escolhida mediante o objetivo do ensaio, podendo ser apropriado recorrer à termografia, e onde os sensores devem ser montados de tal forma que o resultado obtido seja representativo de todos os elementos construtivos, ou maior parte deles. [23]

Deve-se evitar de todo a instalação dos aparelhos nas proximidades de pontes térmicas, rachaduras ou fontes similares, sendo que os sensores não devem sofrer influência direta de qualquer aquecimento/arrefecimento. [23]

O termofluxímetro com o sensor de temperatura deve ser montado diretamente, sobre a face do elemento para que a temperatura seja mais estável, devendo estar em contato térmico direto com a superfície do elemento, ao longo de toda a área do sensor. [23]

A duração do teste pode ser muito reduzida se as temperaturas de ambos os lados do elemento forem estáveis antes e durante o ensaio e possuírem um diferencial térmico elevado. [23]

5.2.4 Aquisição de dados

Os dados do termofluxímetro e dos sensores de temperatura devem ser registados continuamente ou em intervalos fixos ao longo de um período de dias completo, em que a duração máxima entre dois registos e a duração mínima do ensaio depende:

- Da natureza do elemento;
- Da temperatura interior e exterior (média e flutuações, antes e durante a medição);
- O método utilizado para análise.

Geralmente o período mínimo de ensaio é de 72h no caso de a temperatura em que está inserido o termofluxímetro seja constante, sendo que a aquisição dos dados deve ser feita de modo contínuo e interrompido, sendo posteriormente guardados para análise por computador. É recomendável que as gravações sejam feitas em intervalos fixos, podendo

5. Medições efetuadas no local

variando tipicamente entre meia e uma hora (para o método da média) ou inferior no caso do método dinâmico. [23]

5.2.5 Análise dos dados

A norma ISO 9869/94 [23] apresenta dois métodos que podem ser utilizados para a análise dos dados recolhidos:

- O método da média;
- O método dinâmico.

No presente estudo foi utilizado o método da média sendo que apenas esse foi apresentado. O método da média assume que a condutância ou a transmitância pode ser obtida através da divisão da média da taxa de fluxo de calor pela variação de temperaturas interna e externa, durante um período de tempo suficientemente longo. O valor obtido da análise dos dados recolhidos é próximo do real quando se garantem as seguintes condições:

- A quantidade de calor do elemento é a mesma no final e no início da medição (mesmas temperaturas e humidade);
- O termofluxímetro não está exposto a radiação solar direta;
- A condutância térmica do elemento é constante ao longo do ensaio.

5.2.6 Caso de estudo

Uma vez que a informação relativa às paredes exteriores não era suficientemente completa e se verificavam alterações ao nível do isolamento exterior, tornou-se interessante efetuar um estudo do fluxo de calor. Assim foi selecionado um local que garantisse as condições anteriormente apresentadas, de modo a que o estudo fosse viável para representar de forma correta o comportamento da parede exterior no modelo dinâmico implementado em *DesignBuilder*.

O equipamento utilizado foi o termofluxímetro *TESTO 435*. A escolha recaiu no Salão Nobre, localizado no piso 1 do Bloco A, visto ser uma divisão pouco frequentada, não sofrendo assim grande flutuação da temperatura interior. Antes da instalação do termofluxímetro foi feita uma pequena análise termográfica, de modo a escolher o local (Figura 5-5).

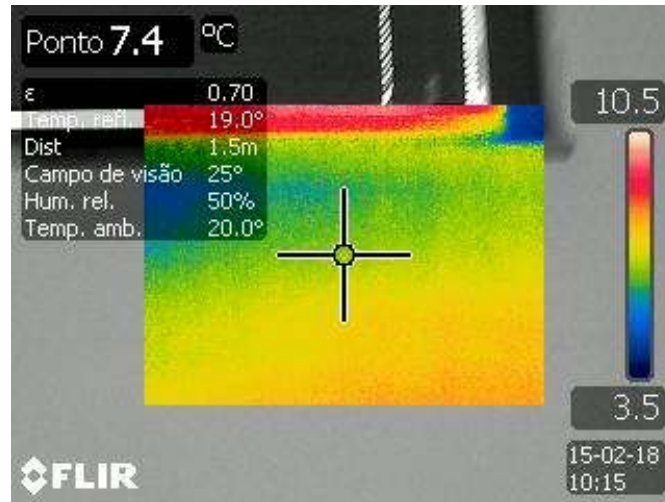


Figura 5-5-Análise termográfica do Salão Nobre

Visto não se ter verificado nenhum impedimento foi instalado o termofluxímetro para efetuar a medição durante 72h com um intervalo de meia hora em cada medição (Figura 5-6).



Figura 5-6-Sensor de Temperatura de contato e termofluxímetro.

A análise dos dados recolhidos foi feita com recurso ao “Testo Comfort- Software X35” do termofluxímetro que possui a capacidade de apresentar os dados em tabela ou por gráfico. Recorrendo-se ao método da média verificou-se que valor de U da parede exterior seria de $1,62 \text{ W/m}^2\text{K}$. Todos os valores da medição podem ser consultados no **Anexo C**.

6. Simulação Dinâmica Multizona-DesignBuilder

6.1 Construção Modelo computacional

Finalizada a recolha exaustiva dos dados característicos e energéticos do edifício, apresentados nos capítulos anteriores, é possível criar um modelo que represente o comportamento do edifício durante um ano completo.

Para tal recorreu-se ao *software* DesignBuilder, visto ser a primeira interface detalhada para o programa de simulação térmica EnergyPlus. Este caracteriza-se por possuir uma capacidade de modelação tridimensional de fácil manipulação, não possuindo qualquer limitação geométrica e disponibilizando vários elementos realísticos, o que permite fornecer detalhes tais como a tipologia de paredes e a sua espessura.

Como ponto de partida, é necessário escolher a localização que influencia desde logo os resultados obtidos, visto que o programa associa a cada cidade um conjunto de dados climáticos da sua base de dados, permitindo assim obter resultados muito mais reais, uma vez que o clima de um local influencia consideravelmente as necessidades de aquecimento e de arrefecimento.

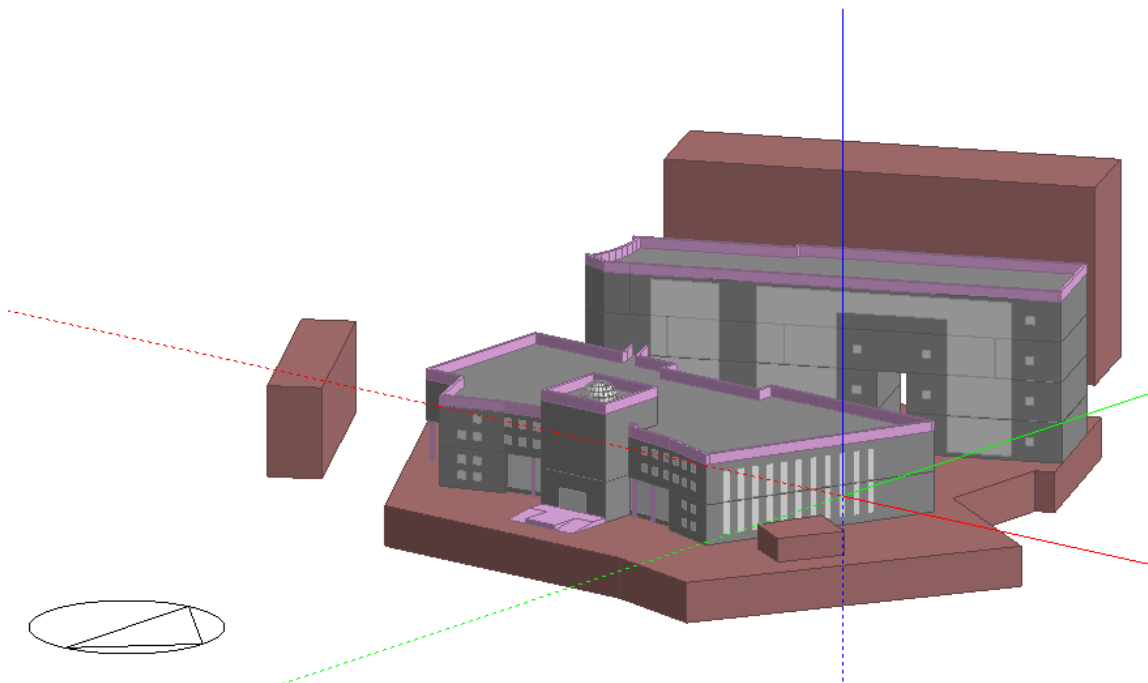


Figura 6-1-Modelo tridimensional implementado

Do ponto de vista do utilizador, o *software* é bastante simples e intuitivo, permitindo ao utilizador criar as suas próprias predefinições de acordo com as características do edifício em estudo. Salienta-se que é possível fazer a exportação de dados de outros *softwares* (ex: CAD), o que facilita significativamente a construção do modelo.

6.Simulação Dinâmica Multizona-DesignBuilder

Foram introduzidas todas as características da envolvente, iluminação, ocupação, equipamentos e sistemas de aquecimento/arrefecimento já descritos, procurando assim tornar o modelo o mais aproximado possível da realidade, tendo-se obtido o modelo apresentado na Figura 6-1.

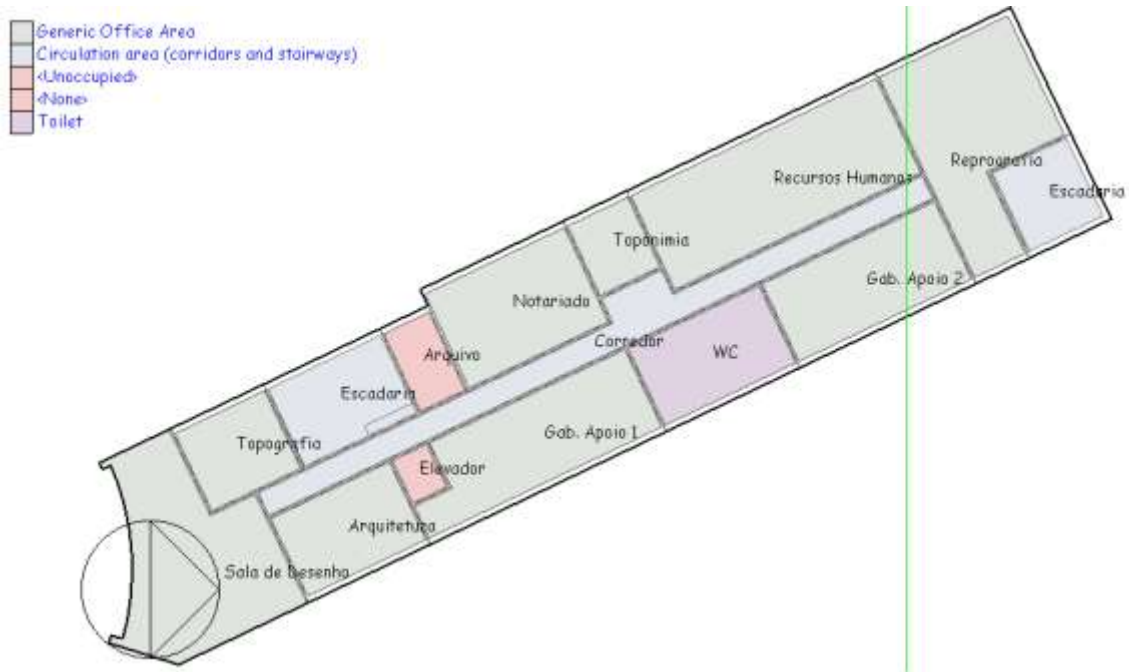


Figura 6-2-Zoneamento do Piso 2

Durante a construção do modelo, foi efetuado o zoneamento térmico das diversas divisões tendo em consideração a tipologia do espaço e a sua utilização, seguindo as especificações descritas no Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto. Este tipo de zoneamento permite tornar a simulação mais leve, permitindo que a simulação seja efetuada mais rapidamente sem comprometer os resultados. Na Figura 6-2 é apresentado o zoneamento efetuado para o piso 2 do edifício, sendo apresentados os restantes zoneamentos do edifício no **Anexo D**.

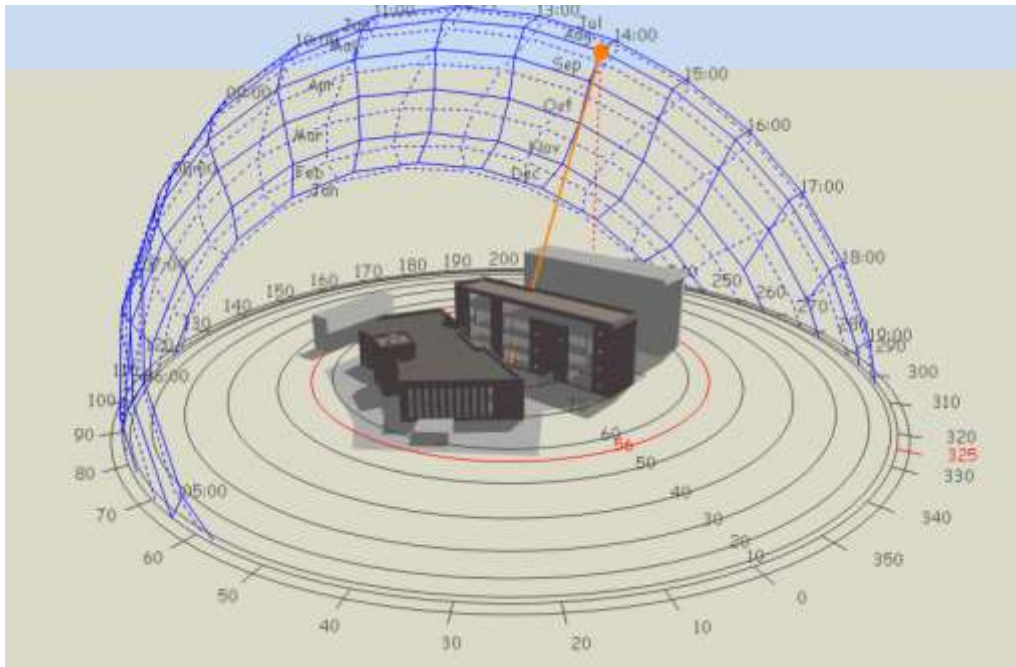


Figura 6-3-Visualização tridimensional do edifício e das sombras para o dia 2 de agosto

É possível também verificar o diagrama solar, analisando as influências das sombras projetadas pelo edifício e dos edifícios próximos dele, como representa a Figura 6-3, e que poderão afetar substancialmente os ganhos solares do edifício em estudo, e conseqüentemente as necessidades de aquecimento e arrefecimento na estação de inverno e verão, respetivamente.

6.2 Calibração do modelo

De modo a se obter resultados o mais aproximados possíveis da realidade torna-se necessário efetuar a calibração de alguns parâmetros de funcionamento do modelo. Por calibração do modelo de simulação entende-se como um processo iterativo de ajuste que leva a que os resultados produzidos pela simulação sejam próximos dos consumos reais da energia elétrica e do gás natural obtidos através do histórico da faturação.

Torna-se bastante difícil obter uma conformidade total entre os registos dos consumos e os resultados da simulação devido a fatores como a faturação que corresponde a um período anterior (que pode implicar alterações de utilização do edifício não reportadas). Um dos motivos que também dificulta o aproximar dos resultados é o facto dos dados climáticos utilizados serem representativos de um ano climático típico, quando pode acontecer que o ano representado na faturação seja um ano atípico.

Assim pode-se considerar que o modelo se encontra calibrado quando os resultados anuais obtidos com a simulação oscilam entre $\pm 10\%$ dos consumos apresentados na faturação analisada. Após o ajuste das temperaturas de funcionamento relativamente ao

aquecimento conseguiu-se obter a calibração do modelo atingindo uma variação total de 6,92% (Tabela 6-1).

Tabela 6-1-Consumos Globais faturados e previstos pela simulação

	Faturas (kWh)	Simulação (kWh)	Diferença (kWh)	Diferença (%)
Gás Natural	206.618,21	195.950,43	10.667,78	5,16%
Eletricidade	366.257,33	337.261,55	28.995,78	7,92%
Total	572.875,54	533.211,98	39.663,56	6,92%

6.3 Necessidades de Aquecimento e Arrefecimento

O DesignBuilder possuiu a capacidade de dimensionar a potência ideal a instalar no edifício, de modo a suprir as necessidades de aquecimento e arrefecimento existentes de acordo com os *set-points* estabelecidos para as condições de funcionamento normal do edifício.

No dimensionamento das necessidades energéticas de aquecimento, o *software* assume que a temperatura externa no período do Inverno é constante, a velocidade e direção do vento são estimadas e não considera os ganhos solares como ganho internos. O resultado atingido permite verificar quais os valores de temperatura interna do ar, a temperatura radiante, a temperatura operativa e a temperatura externa de bolbo seco em estado estacionário (Tabela 6-2).

Tabela 6-2-Temperaturas obtidas da simulação (necessidades de aquecimento)

	Resultados obtidos
Temperatura interna do ar	23,79 °C
Temperatura radiante	18,10 °C
Temperatura operativa	20,95 °C
Temperatura externa do bolbo seco	1,90 °C

A temperatura interna do ar consiste na temperatura registada no interior do edifício e a temperatura radiante consiste na temperatura de uma superfície uniforme de um ambiente imaginário, onde a troca de calor por radiação é igual à que se verifica num ambiente real não uniforme. Por sua vez, a temperatura operativa consiste na temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual o ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação e convecção como em ambiente real não uniforme. A temperatura externa de bolbo seco representa a temperatura exterior sem influência da humidade.

A simulação no estado estacionário é efetuada de modo interrompido até se verificar a convergência dos fluxos de temperatura de cada zona, obtendo-se assim o aquecimento necessário para garantir a manutenção dos pontos de ajuste de temperatura. É possível também, devido à simulação em estado estacionário verificar quais as perdas associadas aos vãos envidraçados, paredes, divisórias, telhado, infiltração externa e ventilação natural (calor perdido pelas janelas, portas e aberturas).



Figura 6-4-Perdas de calor no edifício

Por quase todo o edifício verifica-se a existência de perdas de calor, exceção dos rés-do chão onde existe um ganho energético de 0,92 kW. Relativamente às perdas de energia as que possuem maior influência são referentes à infiltração externa (-79,68 kW) e os vãos envidraçados (-59,82 kW). Com a determinação das perdas e ganhos energéticos é possível obter os gastos totais para o aquecimento, representado na Figura 6-4 pela barra a vermelho, sendo neste caso do valor de 258,45 kW.

As perdas de cada zona do edifício são multiplicadas por um fator de segurança de 1,25 para dimensionar de forma segura a potência do sistema de climatização adequado, tendo-se obtido um valor de 323,05 kW, valor esse garantido pelas duas caldeiras de 200 kW instaladas. De salientar que a simulação não tem em consideração os ganhos internos do edifício, quando na realidade as necessidades energéticas para o aquecimento são reduzidas devido ao calor libertado pelas cargas e utilizadores nas diversas zonas.

Em termos de distribuição das necessidades por piso verifica-se que ela é em grande parte derivada à área dos mesmos e da sua utilização, orientação, ocupação e cargas instaladas.

Tabela 6-3-Necessidades de Aquecimento por Piso

Piso	Área (m ²)	Capacidade total de Aquecimento (kW)	kW/m ²
0	2.075,50	123,69	0,0596
1	2.146,90	129,04	0,0601
2	727,20	70,32	0,0967
3	727,20	0	0
Total	5.676,80	323,05	0,0569

Conforme é apresentada na Tabela 6-3, o Piso 0 e o Piso 1 são os que maiores necessidades de aquecimento possuem, muito devido ao facto de possuírem uma área muito superior quando comparados com os restantes pisos.

Porém torna-se necessário efetuar uma análise tendo em consideração com as áreas dos pisos. Assim verifica-se que as necessidades de aquecimento torna-se maior para o piso 2, tendo como principal justificação o fato de possuir uma grande área de vãos envidraçados.

Relativamente às necessidades de arrefecimento, o *software* faz a simulação para dia 15 de julho, que é considerado como sendo o dia com as condições mais extremas para o período de Verão. Para a obtenção das necessidades é considerado que não existe vento, condução e convecção de calor entre zonas de diferentes temperaturas e inclui os ganhos solares e os ganhos internos.

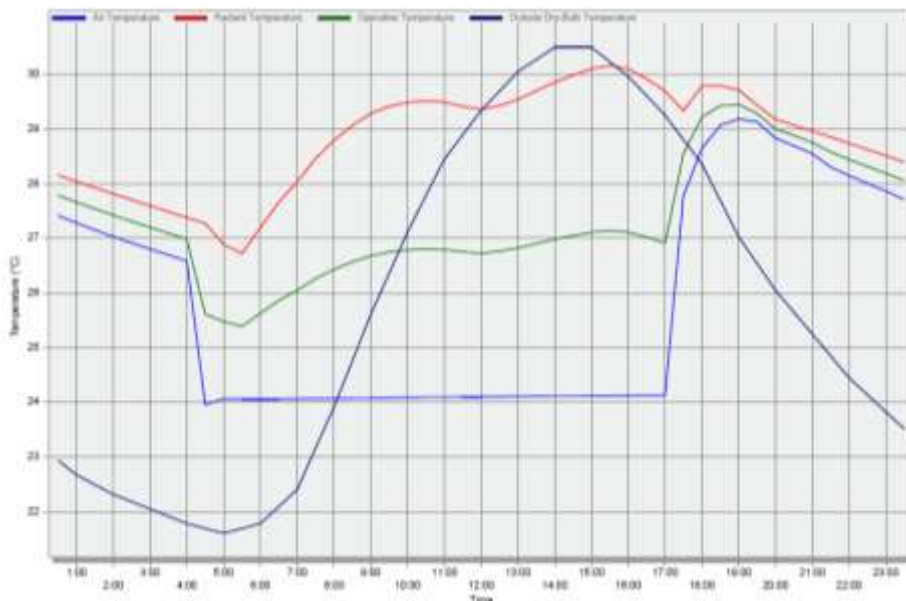


Figura 6-5-Variação horária das temperaturas interna do ar, radiante, operativa e externa do boldo seco

Como se verificou para as necessidades de aquecimento, foi considerado um fator de 1,15 para o dimensionamento do sistema de climatização, tendo-se atingido um valor total de

323,71 kW, concluindo assim que o segundo dos *chillers* instalados só entrará em funcionamento de forma casual quando as necessidades de arrefecimento forem superior a 300 kW.

Mais uma vez, como resultado da simulação obteve-se variação da temperatura interior do ar, a temperatura radiante, a temperatura operacional e a temperatura externa de bolbo seco (Tabela 6-4 e Figura 6-5).

Tabela 6-4-Temperaturas obtidas da simulação (necessidades de arrefecimento)

	Resultados médios obtidos
Temperatura interna do ar	25,80°C
Temperatura radiante	28,88°C
Temperatura operativa	27,34°C
Temperatura externa do bolbo seco	26,87°C

Em termos da distribuição das necessidades de arrefecimento por piso verifica-se novamente que os Piso 0 e Piso 1 são os que apresentam os valores mais elevados, porém quando a análise é efetuada tendo em consideração as áreas, o Piso 2 possui o valor mais elevado (Tabela 6-5).

Tabela 6-5-Necessidades de Arrefecimento por Piso

Piso	Área (m²)	Capacidade total de Arrefecimento (kW)	kW/m²
0	2.075,50	116,08	0,0559
1	2.146,90	134,95	0,0629
2	727,20	72,68	0,0999
3	727,20	0	0
Total	5.676,80	323,71	0,0570

6.4 Balanço Energético do Edifício

6.4.1 Envolvente

O balanço energético do edifício é determinado através da análise de cargas térmicas existentes no edifício, tais como, a condução de energia através dos vãos envidraçados, teto, pavimento e paredes, radiação solar dos vãos envidraçados e ganhos internos derivados à taxa de ocupação, iluminação e equipamentos.

Verificou-se que o edifício possui um balanço energético negativo relativamente à envolvente na ordem dos -236MWh, havendo perdas anuais de cerca de -71MWh nos vãos envidraçados e de -67MWh para as paredes, como se apresenta na Figura 6-6.

6.Simulação Dinâmica Multizona-DesignBuilder

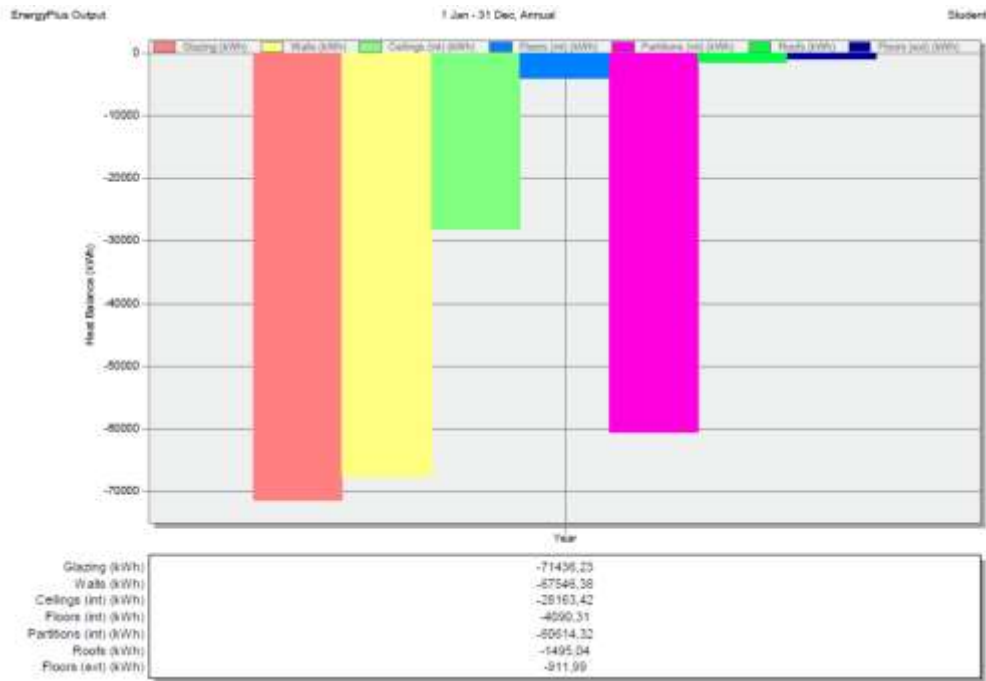


Figura 6-6-Balanco Energético anual da envolvente do edifício.

A carga térmica de um edifício consiste no calor latente e sensível que os sistemas de climatização necessitam de retirar ou fornecer ao ar ambiente de forma a garantir a temperatura de conforto. A carga térmica é variável com o decorrer do dia, mediante os níveis de radiação solar e da inércia térmica dos diferentes espaços do edifício, como é apresentado na Figura 6-7.

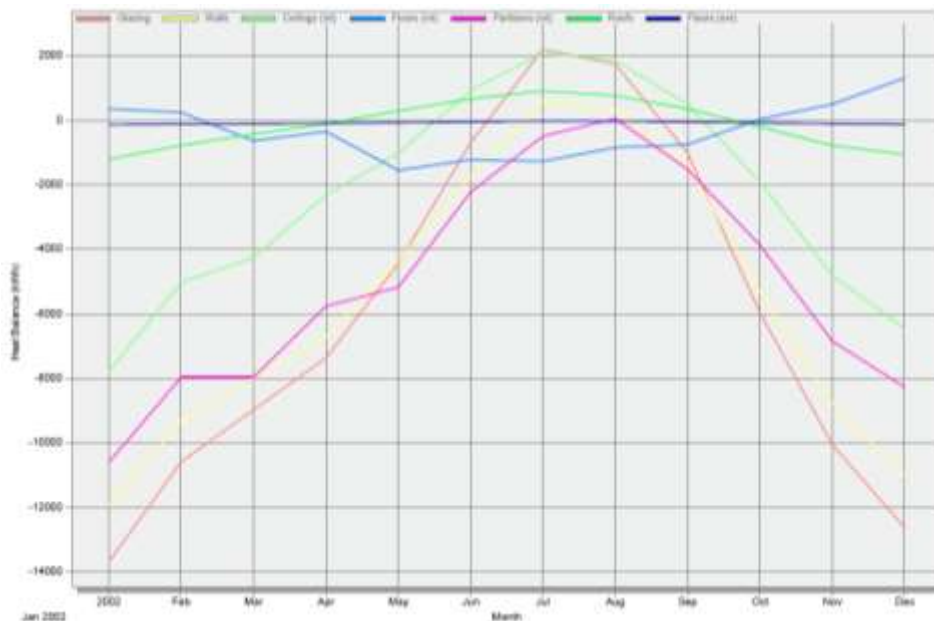


Figura 6-7-Balanco Energético mensal da envolvente.

6.4.2 Ganhos Internos

Os ganhos energéticos provenientes do funcionamento dos equipamentos, iluminação e ocupação são denominados como ganhos internos. Na Figura 6-8 verifica-se que os

equipamentos são os responsáveis pela maior parte dos ganhos internos (cerca de 111MWh) de um total de 183MWh.



Figura 6-8-Ganhos Internos anuais.

6.4.3 Ganhos Solares

Apesar dos ganhos internos serem um fator importante no balanço energético de um edifício, os ganhos solares não se podem negligenciar. Os ganhos solares possuem um papel essencial na relação com o ambiente interior, uma vez que quando bem aproveitados podem levar a uma redução considerável dos consumos.

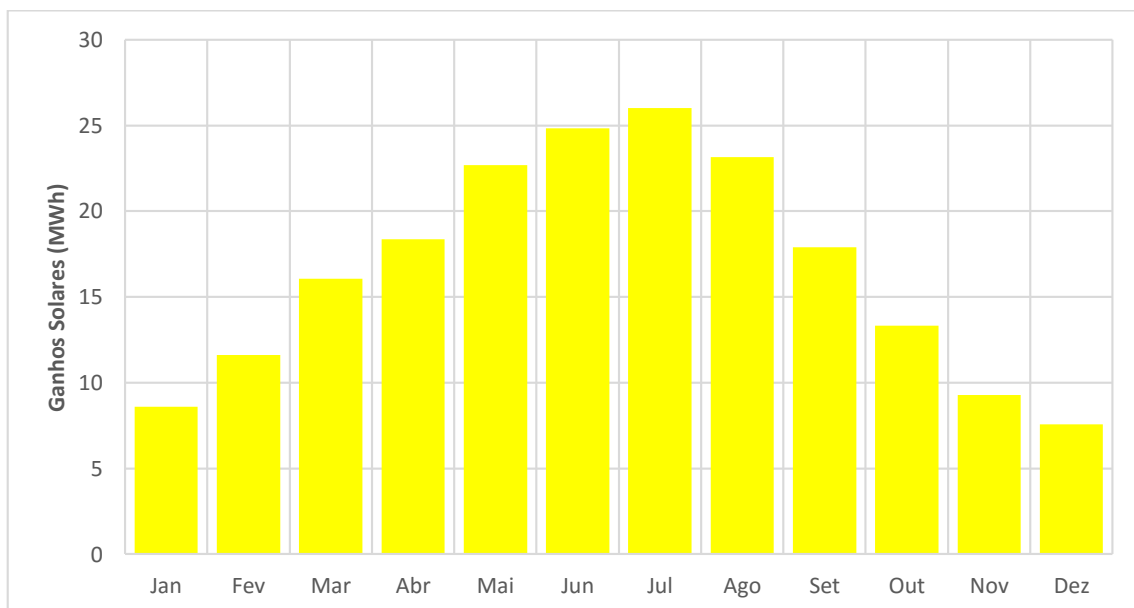


Figura 6-9-Ganhos Solares ao longo do ano.

Os ganhos solares obtidos pela simulação são bastante elevados na ordem dos 199MWh, registando-se os meses com maior ganho solar os meses de verão, como se pode verificar na Figura 6-9

A orientação do edifício torna-se assim bastante importante quando analisados os ganhos solares, verificando-se neste caso que os vãos envidraçados estão orientados, na sua maioria, para Este e Oeste (Tabela 6-6).

Tabela 6-6-Rácio Janela/parede tendo como base a orientação.

	Total	Norte	Este	Sul	Oeste
Parede (m ²)	5131,55	880,73	1680,05	826,67	1744,10
Janela (m ²)	1600,85	99,19	672,66	234,97	594,04
Rácio Janela/parede (%)	31,20	11,26	40,04	28,42	34,06

Tipicamente procura-se que a exposição solar das superfícies orientadas a Este e Oeste sejam reduzidas uma vez que são aquelas que sofrem maior irradiação durante o Verão, onde o controlo da entrada da radiação solar é difícil devido à sua perpendicularidade.

Relativamente ao conforto durante o Inverno, deve-se reduzir a exposição da fachada orientada a Norte e aumentar das orientadas a Sul.

Uma vez que a orientação de cerca de 79% dos vãos envidraçados é Este e Oeste, as necessidades de arrefecimento são consideráveis, tal como se verifica nas necessidades energéticas do edifício. Em termos de análise rácio da área de janela por área de parede verifica-se que a fachada orientada a Este é de cerca de 40% quando na fachada Sul apenas se verifica 28%.

6.4.4 Consumos Energia Elétrica e Gás Natural

O grande consumo do edifício é referente à energia elétrica, uma vez que o gás natural é utilizado apenas para suprir as necessidades de aquecimento. Em termos unitários, o edifício possui um consumo de energia elétrica na ordem dos 337MWh anuais e de 196MWh de gás natural (Figura 6-10).

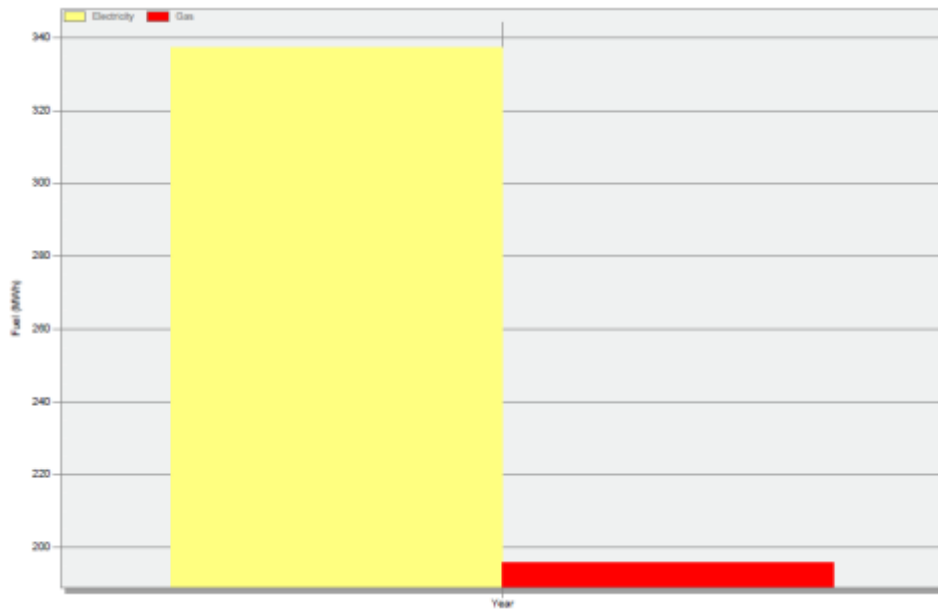


Figura 6-10-Resultados da simulação referentes ao consumo de eletricidade e gás natural.

Em termos da desagregação dos consumos de energia elétrica (Figura 6-11), verifica-se que os grandes consumidores são os equipamentos (112MWh), a iluminação (89MWh) e os chillers (72MWh).

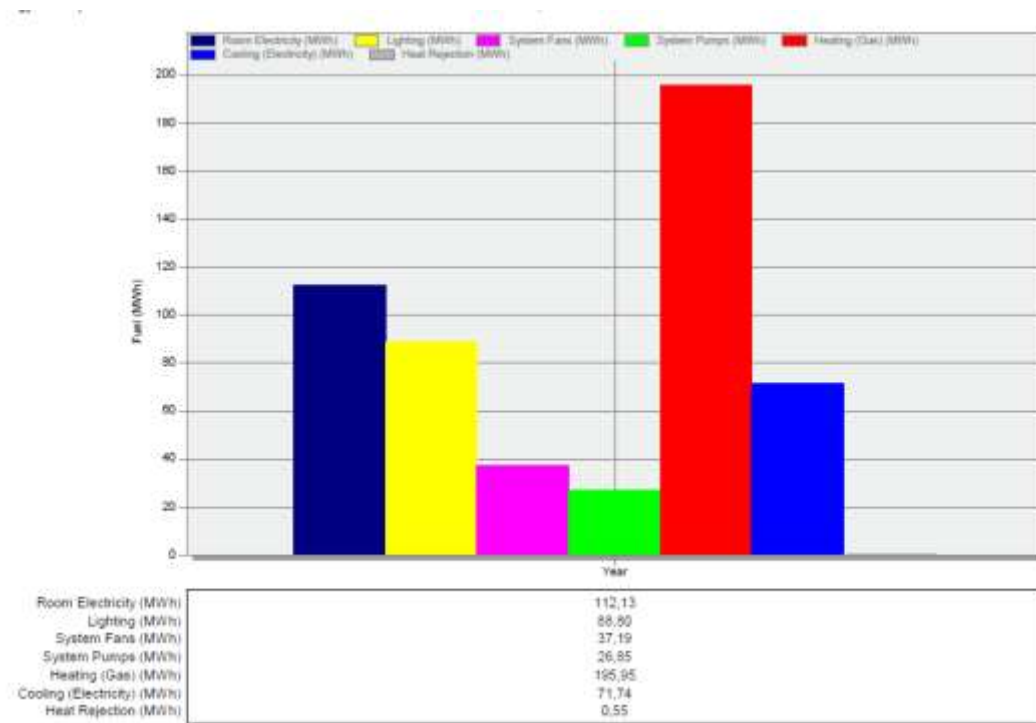


Figura 6-11-Desagregação dos consumos por sector

Os sistemas de bombagem e de ventilação são responsáveis por 37MWh e 37MWh respetivamente, o que representa 19% do consumo total de energia elétrica. Tendo em consideração a localização geográfica do edifício e as condições climáticas, bem como o fato do DesignBuilder considerar um ano típico, pode levar à ocorrência da variação

dos consumos associados ao aquecimento e arrefecimento, quando comparado com os valores faturados.

6.4.5 Emissões estimadas de dióxido de carbono

O DesignBuilder apresenta também uma estimativa das emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo energético do edifício. De salientar que os fatores de conversão para as fontes de energia serem significativamente diferentes daqueles apresentados pela legislação como se apresenta na Tabela 6-7.

Tabela 6-7-Fatores de Conversão referentes às Emissões de CO₂

Fonte de Energia	Fator de Conversão (kgCO ₂ /kWh) -Legislação	Fator de Conversão (kgCO ₂ /kWh) -DesignBuilder
Eletricidade	0,144	0,685
Gás Natural	0,202	0,195

Assim o valor obtido pela simulação é de cerca de 269 toneladas de CO₂ (quando na realidade é de 88 toneladas de CO₂ utilizando os fatores da legislação), sendo que o mês com maior emissão é o de janeiro devido facto de existir um elevado consumo referente à iluminação, equipamentos e aquecimento. Em termos do mês com menor emissão de CO₂ é abril e não agosto como seria de esperar, devido à influência do funcionamento dos *chillers* que aumenta o consumo de energia elétrica (Figura 6-12)Figura 6-12-Variação mensal das emissões de CO₂.

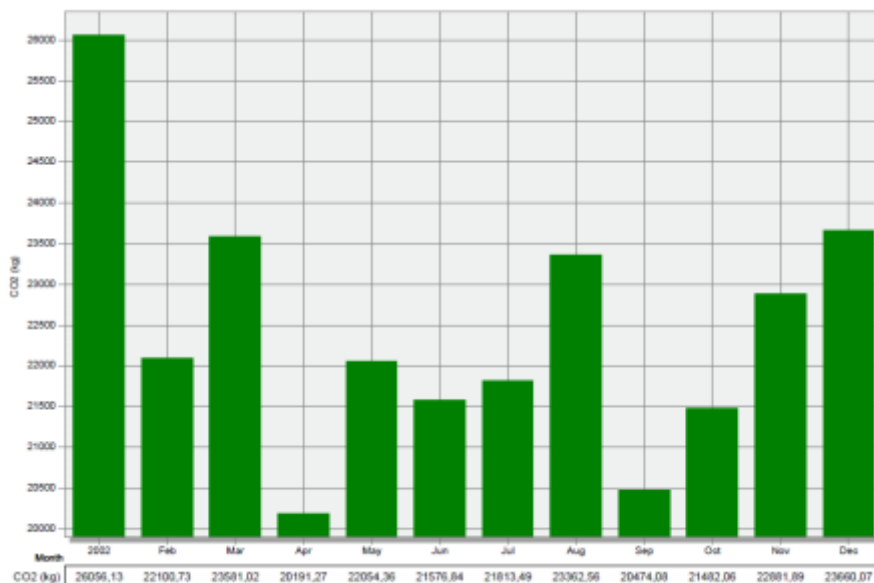


Figura 6-12-Variação mensal das emissões de CO₂

6.4.6 Classe Energética

Considerando os consumos registados em 2014 e os consumos obtidos na simulação é possível efetuar a determinação da Classe Energética do edifício.

Tabela 6-8-Rácio de classe energética

Classificação Energética	
Área Edificada (m ²)	5.676,80
IEE _{pr}	183,04
IEE _{ef}	197,69
R _{IEE}	0,93
Classificação	B⁻

Mediante a informação apresentada na Tabela 6-8, verifica-se que o edifício possui uma classificação energética de **B⁻**. É de referir que apesar de a classificação energética ser superior ao mínimo exigido pela legislação (Classificação **C**), foram identificadas possíveis alterações que podem levar a uma considerável redução dos consumos energéticos, e assim melhorar a classificação energética do edifício

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

Após o término da análise apresentada anteriormente, foi possível identificar oportunidades de melhoria do desempenho energético do edifício, nomeadamente nas áreas relativas à iluminação e aos vãos envidraçados. Foi efetuado um estudo com o objetivo de efetuar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, pedido por parte da direção do edifício. O principal objetivo desse sistema seria minimizar os consumos energéticos a partir da rede elétrica pública nos meses de Verão, sendo que a totalidade da energia produzida seria direcionada para o consumo interno. Usando o modelo dinâmico apresentado foram efetuados estudos com as seguintes medidas técnicas:

- Medida 1-Substituição dos balastos ferromagnéticos por balastos eletrónicos;
- Medida 2- Substituição dos sistemas de iluminação de lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas LED;
- Medida 3- Aplicação de películas solar nos vãos envidraçados;
- Medida 4- Substituição dos sistemas de iluminação de lâmpadas tubulares fluorescentes por LED e aplicação de películas solar nos vãos envidraçados.

De salientar que medidas tais como a introdução de palas, intervenção ao nível da substituição do isolamento exterior ou a verificação do funcionamento das caldeiras também se tornam interessantes do ponto de vista da redução energética, porém não foi efetuado o estudo da implementação dessas medidas no modelo computacional.

Por sua vez as medidas comportamentais dos utilizadores do edifício são também bastante importantes para a redução dos consumos energéticos. Recomenda-se a inicialização de atividades de sensibilização relativamente à utilização dos sistemas de iluminação, tentando reduzir ao máximo o período de funcionamento, levando a um impacto positivo tanto a nível económico como ambiental.

7.1 Medida 1-Substituição dos balastos ferromagnéticos por balastos eletrónicos

Neste primeiro estudo foi apenas considerada a substituição dos balastos ferromagnéticos por balastos eletrónicos, o que por si só, em termos de potência instalada levaria a uma redução na ordem dos 12,7% como se verifica na Tabela 7-1.

Tabela 7-1-Redução da potência instalada associada à substituição dos balastos

	Potência Instalada (kW)	Redução (%)
Situação Atual	34,530	-

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

Medida 1	30,146	12,7%
----------	--------	-------

Na Tabela 7-2 é apresentada a densidade luminosa por divisão e piso com a substituição dos balastros. De salientar que as zonas a itálico e sublinhado são referentes à Junta de Freguesia.

Tabela 7-2-Densidade Luminosa após a alteração para balastros eletrónicos.

Piso 0	W/m ²	Piso 1	W/m ²	Piso 2	W/m ²
Corr. Ent. Traseiras	0,69	Corredor	16,08	Arquitetura	8,22
Corr. Gab Tecn. Bloco B	17,10	Corredor 1	1,79	Arquivo	10,38
Corr. Gab Tecn. Bloco A	17,26	Corredor 2	17,42	Corredor	17,34
Gab. Apoio	8,52	Corredor 3	17,99	Gab. Apoio 1	7,55
Gab. Apoio 1	11,20	Corredor 4	0,71	Gab. Apoio 2	9,97
Gab. Apoio 2	7,86	Gab Apoio	7,34	Notariado	5,87
Gab. Inform. e Economato	7,07	Gab Apoio 1	7,87	Rec.Humanos	6,75
Gab. Tecnico	7,68	Gab Apoio 2	8,99	Reprografia	6,82
Hall Ent., Segur.	1,55	Gab Apoio, Presidência	7,11	Sala de Desenho	8,32
Sistemas Informáticos	6,86	Gab Apoio Vereação	6,35	Topografia	13,09
Taxas Lic., Div Jurídica	6,49	Gab Apoio Vereação 1	6,52	Toponímia	4,36
Tesouraria	5,35	Gab Apoio Vereação 2	8,38	WC	4,76
WC	7,54	Sala de Reuniões	9,26		
WC 1	10,43	Salão Nobre	6,18		
WC 2	10,43	Telefonistas	3,43		
<u>Corredor</u>	<u>9,05</u>	WC	7,44		
<u>Gabinete</u>	<u>5,40</u>	WC 1	7,44		
<u>WC</u>	<u>12,03</u>	WC 2	7,44		
		<u>Corredor</u>	<u>6,90</u>		
		<u>Gabinete</u>	<u>4,69</u>		
		<u>WC</u>	<u>6,88</u>		

Em termos de potência de aquecimento não se verifica qualquer variação significativa, sendo que para a potência de arrefecimento estima-se uma redução de 3,3 kW. Relativamente aos ganhos internos provenientes dos sistemas de iluminação estima-se uma redução de 8,31MWh (13%).

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

Por fim, para os consumos energéticos anuais estima-se uma redução do consumo de energia elétrica de cerca de 12% e de Gás Natural de cerca de 3%, o que perfaz uma redução total de 8,57 % (Tabela 7-3)

Tabela 7-3-Redução dos consumos energéticos estimados-Medida 1.

	Consumos Energéticos Reais (kWh)	Consumo Energético Medida 1 (kWh)	Poupança (kWh)	Poupança (%)
Gás Natural	206.618,21	199.863,37	6.754,84	3,27%
Eletricidade	366.257,33	323.932,06	42.325,27	11,56%
Total	572.875,54	523.795,43	49.080,11	8,57%

7.1.1 Retorno do Investimento

A implementação desta alteração necessita de um custo de cerca de 3.085 € associado à aquisição dos balastros eletrónicos para os sistemas de iluminação constituídos por lâmpadas fluorescente tubulares de 58W e 36W Tabela 7-4.

Tabela 7-4-Investimento estimado-Medida 1

	Preço Unit. (€)	Quantidade	Custo (€)
Balastro Lamp. 58W	5,00 €	318	1.590,00 €
Balastro Lamp. 36W	6,50 €	230	1.495,00 €
Total			3.085,00€

Assumindo o preço de compra do gás natural de 6,86 c€ e da eletricidade 16,25c€ com já com todas as taxas associadas incluídas, verificou-se que o retorno do investimento seria obtido ao fim de aproximadamente 5 meses (Tabela 7-5). Estes valores não consideram o custo associado à mão-de-obra relativa à substituição dos balastros. Considerando preços de mercado de empresas instaladoras, o custo teria um incremento de cerca 40%. Mesmo nesta situação o período de retorno do investimento seria sempre inferior a um ano, continuando esta medida a ser economicamente interessante.

Por outro lado, a utilização de balastros eletrónicos aumenta o tempo de vida útil das lâmpadas que a longo prazo também se traduziria numa poupança. Cumulativamente, se os balastros estiverem equipados com a função de *dimming* ainda é possível obter poupança por regulação do fluxo em zona onde a iluminação natural seja suficiente para manter os níveis de iluminância adequada, nomeadamente junto às janelas.

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

Tabela 7-5-Retorno do Investimento-Medida 1

	Gás Natural	Eletricidade
Poupança (€)	458,49€	6.876,92€
Investimento (€)	3.085,00€	
Retorno (meses)	5 meses	

7.2 Medida 2- Substituição dos sistemas de iluminação de lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas LED

Neste novo estudo foi considerada a substituição integral dos sistemas de iluminação fluorescentes tubulares por sistemas LED e as lâmpadas de halogénio de 50W por LED de 5,5 W. Em termos de potência instalada verifica-se a redução na ordem dos 60% como se verifica na Tabela 7-6.

Tabela 7-6-Redução da potência instalada associada à substituição dos sistemas de iluminação por lâmpadas LED

	Potência Instalada (kW)	Redução (%)
Situação Atual	34,530	-
Simulação 2	13,940	60%

Na Tabela 7-7 apresentam-se os novos valores de densidade luminosa.

Tabela 7-7-Densidade Luminosa após a alteração dos sistemas de iluminação por LED.

Piso 0	W/m ²	Piso 1	W/m ²	Piso 2	W/m ²
Corr. Ent. Traseiras	0,69	Corredor	6,22	Arquitetura	4,31
Corr. Gab Tecn. Bloco B	6,62	Corredor 1	1,79	Arquivo	5,45
Corr. Gab Tecn. Bloco A	7,61	Corredor 2	6,74	Corredor	6,71
Gab. Apoio	4,37	Corredor 3	6,97	Gab. Apoio 1	3,96
Gab. Apoio 1	5,88	Corredor 4	0,71	Gab. Apoio 2	5,23
Gab. Apoio 2	4,12	Gab Apoio	3,85	Notariado	3,08
Gab. Inform. e Economato	5,07	Gab Apoio 1	4,13	Rec.Humanos	3,54
Gab. Técnico	4,03	Gab Apoio 2	4,87	Reprografia	3,58
Hall Ent., Segur.	1,55	Gab Apoio, Presidência	3,73	Sala de Desenho	3,55
Sistemas Informáticos	3,60	Gab Apoio Vereação	4,62	Topografia	6,87
Taxas Lic., Div Jurídica	2,51	Gab Apoio Vereação 1	3,42	Toponímia	2,29
Tesouraria	2,34	Gab Apoio Vereação 2	4,40	WC	2,10
WC	3,33	Sala de Reuniões	2,67		
WC 1	4,60	Salão Nobre	1,38		

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

WC 2	4,60	Telefonistas	1,33
<u>Corredor</u>	<u>3,50</u>	WC	3,28
<u>Gabinete</u>	<u>2,83</u>	WC 1	3,28
<u>WC</u>	<u>5,31</u>	WC 2	3,28
		<u>Corredor</u>	<u>2,67</u>
		<u>Gabinete</u>	<u>2,46</u>
		<u>WC</u>	<u>3,04</u>

Em termos de potência de aquecimento e arrefecimento estima-se uma redução de 4,83kW (1,5%) e de 8,53kW (2,6%) respetivamente. Relativamente aos ganhos internos provenientes dos sistemas de iluminação estima-se uma redução de 35,13MWh (58%). Por fim, para aos consumos energéticos anuais estima-se uma redução na ordem dos 23% de energia elétrica e um aumento quase residual (0,25%) do Gás Natural, o que perfaz uma redução total de 14,74% (Tabela 7-8).

Tabela 7-8-Redução dos consumos energéticos estimados-Medida 2

	Consumos Energéticos Reais (kWh)	Consumo Energético Medida 2 (kWh)	Poupança (kWh)	Poupança (%)
Gás Natural	206.618,21	207.139,39	-521,18	-0,25%
Eletricidade	366.257,33	281.267,97	84.989,36	23,20%
Total	572.875,54	448.407,36	84.468,18	14,74%

7.2.1 Retorno do Investimento

A implementação desta alteração necessita de um custo de cerca de 17.707,08 € associado à aquisição dos sistemas de iluminação constituídos por LED (Tabela 7-9).

Tabela 7-9-Investimento estimado-Medida 2

	Preço Unit. (€)	Quantidade	Custo (€)
LED 21W	30,61€	318	9.735,47€
LED 24W	33,59€	230	7.726,00€
LED 5,5W	7,67€	32	245,61€
Total			17.707,08€

Assumindo o preço de compra do gás natural de 6,86 c€ e da eletricidade 16,25c€ com já com todas as taxas associadas incluídas, verificou-se que o retorno do investimento seria obtido ao fim de aproximadamente 1 ano e 3 meses (Tabela 7-10).

Nesta medida fazem-se as mesmas considerações da medida anterior no que respeita ao custo da mão-de-obra e à poupança associada ao tempo de vida útil das lâmpadas. Neste caso é manifestamente mais evidente uma vez que as lâmpadas LED tem um período de vida útil de cerca de 5 vezes superior às fluorescentes.

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

Tabela 7-10-Retorno do Investimento-Medida 2

	Gás Natural	Eletricidade
Poupança (€)	-35,38€	13.808,90€
Investimento (€)	17.707,08€	
Retorno (meses)	15 meses	

7.3 Medida 3 - Aplicação de películas solares nos vãos envidraçados

Durante a análise do edifício, um dos grandes problemas apresentados pelos utilizadores foi o excesso de calor acumulado nos meses de verão nas zonas com maior área de vãos envidraçados.

Tornou-se assim interessante verificar qual o efeito da aplicação das películas solares nos vãos envidraçados em relação aos ganhos solares e consumos energéticos anuais. O edifício possui uma área de janela de cerca de 1600m², porém em termos dos vãos envidraçados, a área corresponde a cerca de 1563m². A aplicação exterior das películas solares permite a redução significativa da absorção da radiação solar e dos raios ultravioleta. Em termos de alteração no modelo, foi calculado o novo valor previsto do U_{global} dos envidraçados, sendo que inicialmente esse valor é de 3,157 W/m²K, e que com a aplicação da película o U_{global} (envidraçados+películas) é de 0,730 W/m²K. Em termos de ganhos solares estima-se uma redução total de cerca de 97%, sendo apresentada a variação mensal dos ganhos solares na Tabela 7-11.

Tabela 7-11-Diferença dos Ganhos Solares Mensais apos a aplicação das películas solares.

	Situação Atual	Medida 3	Redução (%)
Jan	8.607,04	204,02	98%
Fev	11.598,73	288,78	98%
Mar	16.073,49	470,56	97%
Abr	18.364,57	584,46	97%
Mai	22.698,07	734,93	97%
Jun	24.819,89	800,93	97%
Jul	26.000,34	833,91	97%
Ago	23.158,22	736,93	97%
Set	17.908,66	545,68	97%
Out	13.324,65	373,88	97%
Nov	9.276,18	228,18	98%
Dez	7.554,81	179,41	98%
Total	199.384,65	5.981,67	97%

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

Em termos de potência de aquecimento e arrefecimento estima-se uma potência necessária de 269,65kW (menos 16,5%) e 281,31kW (menos 13,1%) respetivamente.

Relativamente aos consumos energéticos anuais estima-se uma redução de 11% de energia elétrica e 21% de gás natural, como se verifica na Tabela 7-12, o que totaliza uma redução de 14,56%.

Tabela 7-12- Redução dos consumos energéticos estimados-Medida 3

	Consumos Energéticos Reais (kWh)	Consumo Energético Medida 3 (kWh)	Poupança (kWh)	Poupança (%)
Gás Natural	206.618,21	162.781,18	43.837,03	21,22%
Eletricidade	366.257,33	326.673,66	39.583,67	10,81%
Total	572.875,54	489.454,84	84.420,70	14,56%

7.3.1 Retorno do Investimento

A implementação desta alteração necessita de um custo de cerca de 51.266,40 € associado à compra da película solar RE70NEARL (Tabela 7-13).

Tabela 7-13-Investimento estimado-Medida 3

	Preço (€/m²)	Área (m²)	Custo (€)
Película RE70NEARL	32,80€	1563	51.266,40€

Assumindo o preço de compra do gás natural de 6,86 c€ e da eletricidade 16,25c€ com já com todas as taxas associadas incluídas, verificou-se que o retorno do investimento seria obtido ao fim de aproximadamente 5 anos e 5 meses (Tabela 7-14).

Tabela 7-14-Retorno do Investimento-Medida 3

	Gás Natural	Eletricidade
Poupança (€)	2.975,50€	6.431,47€
Investimento (€)	51.266,40€	
Retorno (meses)	65 meses	

7.4 Medida 4- Substituição dos sistemas de iluminação de lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas LED e aplicação de películas solares nos vãos envidraçados

Como último estudo efetuou-se a conjugação das situações que melhores resultados apresentaram em termos de poupança energética, ou seja, a substituição dos sistemas de iluminação de lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas LED e aplicação de películas solar nos vãos envidraçados (Ponto 7.2 e 7.3).

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

Em termos de potência de aquecimento e arrefecimento estima-se uma potência necessária de 269,65kW (menos 16,5%) e 266,53kW (menos 17,7%) respetivamente. Relativamente aos consumos energéticos anuais estima-se uma redução de 27% de energia elétrica e 13% de gás natural, como se verifica na Tabela 7-15, o que totaliza uma redução de 21,89%.

Tabela 7-15- Redução dos consumos energéticos estimados-Medida 4

	Consumos Energéticos Reais (kWh)	Consumo Energético Simulação 4 (kWh)	Poupança (kWh)	Poupança (%)
Gás Natural	206.618,21	180.352,19	26.266,02	12,71%
Eletricidade	366.257,33	267.125,79	99.131,54	27,07%
Total	572.875,54	447.477,98	125.397,56	21,89%

7.4.1 Retorno do Investimento

A implementação desta alteração necessita de um custo de cerca de 68.973,48€ associado à compra da película solar RE70NEARL e dos sistemas de iluminação constituídos por LED (Tabela 7-16).

Tabela 7-16-Investimento estimado-Medida 4

	Investimento (€)
Medida 2	17.707,08€
Medida 3	51.266,40€
Total	68.973,48€

Assumindo o preço de compra do gás natural de 6,86 c€ e da eletricidade 16,25c€ com já com todas as taxas associadas incluídas, verificou-se que o retorno do investimento seria obtido ao fim de aproximadamente 3 anos e 10 meses (Tabela 7-17).

Tabela 7-17-Retorno do Investimento-Medida 4

	Gás Natural	Eletricidade
Poupança (€)	1.782,84 €	16.106,69 €
Investimento (€)	68.973,48€	
Retorno (meses)	46 meses	

7.5 Sistema Solar Fotovoltaico para autoconsumo

O Sistema solar fotovoltaico foi dimensionado para reduzir a faturação dos consumos energéticos associados aos grandes equipamentos de climatização consumidores de energia elétrica, ou seja, os *chillers*. O local escolhido para a instalação foi o topo do

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

Bloco B, numa área de cerca de 200 m², de modo a ficar o mais próximo possível do principal local de consumo, limitando assim as perdas associadas aos cabos de ligação (Figura 7-1).

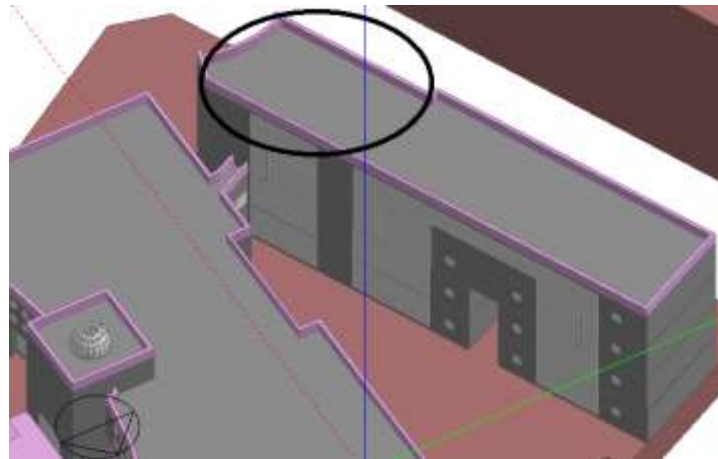


Figura 7-1-Local de instalação do Sistema solar Fotovoltaico

O sistema foi dimensionado com o recurso ao *software* PVSyst, que para além de nos permitir o correto dimensionamento do sistema, indica também uma estimativa de energia produzida. De salientar que o SCE permite a utilização de programas adequados para estimar a produção de energia de origem renovável. Um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo típico é apresentado na Figura 7-2.

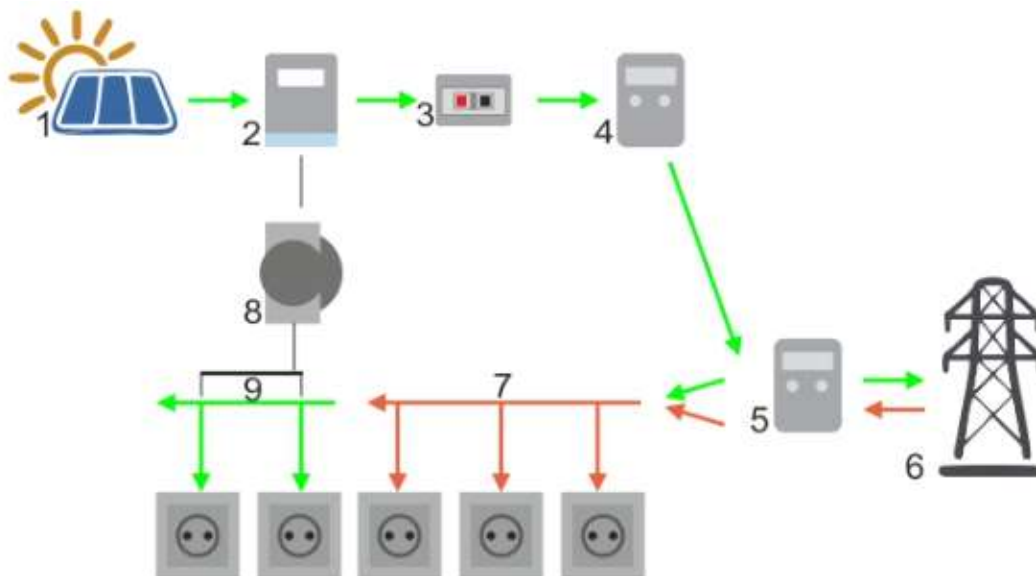


Figura 7-2-Sistema Solar Fotovoltaico para autoconsumo [24].

Os módulos fotovoltaicos (1) geram energia que através do inversor (2) será compatibilizada com a energia da rede elétrica, ou seja, convertem o sinal de corrente contínua para corrente alternada. O quadro de proteção (3) garante a proteção de todos os equipamentos no interior do edifício contra sobre intensidades que ocorram no sistema

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

fotovoltaico e na rede elétrica. A energia produzida é contada no contador de produção (4), que nos fornece informação sobre a produção instantânea ou histórico de produção.

A partir deste momento duas situações podem ocorrer:

- A produção é superior ao consumo – nesta situação, antes de injetar energia produzida na rede, o controlador (8) ligará automaticamente as cargas existentes nos pontos (9) de forma a escoar internamente toda a energia solar.
- A produção é inferior ao consumo – a energia produzida será canalizada para o consumo nas cargas definidas como prioritárias, sendo que em caso de necessidade, a energia produzida será complementada com a energia da rede elétrica pública.

7.5.1 Descrição do sistema

Tendo em conta que para o objetivo do estudo em questão apenas é relevante a estimativa da energia produzida, só se apresenta as características técnicas e elétricas dos módulos fotovoltaicos e do inversor.

O sistema proposto é constituído por 80 módulos fotovoltaicos, orientados a Sul (0°) e com uma inclinação de 30° , divididos por 4 inversores, o que totaliza uma potência instalada de 20,8 kWp.

O módulo escolhido foi o modelo c-Si M60B de potência de pico de 260Wp, da marca Bosch, sendo as características elétricas apresentadas na

Tabela 7-18 e Figura 7-3.

Tabela 7-18- Características Elétricas do Módulo

Modelo	Bosch C-Si M60 260B
Potência Pico (Wp)	260
V_{mpp}(V)	30,71
I_{mpp} (A)	8,47
V_{oc} (V)	38,1
I_{sc} (A)	9,02



Figura 7-3- Módulo Fotovoltaico

Relativamente ao inversor, o escolhido foi o modelo SunnyBoy 5000TL, da marca SMA, sendo as características elétricas apresentadas na Tabela 7-19.

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

Tabela 7-19-Características do Inversor Fotovoltaico

Potência AC (W)	4600
Potência DC (W)	5250
Ligações MPPT ind.	2
Gama MPPT (V)	175 500
Tensão Entrada Max (V)	750
Tensão Entrada Min (V)	125 500
Corrente Max (A)	15

7.5.2 Estimativa de Energia produzida

Após a introdução de todos os dados referentes aos módulos fotovoltaicos e ao inversor, o PVSyst efetua o cálculo de uma estimativa da produção anual de energia de aproximadamente 32 MWh, sendo os resultados mensais apresentados na Tabela 7-20.(Anexo E)

Tabela 7-20-Produção estimada de energia do sistema solar fotovoltaico

	Energia Produzida (kWh)
Jan	1.610
Fev	2.030
Mar	2.928
Abr	2.876
Mai	3.294
Jun	3.401
Jul	3.648
Ago	3.587
Set	3.124
Out	2.432
Nov	1.701
Dez	1.492
Total	32.121

7.5.3 Retorno do Investimento

A instalação do sistema solar fotovoltaico, tendo em consideração apenas a aquisição dos módulos fotovoltaicos e dos inversores é de 31.764,75€ (Tabela 7-21).

Tabela 7-21-Investimento estimado-Sistema Solar Fotovoltaico

	Preço Unit. (€)	Quantidade	Custo (€)
Mod. Fotovol.	282,90€	80	22.632,00€
Inversor	2.283,19€	4	9.132,75€
		Total	31.764,75€

7. Plano de ações com vista a melhoria do desempenho energético do edifício

Assumindo o preço de compra da eletricidade 16,25c€ com já com todas as taxas associadas incluídas, verificou-se que o retorno do investimento seria obtido ao fim de 6 anos e 1 mês (Tabela 7-22).

Tabela 7-22- Retorno do Investimento-Sistema Solar Fotovoltaico

	Eletricidade
Poupança (€)	5.219,66€
Investimento (€)	31.764,75€
Retorno (meses)	73 meses

7.6 Classificação Energética

Após análise técnico-económica de todas as propostas de alteração no edifício, é possível determinar qual a influência que a sua implementação teria na classificação energética do edifício. Na Tabela 7-23 é apresentada a variação do R_{IEE} mediante a implementação de cada uma das propostas apresentadas.

Tabela 7-23-Variação do R_{IEE} com a implementação das propostas apresentadas

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida4
Área Edificada (m ²)	5.676,80	5.676,80	5.676,80	5.676,80
IEE _{pr}	183,04	177,86	160,36	172,54
IEE _{ef}	197,69	197,69	197,69	197,69
R_{IEE}	0,90	0,81	0,87	0,76
Classificação	B⁻	B⁻	B⁻	B⁻

Em termos de classificação energética, a aplicação das medidas propostas não se traduz numa melhoria da classificação, mantendo-se a classificação **B⁻**. Porém a introdução do sistema solar fotovoltaico, em conjunto com a proposta da simulação 2 ou com a proposta da simulação 4, consegue-se uma melhoria da classificação para **B** (Tabela 7-24). Porém numa análise em termos de investimentos, os períodos de retorno para aumentam para 3anos e 7 meses e 5 anos e 6 meses, respetivamente (ver **Anexo F**).

Tabela 7-24- Variação do R_{IEE} com a implementação das propostas apresentadas em conjunto com o sistema solar fotovoltaico

	Inclui Sistema fotovoltaico			
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida4
Área Edificada (m ²)	5.676,80	5.676,80	5.676,80	5.676,80
IEE _{pr}	168,90	163,72	146,21	158,39
IEE _{ef}	197,69	197,69	197,69	197,69
R_{IEE}	0,83	0,74	0,80	0,68
Classificação	B⁻	B	B⁻	B

8. Conclusão

O certificado energético de um edifício é uma importante ferramenta de análise do comportamento térmico e dos consumos energéticos do edifício ao longo do ano, permitindo detetar durante a sua elaboração problemas existentes e que sejam responsáveis por consumos energéticos excessivos.

O objetivo principal desta dissertação foi concluído, tendo-se efetuada uma análise energética detalhada e determinado a classificação energética do edifício, tendo como base a simulação dinâmica multizona de modelo computacional, devidamente calibrado, representativo do edifício no *software* DesignBuilder.

A criação do modelo foi efetuada tendo como base toda a informação (características arquitetónicas, ocupação, equipamentos, iluminação, sistemas de climatização, etc.) do edifício, recolhidas através de documentos disponibilizados e através de medições efetuados no local, tais como a uso da câmara termográfica e do termofluxímetro (medidor de transferência de calor). A calibração, por sua vez, é obtida pela comparação dos resultados da simulação e dos consumos energéticos reais. O modelo computacional foi validado com uma variação de 6,92% em relação aos consumos reais.

Verificou-se que o edifício tem um elevado consumo energético, sendo a energia elétrica responsável por 63%, que se justifica pela elevada potência instalada em termos de sistemas de iluminação e equipamentos. O consumo de gás natural é responsável pelos restantes 37% do consumo, uma vez que a sua utilização é apenas para a climatização durante o período de inverno.

Relativamente à classificação energética do edifício, verificou-se que esta é razoável, possuindo neste momento uma classificação de **B'**, mas, porém, foram identificados diversos pontos de redução dos consumos energéticos.

Posto isto, foi criado um plano de implementação de algumas medidas de eficiência energética recorrendo-se ao modelo computacional criado, de modo a permitir prever qual o efeito dessas medidas em termos de consumos energéticos. O principal foco das medidas apresentadas foram os sistemas de iluminação e a redução das perdas/ganhos térmicos associados à elevada área de vãos envidraçados, tendo-se efetuado uma análise técnica e económica da aplicação de cada uma das medidas. As medidas apresentadas foram as seguintes:

- Medida 1-Substituição dos balastros ferromagnéticos por balastros eletrónicos;
- Medida 2- Substituição dos sistemas de iluminação de lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas LED;

8. Conclusão

- Medida 3- Aplicação de películas solar nos vãos envidraçados;
- Medida 4- Substituição dos sistemas de iluminação de lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas LED e aplicação de películas solar nos vãos envidraçados.

O emprego de cada uma das medidas obteve uma redução significativa dos consumos energéticos anuais, porém, tal não inferiu resultados em termos de classificação.

Por interesse da direção do edifício, e tendo em conta a análise estrutural do edifício e o espaço disponível nas coberturas, tornou-se interessante efetuar um estudo da instalação de um sistema solar fotovoltaico. Assim dimensionou-se um sistema direcionado para autoconsumo, permitindo assim reduzir ainda mais a faturação do consumo referente à energia elétrica. O sistema proposto teria uma potência instalada de 20,8 kWp, sendo constituído por 80 módulos fotovoltaicos de potência unitária de 260Wp e 4 inversores fotovoltaicos de 5250W, estimando-se uma produção anual de 32MWh de energia elétrica.

Com a conjugação da instalação do sistema solar fotovoltaico com a medida 2 e a medida 4 é possível obter uma melhoria da classificação de **B** para **B**.

Bibliografia

- [1] Cardoso F. Edifícios e Energia - UE: Dependência energética nos 53% em ano de menos consumo [Internet]. 2015 [citado 8 de Setembro de 2015]. Obtido de: <http://www.edificioseenergia.pt/pt/noticia/dependenciaenergetica-ue-metade-563-1666>
- [2]. APREN-Associação de Energias Renováveis, Deloitte. Impacto macroeconómico do setor da eletricidade de origem renovável em Portugal [Internet]. APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis; 2014. Obtido de: http://www.apren.pt/fotos/editor2/impacto_fer__relatorio_final_20140930.pdf
- [3]. DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia [Internet]. [citado 8 de Setembro de 2015]. Obtido de: <http://www.dgeg.pt/>
- [4]. Parlamento Europeu. Política energética: princípios gerais [Internet]. Política energética: princípios gerais. 2015 [citado 9 de Setembro de 2015]. Obtido de: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/pt/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.1.html
- [5]. Política Energética | ADENE - Agência para a energia [Internet]. [citado 9 de Setembro de 2015]. Obtido de: <http://www.adene.pt/politica-energetica>
- [6]. PNAEE 2016 – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética 2016 | ADENE - Agência para a energia [Internet]. [citado 9 de Setembro de 2015]. Obtido de: <http://www.adene.pt/programa/pnaee-2016-plano-nacional-de-acao-para-eficiencia-energetica-2016>
- [7]. Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013. Diário da República, 1ª série -Nº 70. Lisboa; 10 de Abril de 2013;2022–90.
- [8]. Parlamento Europeu e do Conselho. Directiva 2009/28/CE de 23 de Abril. Jornal Oficial da União Europeia. Bruxelas; 5 de Junho de 2009;L140/16–L140/62.
- [9]. Parlamento Europeu e do Conselho. Directiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. Bruxelas; 4 de Janeiro de 2003;L1/65–L1/71.
- [10]. Ministério da Economia e da Inovação. Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril. Diário da República nº67/2006. I Serie A. Lisboa; 4 de Abril de 2006;2411–5.
- [11]. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril. Diário da República nº67/2006. I Serie A. Lisboa; 4 de Abril de 2006;2416–68.
- [12]. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Diário da República nº67/2006. I Serie A. Lisboa; 4 de Abril de 2006;2468–513.
- [13]. Parlamento Europeu e do Conselho. Directiva 2010/31/CE de 10 de Maio. Jornal Oficial da União Europeia. Bruxelas; 18 de Junho de 2010;L153/13–L153/35.
- [14]. Ministério da Economia e do Emprego. Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto. Diário da República nº159. I Serie A. Lisboa; 20 de Agosto de 2013;4988–5005.
- [15]. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Portaria 349-D/2013 de 2 de Dezembro. Diário da República Nº 233. 1.ª série. Lisboa; 2 de Dezembro de 2013;6628 – (40) a 6628 – (73).

Bibliografia

- [16]. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013. Diário da República N.º 234. 2.ª série. Lisboa; 3 de Dezembro de 2013;35088 – (55) a 35088 – (57).
- [17]. Auditoria Energética | ADENE - Agência para a energia [Internet]. [citado 10 de Setembro de 2015]. Obtido de: <http://www.adene.pt/textofaqs/auditoria-energetica>
- [18]. Thumann A, Younger WJ. Handbook of Energy Audits [Internet]. 7ª Edição. Lilburn, GA: The Fairmont Press; 2008. 1-12 p. Obtido de: https://resourceefficiency.files.wordpress.com/2009/11/handbook_of_energy_audits.pdf
- [19]. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. Diário da República N.º 234. 2.ª série. Lisboa; 3 de Dezembro de 2013;35088 – (13).
- [20]. Mendonça LV, Amaral MM de, Catarino PS. A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios. Spybuilding Lda.-Inspeção de Edifícios;
- [21]. Sousa LFR de. Aplicação de Termografia no Estudo do Isolamento Térmico de Edifícios [Internet] [Dissertação de Mestrado]. [Aveiro]: Universidade de Aveiro- Departamento de Engenharia Mecânica; 2010. Obtido de: <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/3650/1/240593.pdf>
- [22]. Barreira ESBM. Aplicação da Termografia ao estudo do comportamento higratérmico dos edifícios [Dissertação de Mestrado]. [Porto]: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2004.
- [23]. ISO (International Organization for Standardization). ISO 9869:1994(E)-Thermal insulation - Building Elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. ISO (International Organization for Standardization); 1994.
- [24]. Autoconsumo particulares - Autoconsumo - SolarWaters [Internet]. [citado 10 de Setembro de 2015]. Obtido de: <http://www.solarwaters.pt/autoconsumo/autoconsumo-particulares>

Anexo A-Sistemas de Iluminação

Tabela A- 1-Iluminação presente no Piso 0-CMPF.

Espaço	Nº Lamp	Pot. Lamp+Bal. (W)	Total (W)	Área (m²)	Densid. Lumi. (W/m²)
Corredor Entrada Traseiras	6	18	108	157,42	0,69
Corredor Gab Tecnicos Bloco B	17	70	1190	61,63	19,31
Corredor Gab Tecnicos Bloco A	9	70	630	35,465	19,29
	3	18	54		
Gab. Apoio	7	70	490	82,41	9,59
	4	48	192		
	6	18	108		
Gab. Apoio 1	14	48	672	49,98	13,45
Gab. Apoio 2	12	48	576	61,1	9,43
Gab. Informatica e Economato	6	18	108	37,89	7,92
	4	48	192		
Gab. Tecnico	18	48	864	93,78	9,21
Hall Entrada, Segurança	13	18	234	150,62	1,55
Sistemas Informaticos	2	70	140	40,82	7,84
	3	48	144		
	2	18	36		
Taxas Licencas, Div Juridica	47	70	3290	448,98	7,33
Tesouraria	28	70	1960	377,68	6,03
	7	18	126		
	4	48	192		
WC	2	70	140	27,06	8,72
	2	48	96		
WC 1	2	70	140	19,56	12,07
	2	48	96		
WC 2	2	70	140	19,56	12,07
	2	48	96		

Tabela A- 2-Iluminação presente no Piso 1-CMPF.

Espaço	Nº Lamp.	Pot. Lamp.+Bal. (W)	Total (W)	Área (m²)	Densid. Lumi. (W/m²)
Corredor	17	70	1190	65,55	18,15
Corredor 1	20	18	360	200,66	1,79
Corredor 2	20	70	1400	71,2	19,66
Corredor 3	9	70	630	31,01	20,32
Corredor 4	5	18	90	127,17	0,71
Gab Apoio	22	48	1056	119,93	8,80

Gab Apoio 1	16	48	768	81,27	9,45
Gab Apoio 2	12	48	576	55,42	10,72
	1	18	18		
Gab Apoio, Presidência	20	48	960	112,51	8,53
Gab Apoio Vereação	9	48	432	99,26	7,07
	15	18	270		
Gab Apoio Vereação 1	18	48	864	110,48	7,82
Gab Apoio Vereação 2	20	48	960	95,48	10,05
Sala de Reuniões	2	18	36	81,85	9,85
	6	70	420		
	7	50	350		
Salão Nobre	25	50	1250	342,65	6,51
	14	70	980		
Telefonistas	1	70	70	18,07	3,87
WC	2	70	140	27,42	8,61
	2	48	96		
WC 1	2	70	140	27,42	8,61
	2	48	96		
WC 2	2	70	140	27,42	8,61
	2	48	96		

Tabela A- 3-iluminação presente no Piso 2-CMPF.

Espaço	Nº Lamp.	Pot. Lamp.+Bal. (W)	Total (W)	Área (m²)	Densid. Lumi. (W/m²)
Arquitetura	8	48	384	38,95	9,86
Arquivo	4	48	192	15,42	12,45
Corredor	20	70	1400	71,51	19,58
Gab. Apoio 1	13	48	624	68,87	9,06
Gab. Apoio 2	14	48	672	56,19	11,96
Notariado	8	48	384	54,53	7,04
Recursos Humanos	16	48	768	94,8	8,10
Reprografia	14	48	672	82,09	8,19
Sala de Desenho	9	70	630	83,7	9,46
	1	18	18		
	3	48	144		
Topografia	6	48	288	18,33	15,71
Toponímia	2	48	96	18,33	5,24
WC	2	70	140	42,9	5,50
	2	48	96		

Tabela A- 4-Iluminação presente no Piso 0-Junta de Freguesia.

Espaço	Nº Lamp.	Pot. Lamp.+Bal. (W)	Total (W)	Área (m²)	Densid. Lumi. (W/m²)
Corredor	4	70	280	27,39	10,22
Gabinete	18	48	864	133,35	6,48
WC	1	70	70	8,48	13,92
	1	48	48		

Tabela A- 5-Iluminação presente no Piso 1-Junta de Freguesia

Espaço	Nº Lamp.	Pot. Lamp.+Bal. (W)	Total (W)	Área (m²)	Densid. Lumi. (W/m²)
Corredor	4	70	280	35,94	7,79
Gabinete	18	48	864	170,7	5,62
WC	1	70	70	14,815	7,96
	1	48	48		

Anexo B-Equipamentos

Tabela B- 1-Equipamentos presentes no Piso 0-CMPF.

Espaço	Equipam.	Nº Equip.	Pot. (W)	Total (W)	Área (m ²)	Densid. Energ. (W/m ²)
Gab. Apoio	Computador	7	250	1750	82,41	21,24
Gab. Apoio 1	Computador	5	250	1250	49,98	25,01
Gab. Apoio 2	Computador	3	250	750	61,1	12,27
Gab. Informática e Economato	Computador	2	250	500	37,89	13,20
Gab. Tecnico	Computador	5	250	1250	93,78	13,33
Hall Entrada, Segurança	Computador	1	250	250	150,62	1,66
Sistemas Informáticos	Computador	5	250	1250	40,82	30,62
Taxas Licenças, Div Jurídica	Computador	23	250	5750	448,98	13,59
	TV	1	200	200		
	Impressora Pequena	1	150	150		
Tesouraria	Computador	25	250	6250	377,68	17,48
	Impressora Pequena	1	150	150		
	Impressora Grande	1	200	200		

Tabela B- 2-Equipamentos presentes no Piso 1-CMPF.

Espaço	Equipam.	Nº Equip.	Pot. (W)	Total (W)	Área (m ²)	Densid. Energ. (W/m ²)
Gab Apoio	Computador	11	250	2750	119,93	22,93
Gab Apoio 1	Computador	7	250	1750	81,27	21,53
Gab Apoio 2	Computador	3	250	750	55,42	13,53
Gab Apoio, Presidência	Computador	8	250	2000	112,51	20,44
	Impressora Pequena	2	150	300		
Gab Apoio Vereação	Computador	2	250	500	99,26	6,55
	Impressora Pequena	1	150	150		
Gab Apoio Vereação 1	Computador	6	250	1500	110,48	13,58
Gab Apoio Vereação 2	Computador	6	250	1500	95,48	17,28
	Impressora Pequena	1	150	150		
Salão Nobre	Projektor	1	200	200	342,65	0,58
Telefonistas	Computador	2	250	500	18,07	27,67

Tabela B- 3-Equipamentos presentes no Piso 2-CMPF.

Espaço	Equipam.	Nº Equip.	Pot. (W)	Total (W)	Área (m²)	Densid. Energ. (W/m²)
Arquitetura	Computador	2	250	500	38,95	12,84
Arquivo	Ventoinha	1	40	40	15,42	2,59
Gab. Apoio 1	Computador	3	250	750	68,87	10,89
Gab. Apoio 2	Computador	3	250	750	56,19	13,35
Notariado	Computador	1	250	250	54,53	4,58
Recursos Humanos	Computador	3	250	750	94,8	7,91
Reprografia	Computador	2	250	500	82,09	10,60
	Impressora Pequena	1	150	150		
	Impressora Grande	1	200	200		
	Scanner	1	20	20		
Sala de Desenho	Computador	4	250	1000	83,7	24,85
	Impressora Laser	3	360	1080		
Topografia	Computador	3	250	750	18,33	40,92
Toponímia	Computador	1	250	250	18,33	13,64

Tabela B- 4-Equipamentos presentes na Junta de Freguesia.

Espaço	Equipam.	Nº Equip.	Pot. (W)	Total (W)	Área (m²)	Densid. Energ. (W/m²)
Gabinete-Piso 0	Computador	4	250	1000	133,35	7,50
Gabinete-Piso1	Computador	5	250	1250	170,7	7,32

Anexo C-Medições Termofluxímetro

Data de medições: 17-03-2015 a 20-03-2015

Número de medições: 147

Intervalo entre medições: 30 minutos

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n (\Delta T \times U)}{\sum_{j=1}^n \Delta T} = \frac{350,61}{216,60} = 1,62 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tabela C- 1-Medições efetuadas com o termofluxímetro.

Medição	Data	U (W/m ² K)	Ti (°C)	Te (°C)	ΔT (°C)	U × ΔT
1	17-03-2015	-95,478	17,7	17,9	-0,2	19,0956
2	17-03-2015	26,4	17,9	17,8	0,1	2,64
3	17-03-2015	-289,288	18,2	18,2	0	0
4	17-03-2015	38,529	18,4	18,3	0,1	3,8529
5	17-03-2015	2,106	18,2	16,4	1,8	3,7908
6	17-03-2015	3,111	17,8	16,7	1,1	3,4221
7	17-03-2015	1,79	17,7	16	1,7	3,043
8	17-03-2015	9,829	17,8	17,4	0,4	3,9316
9	17-03-2015	7,094	18	17,4	0,6	4,2564
10	17-03-2015	2,358	17,9	16,3	1,6	3,7728
11	17-03-2015	6,094	18,3	17,3	1	6,094
12	17-03-2015	6,514	18,4	17,6	0,8	5,2112
13	17-03-2015	9,991	18,5	18	0,5	4,9955
14	17-03-2015	-28,137	18,7	18,9	-0,2	5,6274
15	17-03-2015	4,306	18,5	17,4	1,1	4,7366
16	17-03-2015	11,341	18,3	17,9	0,4	4,5364
17	17-03-2015	1,121	17,7	15,7	2	2,242
18	17-03-2015	0,602	17,5	15,1	2,4	1,4448
19	17-03-2015	0,738	17,3	15,5	1,8	1,3284
20	17-03-2015	2,12	17,3	16,3	1	2,12
21	17-03-2015	0,61	17,2	15,4	1,8	1,098
22	17-03-2015	0,991	17	15,8	1,2	1,1892
23	17-03-2015	1,876	16,9	16,1	0,8	1,5008
24	17-03-2015	0,121	16,7	14	2,7	0,3267
25	17-03-2015	-0,102	16,8	14,9	1,9	-0,1938
26	17-03-2015	2,867	16,8	16,3	0,5	1,4335
27	17-03-2015	3,266	16,8	16,3	0,5	1,633
28	17-03-2015	2,513	16,7	16,2	0,5	1,2565
29	18-03-2015	0,717	16,6	15,6	1	0,717
30	18-03-2015	0,045	16,3	14,6	1,7	0,0765
31	18-03-2015	-0,115	16,3	13,6	2,7	-0,3105

Anexo C

32	18-03-2015	-0,54	16,2	13,5	2,7	-1,458
33	18-03-2015	-0,178	16,1	13,5	2,6	-0,4628
34	18-03-2015	-0,258	16,2	13,5	2,7	-0,6966
35	18-03-2015	1,124	16,1	15,4	0,7	0,7868
36	18-03-2015	1,281	16,1	15,3	0,8	1,0248
37	18-03-2015	1,121	16,1	15,3	0,8	0,8968
38	18-03-2015	2,104	16,1	15,6	0,5	1,052
39	18-03-2015	-0,114	15,9	13,9	2	-0,228
40	18-03-2015	1,728	16	15,4	0,6	1,0368
41	18-03-2015	-0,506	15,5	12,7	2,8	-1,4168
42	18-03-2015	0,533	15,6	14,4	1,2	0,6396
43	18-03-2015	-0,304	15,8	14	1,8	-0,5472
44	18-03-2015	2,499	15,9	15,2	0,7	1,7493
45	18-03-2015	3,797	16,2	15,5	0,7	2,6579
46	18-03-2015	0,851	16,3	13,8	2,5	2,1275
47	18-03-2015	4,762	16,5	15,8	0,7	3,3334
48	18-03-2015	1,689	16,6	14,9	1,7	2,8713
49	18-03-2015	3,181	16,9	15,7	1,2	3,8172
50	18-03-2015	2,956	17,1	15,6	1,5	4,434
51	18-03-2015	3,076	17,2	15,8	1,4	4,3064
52	18-03-2015	13,202	17,5	17,1	0,4	5,2808
53	18-03-2015	-42,106	17,8	18	-0,2	8,4212
54	18-03-2015	-14,016	17,9	18,4	-0,5	7,008
55	18-03-2015	74,761	17,8	17,7	0,1	7,4761
56	18-03-2015	17,508	17,6	17,3	0,3	5,2524
57	18-03-2015	2,837	17,3	16	1,3	3,6881
58	18-03-2015	2,934	17,6	16,1	1,5	4,401
59	18-03-2015	1,637	17,3	15,3	2	3,274
60	18-03-2015	1,854	17,1	15,5	1,6	2,9664
61	18-03-2015	7,768	17,3	16,8	0,5	3,884
62	18-03-2015	15,959	17,9	17,5	0,4	6,3836
63	18-03-2015	16,362	17,6	17,3	0,3	4,9086
64	18-03-2015	3,347	17,5	16,4	1,1	3,6817
65	18-03-2015	0,86	17	14,7	2,3	1,978
66	18-03-2015	0,207	16,7	13,9	2,8	0,5796
67	18-03-2015	0,197	16,5	13,7	2,8	0,5516
68	18-03-2015	0	16,2	13,4	2,8	0
69	18-03-2015	-0,213	16,1	13	3,1	-0,6603
70	18-03-2015	0,243	16,1	13,4	2,7	0,6561
71	18-03-2015	0,402	16,1	14,5	1,6	0,6432
72	18-03-2015	0,704	16,2	14	2,2	1,5488
73	18-03-2015	-0,254	15,9	12,5	3,4	-0,8636
74	18-03-2015	0,145	15,9	13	2,9	0,4205
75	18-03-2015	-0,398	15,8	12,5	3,3	-1,3134
76	18-03-2015	-0,322	15,8	12,4	3,4	-1,0948

77	19-03-2015	-0,159	15,9	13,2	2,7	-0,4293
78	19-03-2015	0,392	15,9	14	1,9	0,7448
79	19-03-2015	0,354	15,9	14	1,9	0,6726
80	19-03-2015	0,042	15,9	13,1	2,8	0,1176
81	19-03-2015	-0,18	15,7	12,7	3	-0,54
82	19-03-2015	-0,686	15,5	11,6	3,9	-2,6754
83	19-03-2015	0,036	15,6	13,4	2,2	0,0792
84	19-03-2015	0,343	15,6	13,8	1,8	0,6174
85	19-03-2015	0,563	15,6	14,1	1,5	0,8445
86	19-03-2015	-0,105	15,5	12,9	2,6	-0,273
87	19-03-2015	0	15,6	13,2	2,4	0
88	19-03-2015	1,577	15,6	14,8	0,8	1,2616
89	19-03-2015	0,27	15,6	13,9	1,7	0,459
90	19-03-2015	0,193	15,4	13	2,4	0,4632
91	19-03-2015	0,049	15,5	12,3	3,2	0,1568
92	19-03-2015	0,465	15,5	13,4	2,1	0,9765
93	19-03-2015	0,498	15,5	13,3	2,2	1,0956
94	19-03-2015	1,371	15,7	14,1	1,6	2,1936
95	19-03-2015	5,077	15,9	15,3	0,6	3,0462
96	19-03-2015	1,54	16	14,2	1,8	2,772
97	19-03-2015	2,94	16,2	15,1	1,1	3,234
98	19-03-2015	-69,585	16,4	16,5	-0,1	6,9585
99	19-03-2015	2,702	16,5	15,1	1,4	3,7828
100	19-03-2015	-21,803	16,8	17,1	-0,3	6,5409
101	19-03-2015	-245,362	17,3	17,3	0	0
102	19-03-2015	74,209	17,3	17,2	0,1	7,4209
103	19-03-2015	-25,983	17,8	18,2	-0,4	10,3932
104	19-03-2015	148,898	18	17,9	0,1	14,8898
105	19-03-2015	44,078	18,3	18,1	0,2	8,8156
106	19-03-2015	-6,8	18,5	20,2	-1,7	11,56
107	19-03-2015	57,505	18,8	18,6	0,2	11,501
108	19-03-2015	66,895	19,2	19	0,2	13,379
109	19-03-2015	-16,739	19,6	20,3	-0,7	11,7173
110	19-03-2015	97,508	20	20	0	0
111	19-03-2015	-387,65	20,4	20,4	0	0
112	19-03-2015	25,169	20,7	20,1	0,6	15,1014
113	19-03-2015	8,507	19,9	19	0,9	7,6563
114	19-03-2015	2,333	19	17,4	1,6	3,7328
115	19-03-2015	0,897	18,5	16	2,5	2,2425
116	19-03-2015	1,189	18,1	16,4	1,7	2,0213
117	19-03-2015	0,52	18	15,5	2,5	1,3
118	19-03-2015	0,043	17,6	14,9	2,7	0,1161
119	19-03-2015	0,363	17,6	15,6	2	0,726
120	19-03-2015	0,255	17,5	15,5	2	0,51
121	19-03-2015	-0,093	17,4	14,5	2,9	-0,2697

Anexo C

122	19-03-2015	-0,083	17,3	15	2,3	-0,1909
123	19-03-2015	0,357	17,3	15,9	1,4	0,4998
124	19-03-2015	0,258	17,2	15,7	1,5	0,387
125	20-03-2015	-0,622	16,9	13,9	3	-1,866
126	20-03-2015	-0,566	16,8	14,5	2,3	-1,3018
127	20-03-2015	-0,177	16,9	14,5	2,4	-0,4248
128	20-03-2015	0,15	16,9	15,9	1	0,15
129	20-03-2015	-0,453	16,9	14,2	2,7	-1,2231
130	20-03-2015	0,084	16,9	15,5	1,4	0,1176
131	20-03-2015	0,277	16,9	15,9	1	0,277
132	20-03-2015	-0,25	16,8	14,3	2,5	-0,625
133	20-03-2015	-0,345	16,8	14,4	2,4	-0,828
134	20-03-2015	-0,402	16,6	13,7	2,9	-1,1658
135	20-03-2015	-0,203	16,7	13,8	2,9	-0,5887
136	20-03-2015	-0,163	16,6	14,5	2,1	-0,3423
137	20-03-2015	-0,433	16,5	13,6	2,9	-1,2557
138	20-03-2015	-0,074	16,6	14,5	2,1	-0,1554
139	20-03-2015	-0,182	16,7	14,1	2,6	-0,4732
140	20-03-2015	-0,236	16,6	14	2,6	-0,6136
141	20-03-2015	0,433	16,9	14,8	2,1	0,9093
142	20-03-2015	1,859	16,9	16,2	0,7	1,3013
143	20-03-2015	12,91	17,1	16,9	0,2	2,582
144	20-03-2015	1,371	17,2	15,8	1,4	1,9194
145	20-03-2015	9,297	17,5	17,2	0,3	2,7891
146	20-03-2015	2,295	17,6	16,4	1,2	2,754
147	20-03-2015	2,908	17,8	16,7	1,1	3,1988

Anexo D-Esquemas dos pisos na Simulação

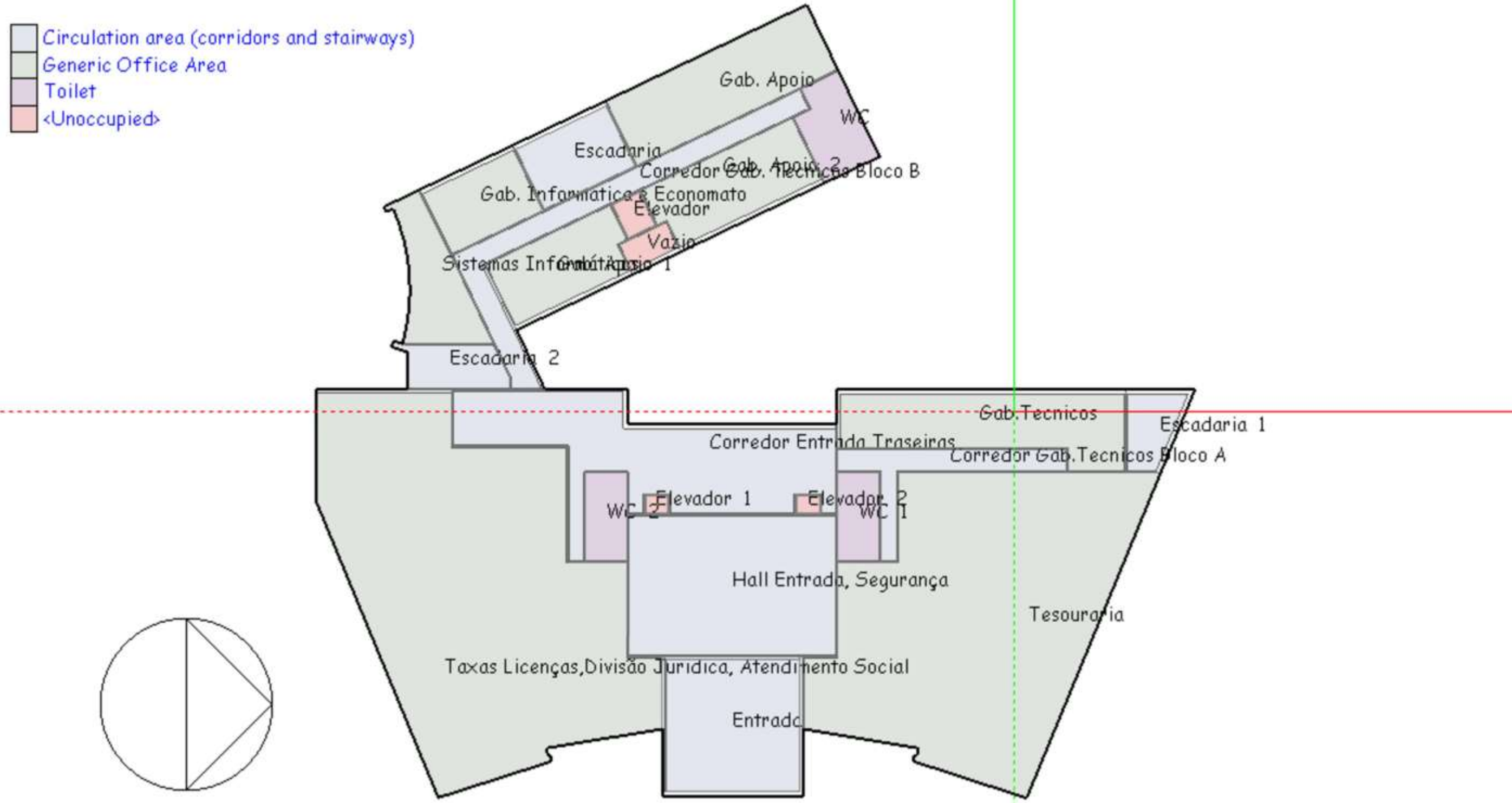


Figura D- 1-Zoneamento Piso 0-CMPF

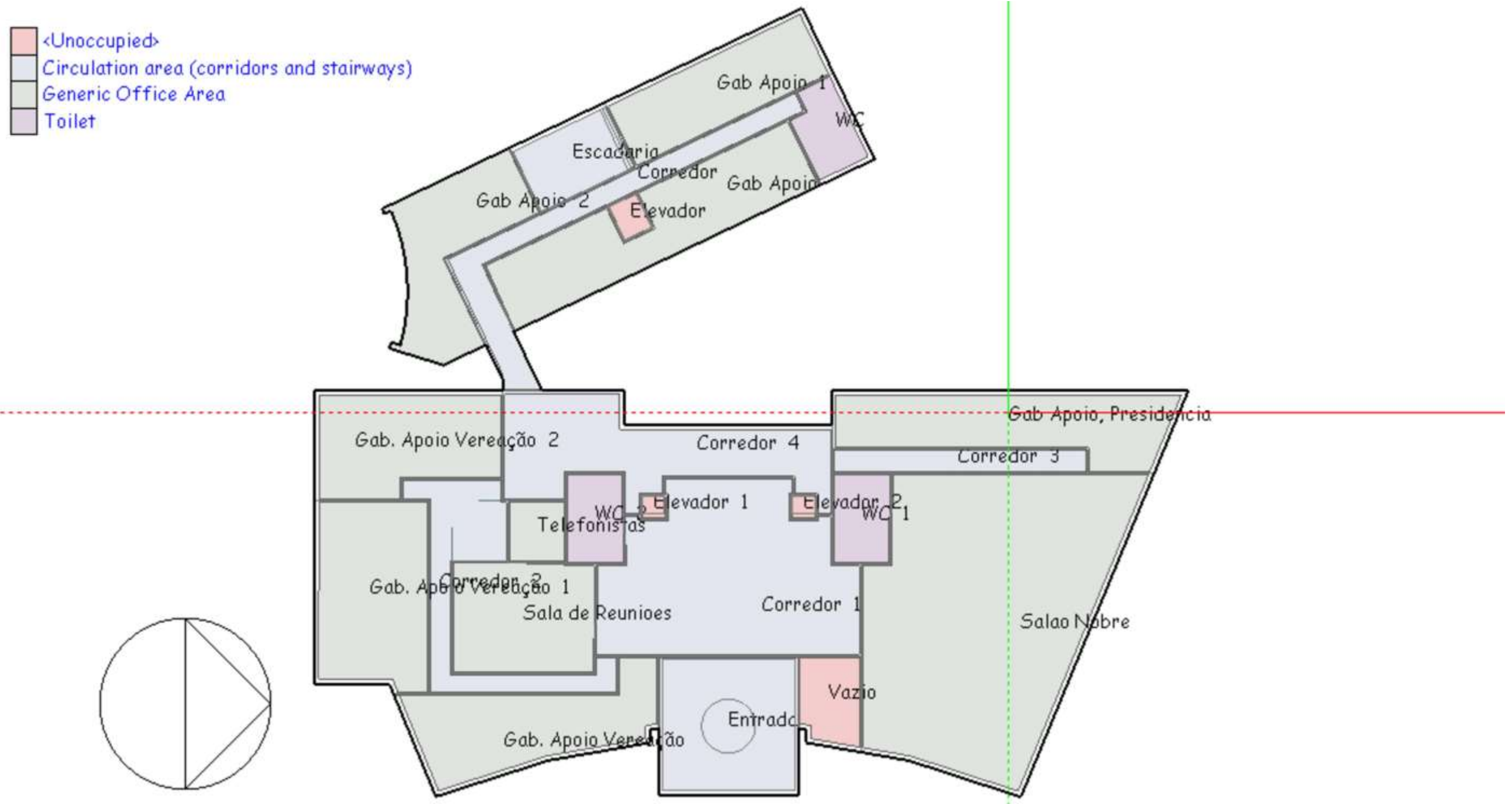


Figura D- 2-Zoneamento Piso 1-CMPF

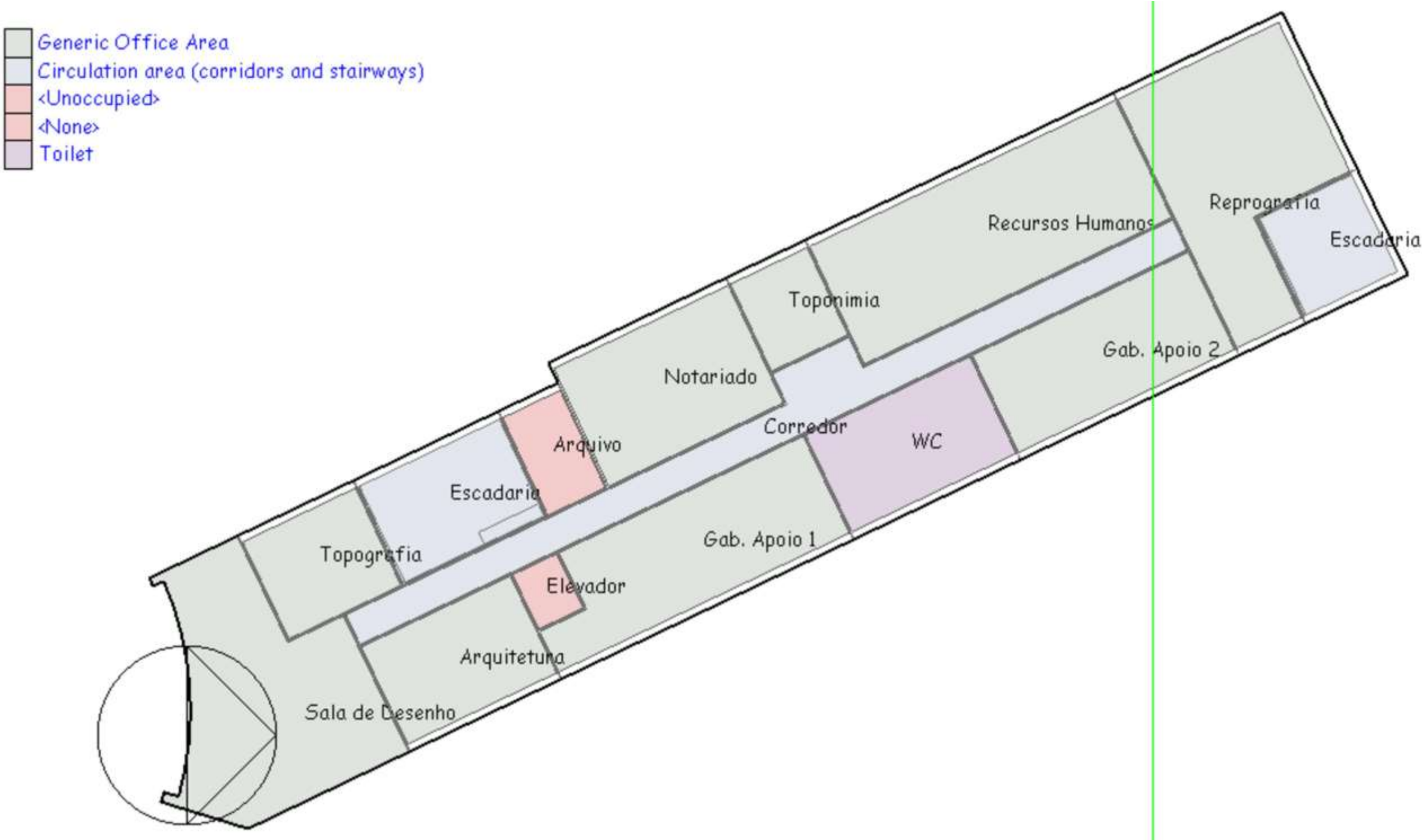


Figura D- 3-Zoneamento Piso 2-CMPF

■ Circulation area (corridors and stairways)
■ <Unoccupied>

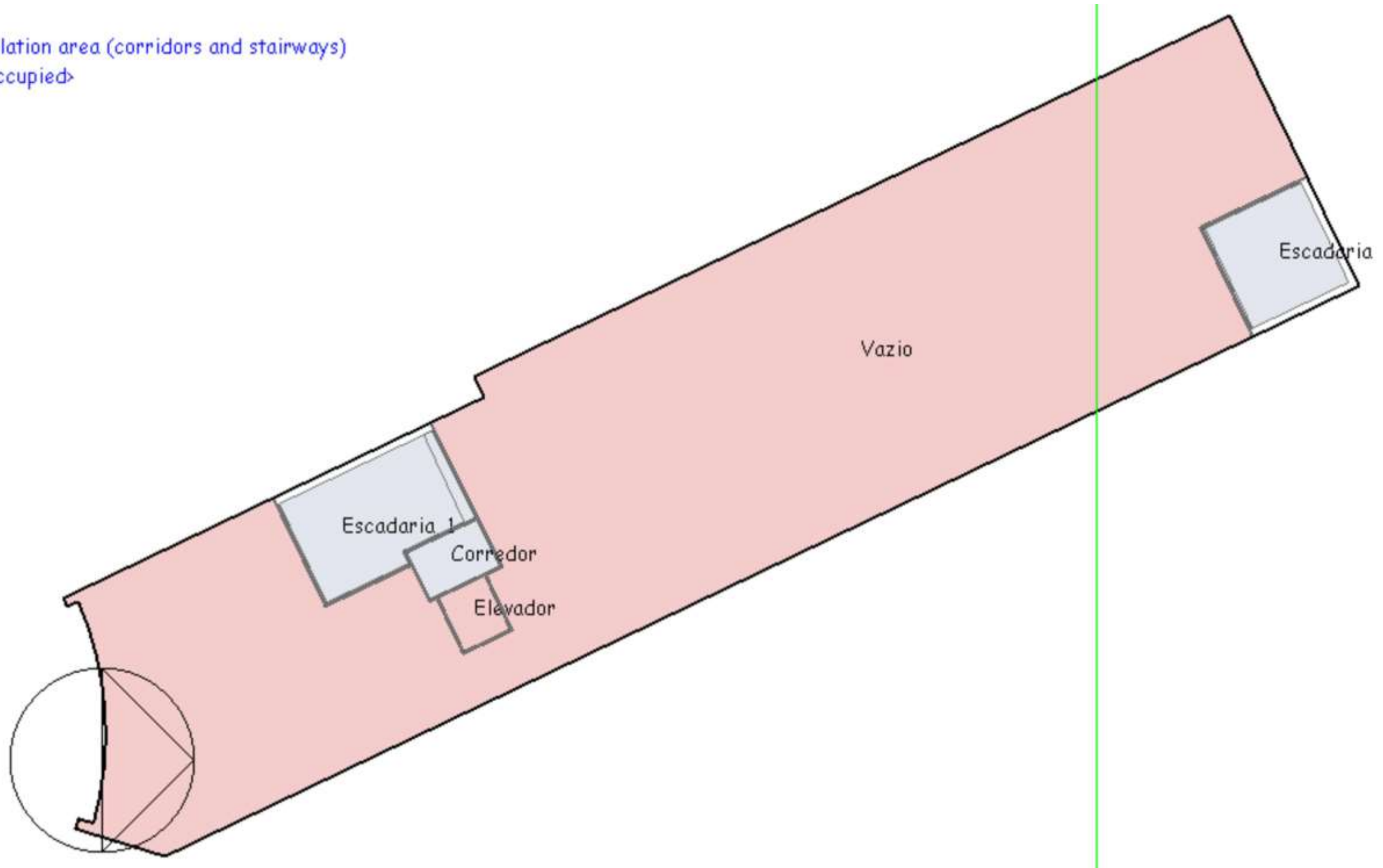


Figura D- 4-Zoneamento Piso 3-CMPF

- Generic Office Area
- Toilet
- Circulation area (corridors and stairways)

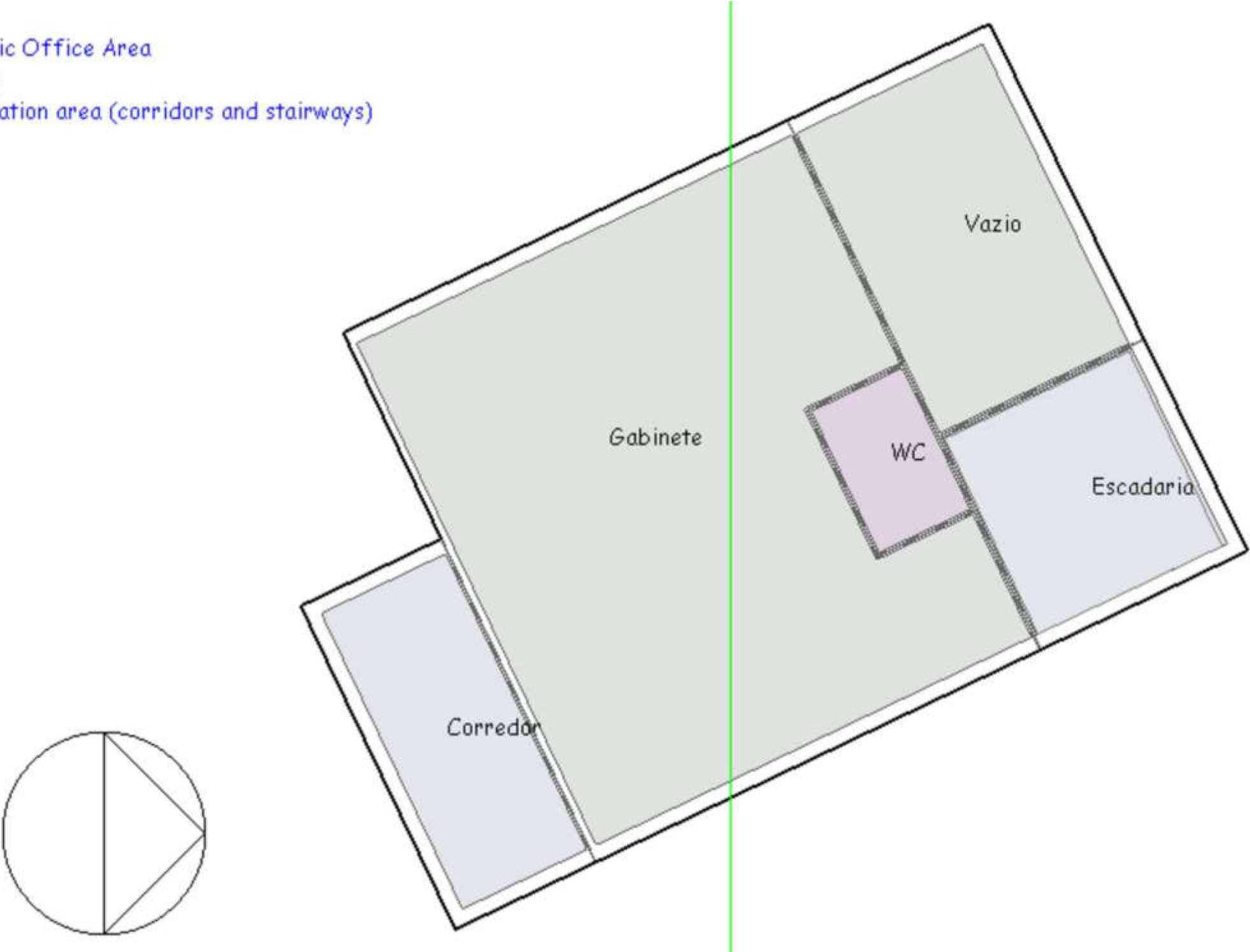


Figura D- 5-Zoneamento Piso 0-Junta de freguesia.

- Toilet
- Generic Office Area
- Circulation area (corridors and stairways)

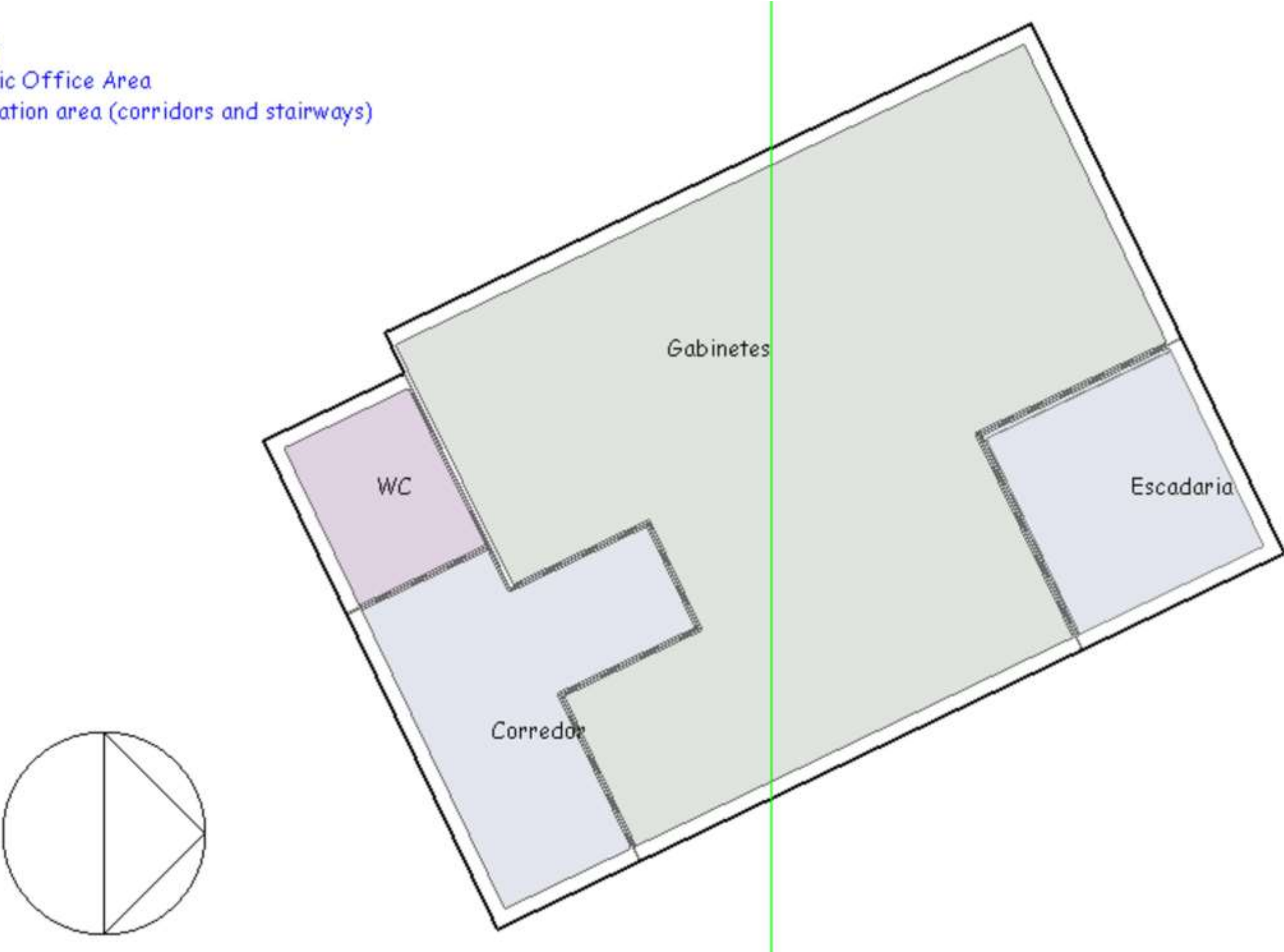
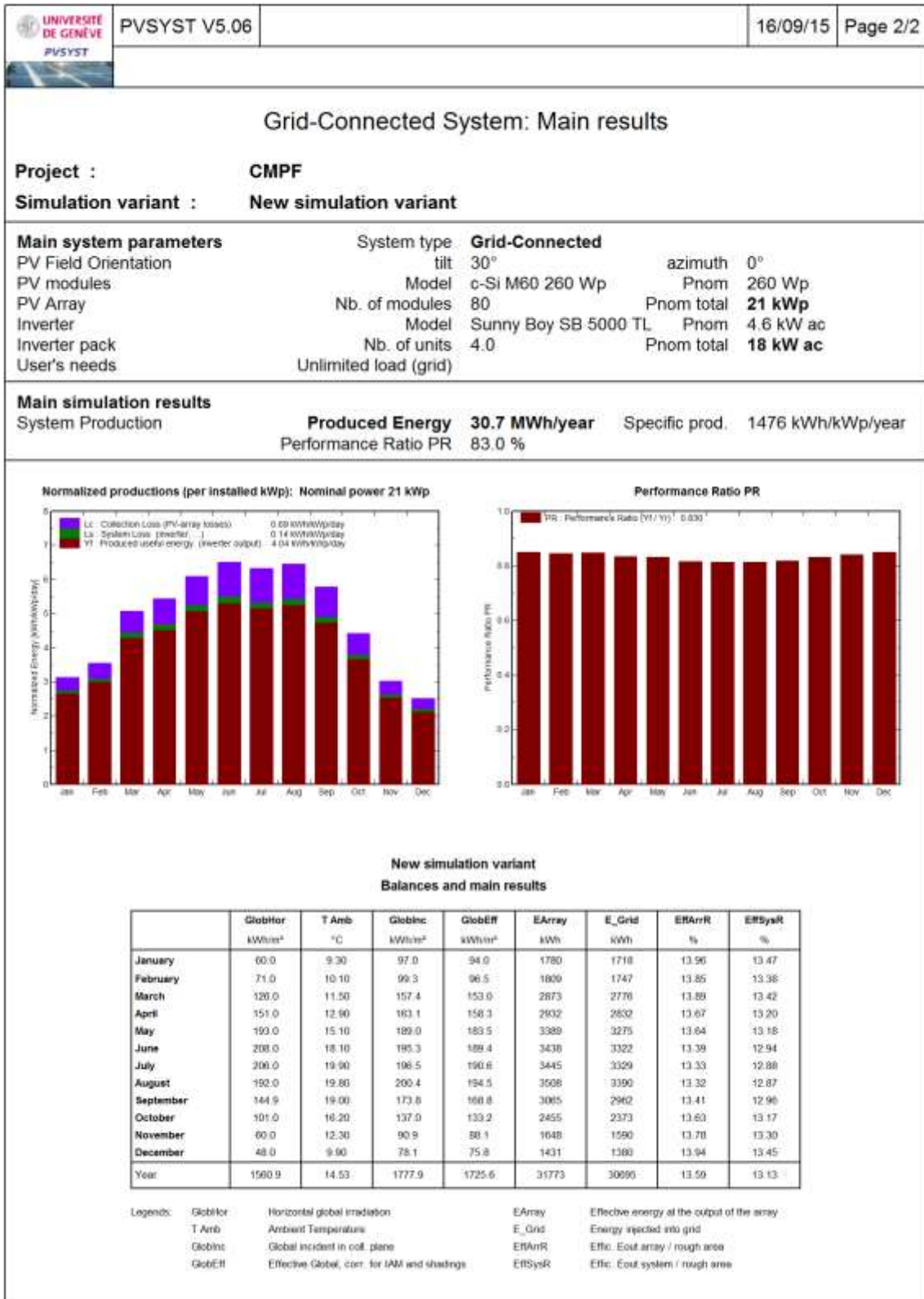


Figura D- 6-Zoneamento Piso 1-Junta de Freguesia

Anexo E-Resultado da Simulação do Sistema Solar Fotovoltaico no PVSyst

	PVSYST V5.06	16/09/15	Page 1/2
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	CMPF		
Geographical Site	Porto	Country	Portugal
Situation	Latitude 41.1°N	Longitude	8.4°W
Time defined as	Solar Time	Altitude	100 m
	Albedo 0.20		
Meteo data :	Porto, Synthetic Hourly data		
Simulation variant :	New simulation variant		
	Simulation date 04/09/15 11h46		
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt 30°	Azimuth	0°
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	Si-mono	Model	c-Si M60 260 Wp
		Manufacturer	Bosch
Number of PV modules	In series	10 modules	In parallel 8 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	80	Unit Nom. Power 260 Wp
Array global power	Nominal (STC)	21 kWp	At operating cond. 19 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	281 V	I mpp 67 A
Total area	Module area	131 m²	Cell area 117 m²
Inverter			
	Model	Sunny Boy SB 5000 TL	
	Manufacturer	SMA	
Characteristics	Operating Voltage	125-440 V	Unit Nom. Power 4.6 kW AC
Inverter pack	Number of Inverter	4 units	Total Power 18.4 kW AC
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s.)	NOCT 45 °C		
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	70 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss	Loss Fraction 1.0 %		
Module Mismatch Losses	Loss Fraction 2.0 % at MPP		
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)		



Anexo F-Retorno do Investimento das medidas propostas em conjunto com a instalação do Sistema Solar Fotovoltaico

- Medida 1 em conjunto com a Instalação do Sistema Solar Fotovoltaico

Tabela F- 1-Investimento estimado-Medida 1 (mais SSF)

	Preço Unit. (€)	Quantidade	Custo (€)
Balastro Lamp. 58W	5,00 €	318	1.590,00 €
Balastro Lamp. 36W	6,50 €	230	1.495,00
Modulo Fotovoltaico	282,90€	80	22.632,00€
Inversor Fotovoltaico	2.283,19€	4	9.132,75€
		Total	34.849,75€

Tabela F- 2-Retorno de Investimento-Medida 1 (mais SSF)

	Consumos
Investimento (€)	34.849,75€
Poupança (€)	12.554,37€
Retorno (meses)	33

- Medida 2 em conjunto com a Instalação do Sistema Solar Fotovoltaico

Tabela F- 3-Investimento estimado-Medida 2 (mais SSF)

	Preço Unit. (€)	Quantidade	Custo (€)
LED 21W	30,61€	318	9.735,47€
LED 24W	33,59€	230	7.726,00€
LED 5,5W	7,67€	32	245,61€
Modulo Fotovoltaico	282,90€	80	22.632,00€
Inversor Fotovoltaico	2.283,19€	4	9.132,75€
		Total	49.471,83€

Tabela F- 4-Retorno de Investimento-Medida 2 (mais SSF)

	Consumos
Investimento (€)	49.471,83€
Poupança (€)	13.773,52€
Retorno (meses)	43

- **Medida 3 em conjunto com a Instalação do Sistema Solar Fotovoltaico**

Tabela F- 5-Investimento estimado-Medida 3 (mais SSF)

	Preço Unit. (€)	Quantidade	Custo (€)
Película RE70NEARL	32,80€	1563	51.266,40€
Modulo Fotovoltaico	282,90€	80	22.632,00€
Inversor Fotovoltaico	2.283,19€	4	9.132,75€
		Total	83.031,15€

Tabela F- 6-Retorno de Investimento-Medida 3 (mais SSF)

	Consumos
Investimento (€)	83.031,15€
Poupança (€)	9.406,97€
Retorno (meses)	106

- **Medida 4 em conjunto com a Instalação do Sistema Solar Fotovoltaico**

Tabela F- 7-Investimento estimado-Medida 4 (mais SSF)

	Preço Unit. (€)	Quantidade	Custo (€)
LED 21W	30,61€	318	9.735,47€
LED 24W	33,59€	230	7.726,00€
LED 5,5W	7,67€	32	245,61€
Película RE70NEARL	32,80€	1563	51.266,40€
Modulo Fotovoltaico	282,90€	80	22.632,00€
Inversor Fotovoltaico	2.283,19€	4	9.132,75€
		Total	100.738,23€

Tabela F- 8-Retorno de Investimento-Medida 4 (mais SSF)

	Consumos
Investimento (€)	100.738,23€
Poupança (€)	17.889,53€
Retorno (meses)	68