



ANÁLISE ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO PÚBLICO

Sandra Maria Azevedo Cota

Relatório Final da Dissertação apresentado à

Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

Instituto Politécnico de Bragança

Para obtenção do grau de Mestre em

Energias Renováveis e Eficiência Energética

Orientador:

Prof. Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares

Junho de 2014

RESUMO

Os edifícios são hoje em dia um dos principais responsáveis pelo consumo de energia. Este elevado consumo energético com o respetivo impacto ambiental que acarreta tem originado, por parte de alguns países, preocupações crescentes levando à adoção de medidas de eficiência energética com o objetivo de promover a racionalização de energia e a utilização sustentável das diferentes formas de energia.

Assim neste âmbito, a Diretiva 2002/91/CE estabeleceu um conjunto de medidas e metas específicas a adotar por cada um dos estados membros da União Europeia que, no caso de Portugal, se traduziu na criação do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

Mais recentemente, surgiram “recomendações” e metas a atingir com horizontes temporais que os edifícios públicos têm de cumprir no sentido de reduzir e racionalizar os consumos de energia.

O estudo do comportamento energético dos edifícios envolve um processo de caracterização e simulação dinâmica, existindo atualmente várias ferramentas de simulação disponíveis “certificadas” homologadas.

Para realizar a análise energética foi realizado um levantamento de informação rigoroso que permitiu caracterizar os elementos construtivos e envidraçados, densidades de iluminação e de equipamentos genéricos, perfis de utilização e sistemas de climatização da Escola Superior de Educação do IPB, Instituto Politécnico de Bragança. O programa utilização para a simulação dinâmica foi o EnergyPlus com o interface DesignBuilder.

Palavras chave: Eficiência Energética, DesignBuilder, EnergyPlus, Simulação Dinâmica

ABSTRACT

The buildings are nowadays one of the main responsible for the energy consumption. This high-energy consumption with the respective environmental impact that entails has originated, by some countries, rising concerns leading to the adoption of energy efficiency measures in order to promote energy conservation and sustainable use of different forms of energy.

So in this context, Directive 2002/91/CE established a set of goals and specific measures to be adopted by each of the member states of the European Union which, in the case of Portugal, has resulted in the creation of the National Energy Certification and Quality Indoor Air in Buildings (SCE).

More recently, there are "recommendations" and targets with timeframes that public buildings must meet in order to reduce and rationalize energy consumption.

The study of energy performance of buildings involves a process of characterization and dynamic simulation, there are several tools currently available simulation certified by norm ASHRAE 140.

To perform the energy analysis of a survey accurate information that allowed us to characterize the constructive and glazed elements, densities and generic lighting equipment, usage profiles, HVAC systems at Escola Superior de Educação do IPB was performed. The program used for the dynamic simulation was EnergyPlus with DesignBuilder interface.

Keywords: Energy Efficiency, DesignBuilder, EnergyPlus, Dynamic Simulation

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Orlando Soares, um obrigado pela sugestão do tema e por todo o apoio e esforço prestado ao longo destes meses de trabalho sem qual não seria possível a realização deste projeto.

Aos técnicos do Gabinete de Planeamento e Gestão de Obras do Instituto Politécnico, pela disponibilização do seu tempo para consulta de toda a informação relativa às características técnicas do edifício.

À Direção da Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico de Bragança pela autorização e disponibilidade dos recursos para a realização do levantamento de cargas de todo o edifício. Um obrigado ao Técnico Pedro Santos pelo acompanhamento nas várias visitas realizadas ao edifício e esclarecimento de dúvidas.

À Escola Superior de Tecnologia e Gestão pelo software disponibilizado, sem o qual a realização deste projeto não seria possível.

Um agradecimento especial a todos os meus familiares e amigos pelo incentivo recebido ao longo de todo o percurso académico.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Estrutura do documento.....	4
2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS	5
2.1. A radiação solar e os edifícios	5
2.2. Características da construção.....	8
2.2.1. Envidraçados	8
2.2.2. Isolamento térmico	10
2.2.3. Coberturas e pavimentos.....	11
2.3. Iluminação	12
3. LEGISLAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS	16
3.1.1. Sistema de Certificação Energética dos Edifícios.....	19
3.1.2. Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação.....	20
3.1.3. Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços	21
3.1.4. Indicador de eficiência e classe energética	22
4. SIMULAÇÃO DINÂMICA	26
4.1. Simulação dinâmica	26
4.2. DesignBuilder	28
4.3. EnergyPlus	30
4.3.1. Método de cálculo do EnergyPlus.....	32
5. CASO DE ESTUDO	36
5.1. Recolha de informação	36
5.2. Descrição do edifício em estudo	36

5.2.1. Envolvente	38
5.2.2. Ocupação	40
5.2.3. Iluminação.....	41
5.2.4. Equipamentos.....	45
5.2.5. Sistemas de climatização	47
5.2.5.1. Aquecimento ambiente	47
5.2.5.2. Água quente sanitária	51
5.3. Caracterização das infraestruturas energéticas	53
5.3.1. Energia elétrica.....	53
5.3.1.1. Alimentação e distribuição de energia elétrica	53
5.3.1.2. Produção de energia elétrica	54
5.3.1.3. Fator de potência	56
5.3.2. Gás natural	57
5.4. Caracterização dos consumos e custos de energia	58
5.4.1. Energia elétrica.....	58
5.4.2. Gás natural	60
5.4.3. Emissões de dióxido de carbono	61
5.4.4. Indicador de eficiência energética	63
5.5. Construção do modelo.....	64
6. ANÁLISE DE RESULTADOS	68
6.1. Calibração do modelo.....	68
6.2. Necessidades de aquecimento.....	69
6.2.1. Aquecimento durante o ano	73
6.3. Necessidades de arrefecimento	75
6.4. Balanço energético da envolvente.....	75
6.5. Ganhos internos.....	78

6.5.1. Ganhos solares	79
6.6. Consumo de energia elétrica e gás natural	82
6.6.1. Emissões estimadas de dióxido de carbono	85
6.7. Classe energética	85
7. MEDIDAS DE MELHORAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO	87
7.1. Medidas técnicas	87
7.2. Medidas comportamentais	88
8. CONCLUSÃO	89
BIBLIOGRAFIA	91
A.PLANTAS DOS PISOS	i
B.ESQUEMA DOS PISOS NA SIMULAÇÃO	v
C.ILUMINAÇÃO	xi
D.EQUIPAMENTOS.....	xix

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1-1 Zonas climáticas de Inverno e de Verão para Portugal Continental (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro)	6
Figura 2.1-2 Radiação solar incidente na fachada de um edifício de acordo com a sua orientação (Luz, 2010)	7
Figura 2.2.1-1 Perda de calor de acordo com o tipo de vidro (Vidraria FOCO, 2014) ..	10
Figura 2.3-1 Cronologia da retirada das várias lâmpadas incandescentes do mercado Europeu	13
Figura 2.3-2 Eficiência e vida útil dos vários tipos de lâmpadas	15
Figura 4.1-1 Programas aprovados pela norma ASHRAE e respetivas organizações responsáveis (ASHRAE, 2014).	27
Figura 4.2-1 Criação de novo projeto	28
Figura 4.2-2 Várias componentes da janela principal do programa DesignBuilder	29
Figura 4.2-3 Hierarquia de dados do DesignBuilder	30
Figura 4.3-1 Estrutura do funcionamento do EnergyPlus (EnergyPlus, 2013)	32
Figura 5.2-1 Edifício da Escola Superior de Educação de Bragança	37
Figura 5.2.1-1 Estrutura da parede exterior.....	39
Figura 5.2.2-1 Perfil de utilização típico do edifício para um dia útil	41
Figura 5.2.5.1-1 Caldeira e queimador da central térmica I.....	49
Figura 5.2.5.1-2 Central térmica II	50
Figura 5.2.5.1-3 Unidade de tratamento de ar do anfiteatro.....	51
Figura 5.2.5.1-4 Caldeiras para o aquecimento de água quente sanitária	52
Figura 5.2.5.1-5 Sistema termodinâmico presente no edifício	53
Figura 5.3.1.1-1 Esquema elétrico simples	54
Figura 5.3.1.2-1 Conjunto de inversores SMC 5000A do edifício em estudo	55
Figura 5.3.1.2-2 Sistemas fotovoltaicos instalados na cobertura (VERCAMPUS, 2014)	55
Figura 5.3.1.3-1 Banco de condensadores instalados para corrigir o fator de potência .	56
Figura 5.3.2-1 Esquema de alimentação da rede de distribuição de gás.....	58
Figura 5.5-1 Representação geométrica exterior do modelo de simulação.....	65
Figura 5.5-2 Zoneamento do piso 0	66

Figura 5.5-3 Exemplo de definição de soluções construtivas	66
Figura 5.5-4 Resultado da visualização 3D do modelo e das sombras para o dia 15 de Outubro	67
Figura 0-1 Planta do piso cave	i
Figura 0-2 Planta do piso 0.....	ii
Figura 0-3 Planta do piso 1.....	iii
Figura 0-4 Planta do piso 2.....	iv
Figura 0-1 Zoneamento do piso cave.....	v
Figura 0-2 Zoneamento do piso 0.....	vi
Figura 0-3 Zoneamento do piso 1.....	vii
Figura 0-4 Zoneamento do piso 2.....	viii
Figura 0-5 Zoneamento do piso 2 continuação	ix
Figura 0-6 Zoneamento do piso 2 finalização	x

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1.4-1: Consumos de energia a considerar no IEEs e no IEEt (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro)	23
Tabela 3.1.4-2 Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio e serviços de acordo com o tipo e situação do edifício adaptado (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro).....	24
Tabela 3.1.4-3 Forma de cálculo do IEE_s para efeitos de classificação energética de pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços	25
Tabela 3.1.4-4 Intervalos de valor de R_{IEE} para determinação da classe energética para pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços	25
Tabela 5.2-1 Área dos diversos pisos do edifício em estudo	37
Tabela 5.2-2 Principais espaços do edifício por piso do edifício	38
Tabela 5.2.1-1 Coeficientes de transmissão térmica das paredes interiores	39
Tabela 5.2.1-2 Coeficientes de transmissão térmica das coberturas.....	40
Tabela 5.2.3-1 Densidade luminosa por zona da simulação, por piso	42
Tabela 5.2.3-2 Quantidade de lâmpadas por potência e piso	43
Tabela 5.2.4-1 Densidade de equipamentos por zona da simulação e por piso	46
Tabela 5.2.5.1-1 Características da caldeira e queimador presentes na central térmica I	48
Tabela 5.2.5.1-2 Características da caldeira e queimador presentes na central térmica II	49
Tabela 5.2.5.1-3 Características das caldeiras para o aquecimento de água quente sanitária	51
Tabela 5.2.5.1-4 Características do sistema termodinâmico existente	52
Tabela 5.3.1.1-1 Características dos transformadores	54
Tabela 5.3.1.3-1 Fator de potência e energia reativa faturada em 2013	57
Tabela 5.4.1-1 Consumos e custos de energia de 2010 a 2013	59
Tabela 5.4.1-2 Produção do sistema solar fotovoltaico presente no edifício em estudo	60
Tabela 5.4.3-1 Emissão de dióxido de carbono de 2010 a 2013	62
Tabela 5.4.4-1 Indicador de eficiência energética de 2010 a 2013	63

Tabela 5.4.4-2 Comparação do indicador de eficiência energética do edifício em estudo com a Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança	64
Tabela 6.1-1 Consumos globais faturados e consumos globais previstos pela simulação	69
Tabela 6.2-1 Necessidades de aquecimento por piso.....	72
Tabela 6.2-2 Necessidade de aquecimento por área	72
Tabela 6.2-3 Necessidades de aquecimento por zona.....	73
Tabela 6.5-1 Ganhos internos por piso em relação à iluminação, equipamentos e ocupação	79
Tabela 6.5.1-1 Ganho solar por piso, considerando a área	81
Tabela 6.5.1-2 Rácio de janela/parede de acordo com a orientação.....	82
Tabela 6.6-1 Consumo estimado por piso relativo aos equipamentos e à iluminação ...	84
Tabela 6.7-1 Rácio de classe energética	86
Tabela 0-1 Iluminação presente no piso cave.....	xi
Tabela 0-2 Iluminação presente no piso 0.....	xi
Tabela 0-3 Iluminação presente no piso 1.....	xv
Tabela 0-4 Iluminação presente no piso 2.....	xvi
Tabela 0-1 Equipamentos presentes no piso cave	xix
Tabela 0-2 Equipamentos presentes no piso 0	xix
Tabela 0-3 Equipamentos presentes no piso 1	xxiii
Tabela 0-4 Equipamentos presentes no piso 2	xxv

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1-1 Evolução da dependência energética na União Europeia e Portugal de 1998 a 2012 (eurostat, 2014).....	2
Gráfico 5.2.3-1 Percentagem de lâmpadas por piso	44
Gráfico 5.2.3-2 Percentagem de lâmpadas no total do edifício de acordo com a sua potência	44
Gráfico 5.4.1-1 Consumos elétricos mensais de 2013	60
Gráfico 5.4.2-1 Consumo mensal gás natural em 2013	61
Gráfico 6.2-1 Temperatura do ar interno, radiante e operativa para o edifício em estudo para o dia com condições climatéricas extremas	70
Gráfico 6.2-2 Transferência de energia de todo o edifício.....	71
Gráfico 6.2.1-1 Necessidades mensais de aquecimento e respetivas temperaturas do bolbo seco	74
Gráfico 6.2.1-2 Necessidades diárias de aquecimento.....	74
Gráfico 6.4-1 Balanço energético anual dos vários elementos da envolvente	76
Gráfico 6.4-2 Balanço energético mensal dos vários elementos da envolvente.....	77
Gráfico 6.4-3 Variação mensal da temperatura do bolbo seco.....	77
Gráfico 6.5-1 Ganhos internos de todo o edifício em relação à iluminação, equipamentos, ocupação e ganhos solar.....	78
Gráfico 6.5.1-1 Ganhos solares mensais dos envidraçados interiores e exteriores	80
Gráfico 6.5.1-2 Percentagem de ganhos solares por piso	80
Gráfico 6.6-1 Consumos obtidos com a simulação de energia elétrica e de gás natural	82
Gráfico 6.6-2 Consumo de energia estimado pela simulação por setor.....	83
Gráfico 6.6-3 Consumo estimado em percentagem por setor	84
Gráfico 6.6.1-1 Emissões mensais de dióxido de carbono.....	85

ABREVIATURAS

ASHRAE: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis
Computer Programs

AVAC: Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CO₂: Dióxido de carbono

ESE: Escola Superior de Educação de Bragança

ESTIG: Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança

IEE: Indicador de eficiência energética

IPB: Instituto Politécnico de Bragança

LED: Díodo emissor de luz

PQ: Peritos qualificados

Pt: Posto de transformação

SCE: Sistema Nacional de Certificação Energética

TIM: Técnicos de instalação e manutenção

U_{global}: Condutibilidade térmica

U-value: Índice de condutibilidade térmica

RCCTE: Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS: Regulamento de Desempenho energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH: Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE: Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

R_{total}: Resistência térmica

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Com o desenvolvimento da sociedade há um crescimento do consumo energético a nível mundial, de modo a dar resposta às crescentes necessidades energéticas do Homem. Com as crises petrolíferas da década de 70, pela primeira vez surgiu a necessidade de controlar os gastos energéticos e posteriormente surgiram as preocupações ambientais. Contudo a maioria dos países é dependente energeticamente dos países produtores dos combustíveis fósseis, e assim ficam sujeitos à oscilação dos preços e a crises políticas que podem colocar em causa o fornecimento dos mesmos.

A União Europeia é dependente de terceiros, apesar de tomar medidas para impulsionar a aposta nas fontes renováveis de energia e tornar cada vez mais eficiente os sistemas técnicos utilizados. Verifica-se que de 1999 a 2006 a dependência energética da União Europeia aumentou de 45.1% para 53.8 %, de acordo com Gráfico 1.1-1. No período de 2007 a 2012 há pequenas oscilações entre o aumento e a redução da sua dependência energética.

No caso de Portugal a situação é mais drástica do que a média da União Europeia, pois a dependência energética de 1998 a 2010 foi sempre superior a 80%, atingindo o pico em 2005 com valores na ordem dos 89%. De 2010 a 2012 pela primeira vez Portugal reduz a sua dependência energética abaixo dos 80% mas tem um comportamento oscilatório, com períodos que reduz as importações e depois com anos que aumenta.

Dependência energética (%)

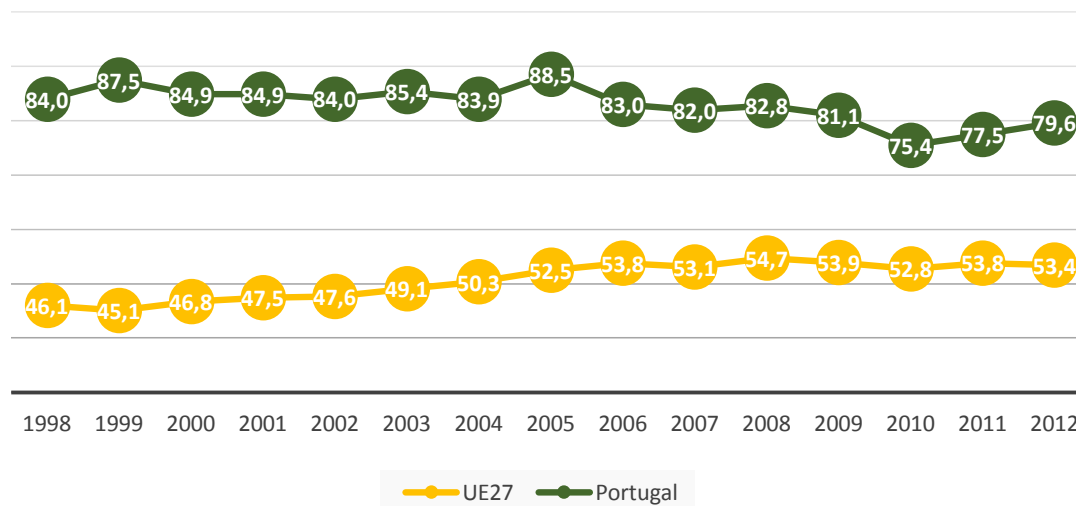


Gráfico 1.1-1 Evolução da dependência energética na União Europeia e Portugal de 1998 a 2012 (eurostat, 2014)

Dada a situação da Europa é necessário reverter esta situação e para tal há que fazer uma aposta crescente na produção de energia através de fontes renováveis e apostar na eficiência energética. Entende-se por eficiência energética a otimização do consumo de energia, isto é, para produzir uma unidade de trabalho ou serviços gasta-se menos energia, tornando os países mais competitivos.

O setor dos edifícios é responsável por cerca de 40% do consumo de energia final na Europa, contudo este valor pode ser reduzido em 50% com a aplicação de medidas de eficiência energética, traduzindo-se numa redução anual de 400 milhões de toneladas de dióxido de carbono. De modo a ser possível atingir essa redução significativa do consumo de energia, a Europa têm promovido várias medidas com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios (ADENE, 2014).

É deste contexto que surge a Diretiva nº 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, e que posteriormente foi atualizada para a Diretiva nº 2010/31/EU.

Em 2012 os edifícios em Portugal representavam cerca de 28% dos consumos globais do país, ainda que inferior à média europeia (40%), contudo a tendência é de este valor aumentar como consequência da procura de melhores condições de conforto térmico e pelo aumento de equipamentos domésticos muitos deles de fraca eficiência energética. Não é suficiente gerir o consumo de energia do ponto de vista de utilizar equipamentos mais eficientes, mas também é necessário fazer uma análise energética às características térmicas do edifício, resultantes da sua localização e envolvente, que influenciam as necessidades energéticas principalmente a nível de climatização (Direcção Geral de Energia e Geologia, 2014).

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é efetuar uma análise energética detalhada de um edifício, neste caso, a Escola Superior de Educação do IPB, respeitando a legislação nacional. Para efetuar a análise energética pretende-se utilizar um software acreditado pela norma ASHRAE , *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*, e pela legislação portuguesa, neste caso foi escolhido o EnergyPlus com o interface gráfico DesignBuilder. Esta ferramenta utiliza cálculo dinâmico, o que permite determinar de um modo rigoroso o comportamento térmico do edifício.

Com o uso da ferramenta de análise dinâmica DesignBuilder irão realizar-se diversas simulações de modo a avaliar as necessidades energéticas do edifício. A metodologia utilizada consiste na recolha de dados a nível das características da envolvente e de todas as cargas elétricas e térmicas presentes no edifício, e posterior construção do modelo em DesignBuilder. Após a construção do modelo é feita a sua validação com a utilização das faturas energéticas do gás natural e da eletricidade referentes ao ano de 2013.

Por último, pretende-se avaliar possíveis medidas de melhoramento energético para o edifício em estudo.

1.3. Estrutura do documento

O presente documento é dividido em vários capítulos de modo a permitir a compreensão dos principais conceitos teóricos relacionados com a eficiência energética em edifícios e posteriormente uma análise dos resultados e sugestão de medidas de melhoramento do desempenho energético do edifício. Assim a dissertação possui a seguinte estrutura:

- Capítulo 1: enquadramento da temática em estudo e definição dos objetivos;
- Capítulo 2: apresentação de conceitos teóricos relativos à eficiência energética em edifícios e o seu impacto nos edifícios, nomeadamente a radiação solar, características dos envidraçados, isolamento térmico, coberturas e pavimentos e por último descrição dos diferentes tipos de lâmpadas e a sua eficiência luminosa;
- Capítulo 3: descrição da legislação mais importante aplicada na Comunidade Europeia e a sua transposição para Portugal, no âmbito da eficiência energética dos edifícios. Metodologia atual para calcular o indicador de eficiência energética;
- Capítulo 4: definição de simulação dinâmica a contextualização da utilização do programa utilizado com a norma ASHRAE 140. Descrição do interface DesignBuilder e software EnergyPlus tal como a metodologia de cálculo utilizada por este;
- Capítulo 5: Apresentação do edifício em estudo e de todas as suas características desde a envolvente, iluminação, ocupação, equipamentos, sistemas de climatização e caracterização das infraestruturas energéticas a nível do sistema de alimentação e distribuição de energia elétrica e consumos e custos das fontes fósseis utilizadas;
- Capítulo 6: análise detalhada dos resultados obtidos com a simulação dinâmica;
- Capítulo 7: medidas de melhoramento do desempenho energético do edifício em estudo;
- Capítulo 8: apresentação das principais conclusões.

2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS

As características construtivas dos edifícios têm um grande impacto nas condições de conforto térmico interior. Caso um edifício seja construído sem ter em atenção as condições climáticas do local não pode ser considerado um edifício eficiente na utilização de energia. Em Portugal nas últimas décadas as questões de conforto térmico têm sido resolvidas com sistemas de climatização, o que tem como consequência os elevados custos de climatização nas despesas das famílias (Isolani, 2008).

O setor residencial, em Portugal, com cerca de 3.3 milhões de edifícios, contribuiu com 29% do consumo de eletricidade, o que manifesta a necessidade de tomar medidas para evitar que o consumo energético por parte deste setor continue a aumentar. Alguns motivos para o crescente aumento do consumo de energia no setor residencial são a utilização de maior número de equipamentos e procura de maior conforto térmico (ADENE, 2010).

O conforto de um edifício fica comprometido por vários fatores, tais como vãos envidraçados e isolamentos inadequados ou insuficientes, ou seja, as características arquitetónicas e construtivas têm uma grande influência nas condições de conforto.

2.1. A radiação solar e os edifícios

As variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios em termos de transferência de calor são a temperatura do ar exterior e a radiação solar. A temperatura do ar determina o estabelecimento de trocas de calor entre o interior e o exterior dos edifícios. No inverno a temperatura exterior é baixa, ou seja, há perdas térmicas do interior para o exterior, no verão acontece o oposto, isto é, há uma entrada de calor nos edifícios.

Em relação à radiação solar esta desempenha um papel fundamental como fonte de calor para aumentar a temperatura interior no inverno. No verão é uma fonte de calor a evitar de modo a impedir o aumento da temperatura interior nos edifícios. A energia solar depende de dois fatores: a trajetória do Sol e a duração da exposição solar (Isolani, 2008).

A localização do edifício é importante no que respeita às necessidades térmicas do edifício. Em Portugal estão definidas três regiões climáticas para o inverno e outras três para o verão de acordo com a Figura 2.1-1. As zonas classificadas como I1 correspondem aos locais com menores necessidades de aquecimento no período de inverno, por sua vez I3 significa zonas com menores temperaturas externas o que traduz-se em maiores necessidades de aquecimento. No caso do verão as zonas classificadas como V1 tem menores necessidades de arrefecimento e por sua vez as V3 são as zonas com maior consumo energético em relação às necessidades de arrefecimento.

Para além de verificar a zona climática, é necessário ter em atenção se o edifício está localizado num espaço com boa ventilação natural mas sem estar sujeito a ventos fortes.

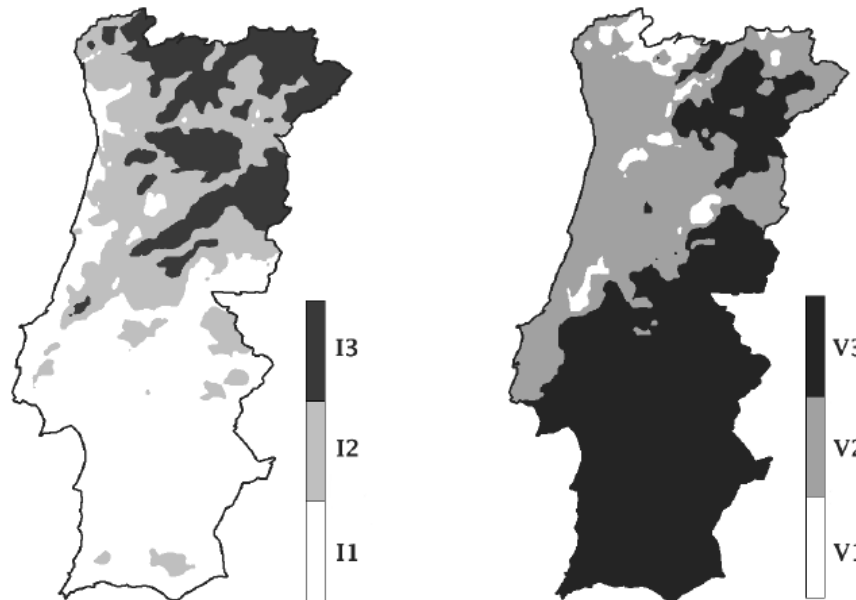


Figura 2.1-1 Zonas climáticas de Inverno e de Verão para Portugal Continental (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro)

A capacidade de um edifício captar a radiação solar nos períodos com maior necessidade de energia, ou seja, no Inverno e de ter menor superfície exposta à radiação solar quando existe a necessidade de dissipar o calor, ou seja, no verão, determina o conforto térmico do edifício e os respetivos gastos energéticos. Como estas condições são opostas acontece que muitos dos edifícios são eficientes apenas em uma estação, mas é possível projetar um edifício para ter um bom desempenho tanto no verão como no inverno (Isolani, 2008).

Consoante o clima local pode-se optar por privilegiar uma das estações do ano, por exemplo o caso de um edifício situado num clima muito frio, pode-se concentrar os esforços na eficiência do edifício durante o inverno.

É preferível que a exposição solar das superfícies a este e oeste seja reduzida, pois são as orientações mais irradiadas durante o verão e a entrada de radiação solar é difícil de controlar, uma vez que é perpendicular às janelas. Para reduzir o impacto do frio no inverno é recomendável reduzir as paredes e janelas orientadas para norte e aumentar as que estão orientadas para sul, assim a fachada norte do edifício deve conter divisões que necessitam de aberturas reduzidas para o exterior como por exemplo arrumos, de modo a reduzir as perdas térmicas no inverno, de acordo com a Figura 2.1-2 (Isolani, 2008).

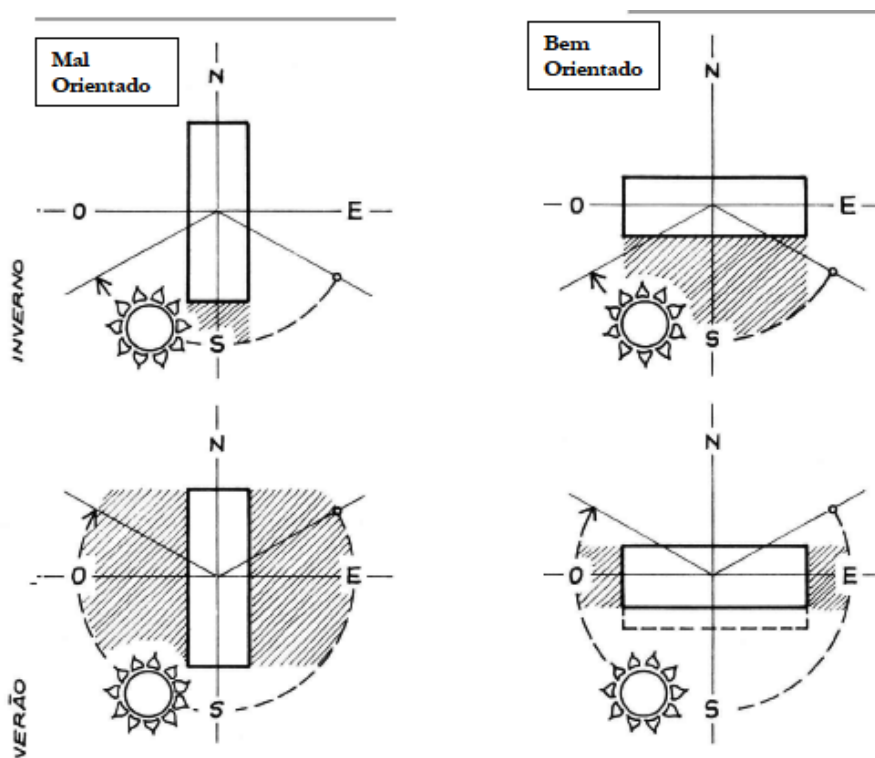


Figura 2.1-2 Radiação solar incidente na fachada de um edifício de acordo com a sua orientação (Luz, 2010)

Além da localização e orientação do edifício, a forma também é um fator importante no que respeita às perdas de calor do edifício, geralmente as estruturas compactas e com formas arredondadas têm menos perdas de energia do que formas com várias cavidades

recolhidas ou salientes. A orientação das paredes e janelas influencia os ganhos ou perdas de calor, em zonas mais frias as paredes de maiores dimensões, superfícies envidraçadas devem estar orientadas a sul e sudoeste. Em zonas quentes devem ser orientadas a norte (ADENE, 2010).

2.2. Características da construção

O aumento da população e da urbanização requerem infraestruturas cada vez mais sustentáveis, aliado à crescente procura de conforto tanto em países industrializados como em países em desenvolvimento, o que conduz ao aumento da procura de soluções energeticamente eficientes. A eficiência energética dos edifícios, isto é, produzir o máximo conforto aos utilizadores sem depender de elevadas quantidades de energia tem ganho destaques nos últimos anos dado as poupanças energéticas que é possível atingir.

A qualidade térmica do edifício também depende das características dos elementos que fazem fronteira entre o edifício e o ambiente exterior, isto é, fachadas, janelas e telhados. Pode-se tomar várias medidas no setor da eficiência energética dos edifícios tais como a escolha adequada de materiais de construção, aproveitamento de fontes de energias renováveis e técnicas passivas de ventilação.

2.2.1. Envidraçados

Os envidraçados podem contribuir para a entrada de calor sem custos, por outro lado são um meio de dissipação de calor se não forem construídos e montados de uma forma correta. A intervenção a nível das janelas deve reduzir as infiltrações de ar não-controladas, aumentar os ganhos solares no inverno, proteger da radiação solar no período mais quente e melhorar as condições de ventilação natural (Isolani, 2008).

Estima-se que entre 25 a 30% das necessidades de aquecimento de um edifício são devidas a perdas de calor com origem nos envidraçados. Os fatores mais importantes na avaliação das janelas são a área da superfície envidraçada, tipo de vidro utilizado e tipo de caixilharia (ADENE, 2010).

O dimensionamento adequado dos envidraçados em função da orientação solar contribui consideravelmente para o conforto térmico dos edifícios. No período mais quente não é

desejável ter elevados ganhos solares, enquanto no inverno o oposto é o desejável, a orientação dos envidraçados do edifício a sul é a mais benéfica. Os vãos envidraçados orientados a sul permitem uma entrada da radiação solar durante o período em que o sol está mais baixo (inverno) e elimina a entrada dos raios solares quando está mais alto (verão) (Construção Sustentável, 2014).

Os vãos envidraçados orientados a sul devem sempre conter sistemas de sombreamento exterior, de modo a permitir controlar o grau de luminosidade. Os vãos envidraçados orientados a norte são importantes no balanço energético do edifício, porque são áreas com elevadas perdas energéticas, mas permitem uma ventilação natural e iluminação interior eficaz (Construção Sustentável, 2014).

As claraboias, colocadas no plano horizontal são responsáveis por elevados ganhos solares na estação mais fria, porém a sua utilização em Portugal possui algum risco, porque os raios solares são demasiado intensos durante muitos dias do ano, o que pode resultar em sobreaquecimento. O sobreaquecimento é o principal risco da utilização de claraboias mas pode ser eliminado com uma correta ventilação natural, da qualidade do vidro duplo aplicado ou mesmo de sistemas de sombreamento exterior.

O tipo de vidro utilizado também influencia as trocas de calor, as janelas que contém vidros duplos têm uma maior capacidade de isolamento do que os vidros simples, pois o espaço existente entre os dois vidros serve para reduzir a perda de calor. De um modo geral quanto maior este espaço mais isolante é o vidro (Isolani, 2008). O tipo de vidro influencia o valor de U, índice de condutibilidade térmica, no caso de um vidro duplo tradicional este valor é menos de metade em relação a um vidro simples, de acordo com a Figura 2.2.1-1.



Figura 2.2.1-1 Perda de calor de acordo com o tipo de vidro (Vidraria FOCO, 2014)

As caixilharias das janelas são fundamentais para a dissipação de calor. As caixilharias em madeira ou alumínio com corte térmico apresentam as melhores propriedades térmicas. Caso a caixilharia de alumínio não disponha de corte térmico o seu uso só é adequado caso exista uma barreira que impeça a passagem de calor (ADENE, 2010).

2.2.2. Isolamento térmico

O isolamento térmico adequado permite minimizar as trocas térmicas excessivas entre o interior e o exterior de um edifício, ou seja, reduzir as perdas de calor no inverno e o sobreaquecimento interior no verão, o que conduz a uma redução dos custos associados ao aquecimento e arrefecimento. Existem vários tipos de materiais e técnicas de isolamento e a sua escolha é feita tendo em conta o clima da zona e de possíveis restrições de construção (EcoCasa, 2014).

Os materiais de isolamento térmico devem apresentar um baixo U-value e são normalmente materiais porosos e de baixa densidade, como o aglomerado de cortiça, espuma de poliuretano, lã de rocha, lã de vidro, poliestireno expandido (esferovite) e poliestireno extrudido (EcoCasa, 2014).

O isolamento térmico pode ser aplicado pelo interior das paredes da envolvente de um edifício, ou colocado na caixa-de-ar entre paredes duplas ou ainda ser assente pelo exterior de um edifício, sendo útil em qualquer destas aplicações, mas o isolamento

térmico pelo exterior do edifício é o que tem uma maior eficácia (Construção Sustentável, 2014).

O isolamento térmico pelo interior consiste na colagem do material de isolamento em placas na parte interior da parede, e não é necessário mão-de-obra especializada. Este tipo de isolamento é utilizado em casos pontuais, como por exemplo revestir uma parede orientada a norte. O isolamento pode ser revestido com placas de gesso cartonado, sobre o qual é aplicado o acabamento final da parede interior. A utilização de isolamento pelo interior apenas elimina as pontes térmicas em pilares (Isolani, 2008).

Em relação ao isolamento térmico colocado na caixa-de-ar, como o próprio nome indica a caixa-de-ar da parede é preenchida com isolamento térmico, normalmente é aplicada uma espuma e apresenta custos médios e um isolamento eficaz. Deve ter-se em atenção que os materiais utilizados não produzem fumos tóxicos.

Por último o isolamento térmico aplicado de forma contínua pelo exterior do edifício, isto é, pavimento térreo, paredes envolventes e coberturas, permite otimizar o desempenho energético do edifício. Este isolamento elimina as pontes térmicas e todos os materiais constituintes da envolvente são protegidos das variações de temperatura e condições climáticas adversas o que garante uma maior longevidade e integridade física dos materiais de construção, evitando a criação de fissuras e absorção de água.

O isolamento térmico aplicado de forma contínua e pelo exterior pode ser aplicado na reabilitação de edifícios, como o sistema é aplicado pelo exterior apenas é necessário garantir que o isolamento adira à superfície exterior existente (Construção Sustentável, 2014).

2.2.3. Coberturas e pavimentos

As coberturas são as superfícies da envolvente com maiores perdas de energia, por isso é fundamental a existência de isolamento térmico. No caso de coberturas horizontais o isolamento térmico deve ser feito sob a forma de placas e é aplicada sobre a impermeabilização da laje de betão e protegido pela aplicação de uma proteção pesada. No caso de uma cobertura inclinada o isolamento exterior deve, caso seja possível, ser colocado sob o telhado e sobre a impermeabilização da laje. Neste tipo de cobertura

também é possível fazer o isolamento pelo interior, em que o material isolante é colado sobre a estrutura do telhado inclinado.

A intervenção ao nível dos pavimentos é importante quando estes estão em contacto direto com o exterior ou com espaços interiores não aquecidos. O isolamento térmico é aplicado sobre a laje de fundo, o sistema de aplicação é simples e não é facilmente inflamável (Isolani, 2008).

2.3. Iluminação

Para conseguir uma boa iluminação há que analisar as necessidades de luz em cada uma das zonas do edifício, pois nem todos os espaços requerem a mesma luminosidade, nem o mesmo tempo e intensidade. Em relação à iluminação de um edifício esta pode ser conseguida com recurso à utilização da iluminação natural ou de iluminação artificial. A captação de iluminação natural nos edifícios tem ganho destaque nos últimos anos de modo a dar uma resposta ao elevado consumo por parte dos edifícios. A iluminação artificial por sua vez é um importante fator associado ao consumo energético de um edifício pois se esta não for utilizada corretamente existem gastos desnecessários.

Este é um setor que evoluiu rapidamente nos últimos anos e atualmente há uma grande variedade de opções no mercado para dar resposta às necessidades energéticas relativas à iluminação. Um fator importante na escolha de uma lâmpada é eficiência energética ou eficiência luminosa, isto é, a quantidade de luz emitida por unidade de potência elétrica consumida, e mede-se em “lumens por watt” e permite comparar a eficiência de diferentes fontes de luz (ADENE, 2010).

Os principais tipos de lâmpadas para uso em edifícios de serviços são as lâmpadas incandescentes, lâmpadas de halogéneo, lâmpadas fluorescentes e de díodo emissor de luz (LED).

A lâmpadas incandescente utilizam um fio de tungsténio que ao passar corrente elétrica no filamento torna-se incandescente e começa a emitir luz, este tipo de lâmpadas apesar de ser muito utilizado é pouco eficiente. Com este tipo de funcionamento apenas 5% da energia consumida é convertida em luz a restante é desperdiçada para o meio ambiente sob a forma de calor.

Como consequência da sua baixa eficiência energética quando comparada com os outros tipos de lâmpadas presentes no mercado, a União Europeia aprovou uma Diretiva em 2009 com o objetivo de retirar gradualmente as lâmpadas incandescentes do mercado respeitando a cronologia presente na Figura 2.3-1 (Comissão Europeia, 2014).

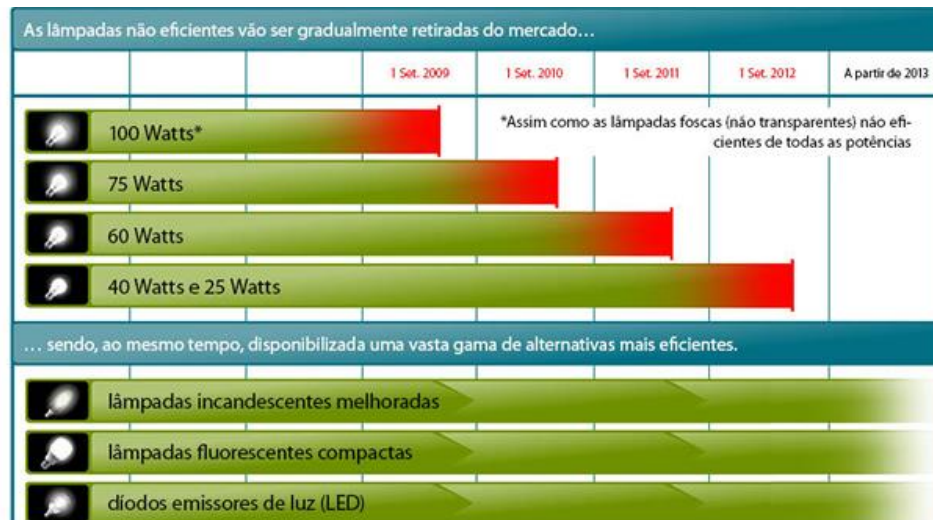


Figura 2.3-1 Cronologia da retirada das várias lâmpadas incandescentes do mercado Europeu

As lâmpadas de halogéneo tal como as lâmpadas incandescentes clássicas são radiadores de temperatura, ou seja, criam luz através da corrente que passa no filamento de tungsténio, em que partes do filamento evaporam durante o processo. Estas são preenchidas com gases inertes e halogéneo que captura os átomos de tungsténio e são transportados de novo para o filamento, este processo designado por ciclo de halogéneo repete-se durante o período de funcionamento da lâmpada (OSRAM, 2014).

O ciclo de halogéneo permite com que as lâmpadas sejam mais compactas do que as incandescentes clássicas, resultando num aumento considerável na qualidade da luz e na vida útil da lâmpada. As principais vantagens deste tipo de lâmpada são o período de vida até 5000 horas de utilização, luz de efeito brilhante, eficiência luminosa de até 25 lm/W (OSRAM, 2014).

Por sua vez as lâmpadas fluorescentes contêm no seu interior vapor de mercúrio e gases. Com a passagem de corrente elétrica, os eletrões chocam com os átomos de mercúrio, e a energia resultante desse choque é transferida para o mercúrio, que emite energia na

forma de radiação ultravioleta. Esta radiação ultravioleta é transformada em luz visível pela camada fluorescente.

As lâmpadas fluorescentes podem ser classificadas de acordo com o seu formato em tubulares ou em compactas. As lâmpadas fluorescentes tubulares são muito utilizadas, pois apresentam um baixo consumo energético e são adequadas para locais com necessidades de iluminação de longa duração. O funcionamento de uma lâmpada fluorescente depende de um balastro que estabilize a corrente da tensão da rede e de um arrancador que forneça o pico de corrente necessário ao acendimento da lâmpada, sendo que a utilização de balastros ferromagnéticos acresce perdas de cerca de 20% aos sistemas de iluminação. Este tipo de lâmpadas tem um período de vida de cerca de 12 000 horas e permitem economizar até 85% de energia quando comparadas com as lâmpadas incandescentes.

As lâmpadas fluorescentes compactas foram desenvolvidas para substituir as vulgares lâmpadas incandescentes e apresentam as mesmas vantagens que as lâmpadas fluorescentes tubulares. A sua instalação é compatível com os casquilhos tradicionais usados para as lâmpadas incandescentes (EcoCasa, 2014).

Por último os LED é um componente eletrónico semicondutor, que quando é fornecida corrente elétrica ao LED os eletrões deslocam-se através do semicondutor produzindo luz. Enquanto a lâmpada incandescente converte apenas 5% da energia elétrica que consome em luz, o LED pode converter até 40% da energia elétrica consumida. Este tipo de lâmpada também tem um período de vida bastante longo e são bastante eficientes, pois a poupança de energia pode atingir os 80% quando comparado com as lâmpadas incandescentes clássicas (OSRAM, 2014).

Na Figura 2.3-2, verifica-se a eficiência e a vida útil dos vários tipos de lâmpadas anteriormente descritos. A eficiência é em lm/W e a vida útil em mil horas, verifica-se que a lâmpadas incandescente em média possui um eficiência de 12 lm/W e funcionam cerca de 1000 horas, estes valores aumentam para cerca de 60 a 100 lm/W e 7 a 10 mil horas de funcionamento para a lâmpada fluorescente tubular.



Figura 2.3-2 Eficiência e vida útil dos vários tipos de lâmpadas

3. LEGISLAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS

O Parlamento Europeu e Conselho considerando que o aumento de eficiência energética era uma parte importante do pacote de políticas necessárias ao cumprimento do Protocolo de Quioto, criou em 2002 a primeira Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios. De acordo com o Artigo 1.º da Diretiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002, esta Diretiva tem como objetivos:

- Metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético de novos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação;
- Certificação energética dos edifícios;
- Inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e avaliação de caldeiras que tenham mais de 15 anos.

A Diretiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro, estabelecia que todos os Estados Membros da União Europeia deviam implementar um sistema de certificação energética com o propósito de informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, assim Portugal transpôs esta Diretiva para legislação nacional com o Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, criando o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

O SCE tinha como finalidades de acordo com o Artigo 2.º do Decreto-Lei nº78/2006 de 4 de Abril:

- Assegurar a aplicação regulamentar no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis, e ainda às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências contidas no

Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);

- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado.

Com esta legislação, o RCCTE estabelecia os requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e para pequenos edifícios de serviços, nomeadamente ao nível das características construtivas do edifício, tentando limitar as perdas térmicas. Para os grandes edifícios de serviços e de habitação com sistemas de climatização o RSECE estabelecia os requisitos mínimos. De referir que este regulamento também abordava a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios e a qualidade do ar interior.

Com o passar do tempo surgiu a necessidade de introduzir novos conceitos e alterações substanciais e assim a Diretiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro foi substituída pela Diretiva 2010/31/EU de 19 de Maio de 2010, em que de acordo com o Artigo 1.º a Diretiva estabelece requisitos no que se refere:

- Metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e frações autónomas;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios e das frações autónomas novas;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios existentes, frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações;

- Aplicação de requisitos mínimos para elementos construtivos da envolvente dos edifícios e sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou este for melhorado;
- Aos planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- À certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;
- Inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios.

De acordo com a Diretiva 2010/31/EU de 19 de Maio de 2010, entende-se que um edifício com necessidades quase nulas de energia é um edifício com um elevado desempenho energético e que as necessidades de energia quase nulas deverão ser suprimidas por energia proveniente de fontes renováveis.

A Diretiva 2010/31/EU foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, que transformou os três diplomas anteriormente existentes apenas num único diploma 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).

A separação clara de aplicação do REH e RECS, passando a incidir exclusivamente sobre os edifícios de habitação e sobre os edifícios de comércio e serviços, respetivamente, facilita o tratamento técnico e a gestão administrativa dos processos. Com esta nova legislação o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas assumem uma posição de destaque para os edifícios de habitação, aos quais acrescem instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos para os edifícios de comércio e serviços.

O Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto define que os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis ficam sujeitos a parâmetros mínimos de eficiência energética.

3.1.1. Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

São abrangidos pelo SCE, os edifícios ou frações novos ou sujeitos a grande intervenção nos termos do REH e RECS. As frações que não estejam constituídas como fração autónoma só são abrangidas pelo SCE a partir do momento em que seja dada em locação. São também abrangidos pelo SCE todos os edifícios ou frações existentes de comércio e serviços:

- Com área interior útil de pavimento igual ou superior a 1000 m² ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas;
- Que sejam propriedade de uma entidade pública e tenham área interior útil de pavimento ocupada por uma entidade pública e frequentemente visitada pelo público superior a 500 m² ou a partir de 1 de Julho de 2015 superior a 250 m².

São ainda abrangidos todos os edifícios ou frações existentes a partir do momento da sua venda, dação em cumprimento, salvo nos casos:

- Venda ou dação em cumprimento a comproprietário, a locatário, em processo executivo, a entidade expropriante ou para demolição total confirmada pela entidade competente;
- Locação do lugar de residência habitual do senhorio por prazo inferior a quatro meses;
- Locação a quem seja já locatário da coisa locada.

No âmbito da certificação são considerados o pré-certificado e o certificado. O pré certificado é emitido em fase de projeto antes do início da construção de novos edifícios ou frações ou grande intervenção de edifícios ou frações já existentes. O certificado é o documento com número próprio, emitido por um perito qualificado para a certificação energética para um edifício ou fração, caracterizando-o em termos de desempenho energético.

O pré-certificado converte-se em certificado SCE aquando da conclusão da obra e mediante a apresentação de termo de responsabilidade do autor do projeto e do diretor

técnico atestando que a obra foi realizada de acordo com o pré-certificado. Os pré-certificados têm uma validade de 10 anos tal como os certificados SCE. No caso dos certificados SCE para grandes edifícios de comércio e serviços tem uma validade de seis anos.

Os técnicos do SCE são os peritos qualificados (PQ) e os técnicos de instalação e manutenção (TIM), que tem competências distintas. Compete aos PQ fazer a avaliação energética dos edifícios e certificar no âmbito do SCE, não comprometendo a qualidade do ar interior, identificar as oportunidades e recomendações de melhoria de desempenho energético, emitir os pré certificados e certificados SCE e verificar e submeter ao SCE o plano de racionalização energética. Aos TIM compete coordenar as atividade de planeamento, verificação, gestão de utilização de energia, instalação e manutenção relativo a edifícios e sistemas técnicos.

3.1.2. Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

O REH estabelece os requisitos para os edifícios de habitação novos ou sujeitos a intervenções na envolvente ou nos sistemas técnicos, bem como a metodologia de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, no sentido de promover a melhoria do comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos.

De modo a cumprir os objetivos o REH estabelece os seguintes requisitos a nível do comportamento térmico e da eficiência dos sistemas técnicos:

- Qualidade térmica da envolvente nos novos edifícios e nas intervenções em edifícios existentes, expressos em termos de coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca e de fator solar dos vãos envidraçados;
- Ventilação dos espaços, impondo um valor mínimo no calculo para a taxa de renovação do ar em edifícios novos e respetiva adaptação no caso de intervenções em edifícios existentes;
- Valores de necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício e limites a observar no caso de edifícios novos e de grandes intervenções em edifícios existentes;
- Nível da qualidade, da eficiência e do funcionamento dos sistemas técnicos a instalar nos edifícios;

- Regras para o cálculo do contributo das energias renováveis na satisfação das necessidades energéticas do edifício;
- Valor de necessidades nominais de energia primária do edifício e respetivo limite a observar no caso de edifícios novos e de grandes intervenções.

3.1.3. Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

O RECS estabelece as regras a observar no projeto de construção, alteração, operação e manutenção de edifícios de comércio e serviços e seus sistemas técnicos, bem como requisitos para a caracterização do seu desempenho no sentido de promover a eficiência energética e qualidade do ar interior.

O RECS estabelece requisitos de qualidade térmica da envolvente nos edifícios novos e nas intervenções em edifícios existentes, expressa em termos de coeficiente de transmissão térmica da envolvente e de fator solar dos vãos envidraçados.

Os sistemas técnicos devem ser avaliados e sujeitos a requisitos, tendo como objetivo promover a eficiência energética e a utilização racional de energia, incidindo para esse efeito, nas componentes de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de sistemas de gestão de energia, de energia renováveis, de elevadores e de escadas rolantes, assim a legislação nacional impõe requisitos:

- De conceção e de instalação dos sistemas técnicos nos edifícios novos e de sistemas novos nos edifícios existentes sujeitos a grande intervenção;
- Um IEE (indicador de eficiência energética), para caracterização do desempenho energético dos edifícios e dos respetivos limites máximos no caso de edifícios novos, de edifícios existentes e de grandes intervenções em edifícios existentes;
- A obrigatoriedade de fazer uma avaliação energética periódica dos consumos energéticos dos edifícios existentes, verificando a necessidade de elaborar um plano de racionalização de energética com identificação e implementação de medidas de eficiência energética com viabilidade económica.

Com vista assegurar as condições de bem-estar dos ocupantes são estabelecidos por portaria os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço em função da ocupação, das características do próprio edifício e dos sistemas de climatização, tal como os limiares de proteção para as concentrações de poluentes de ar interior.

3.1.4. Indicador de eficiência e classe energética

O desempenho energético de um edifício de comércio e serviços é aferido pela determinação do seu IEE que de acordo com a Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro, é determinado com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para a energia primária por unidade de área interior útil de pavimento, de acordo com Equação 3.1.4-1.

Equação 3.1.4-1

$$IEE = IEE_s + IEE_t - IEE_{ren}$$

Em que:

- IEE_s , representa os consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, de acordo com a Tabela 3.1.4-1
- IEE_t , representa os consumos de energia que não são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, de acordo com Tabela 3.1.4-1;
- IEE_{ren} , determinado com base na produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis, sendo que apenas é contabilizada a energia elétrica destinada a autoconsumo, e a energia térmica efetivamente utilizada.

Tabela 3.1.4-1: Consumos de energia a considerar no IEEs e no IEEt (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro)

Consumos no IEEs	Consumos no IEEt
<ul style="list-style-type: none"> • Aquecimento e arrefecimento ambiente; • Ventilação e bombagem em sistemas de climatização; • Aquecimento de águas quentes sanitárias e de piscinas; • Iluminação interior; • Elevadores, escadas, tapetes rolantes e iluminação exterior (a partir de 2016). 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilação e bombagem não associada ao controlo de cargas térmica; • Equipamentos de frio; • Iluminação de utilização pontual; • Elevadores, escadas, tapetes rolantes e iluminação exterior (até fim de 2015); • Restantes equipamentos não incluídos em IEEs.

Existem os seguintes tipos de IEE:

- IEE previsto, consumo anual de energia do edifício com base na localização do edifício, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos para o edifício;
- IEE efetivo, consumo anual de energia do edifício, obtido com base no histórico de faturas de energia e/ou considerando os resultados de uma avaliação energética realizado numa base de tempo anual;
- IEE de referência, consumo anual de energia do edifício, caso este fosse dotado de soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e sistemas técnicos, mantendo inalteradas as restantes características do estudo.

Dependendo do tipo de IEE que é necessário determinar pode-se aplicar os seguintes métodos: simulação dinâmica multizona, cálculo dinâmico simplificado e consumo efetivo, de acordo com a Tabela 3.1.4-2.

Tabela 3.1.4-2 Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio e serviços de acordo com o tipo e situação do edifício adaptado (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro).

Tipo de edifício	Método	Novo	Existente	Grande intervenção
Pequeno edifício de comércio e serviços	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	Base	Simulação dinâmica multizona	Consumo efetivo	Simulação dinâmica multizona
	Alternativo	Não aplicável	Simulação dinâmica multizona	Não aplicável

Após determinar o IEE de acordo com um dos métodos anteriormente mencionados é necessário verificar se este respeita os parâmetros regulamentares. Com a determinação do IEE é possível calcular a classe energética de um edifício de comércio e serviços, é necessário utilizar a Equação 3.1.4-2.

$$R_{IEE} = \frac{IEE_s - IEE_{ren}}{IEE_{ref,S}}$$

Equação 3.1.4-2

Em que:

- R_{IEE} rácio de classe energética;
- IEE_s indicador de eficiência energética obtido de acordo com a Tabela 3.1.4-3;
- IEE_{ren} indicador de eficiência energética renovável associado à produção de energia eléctrica a partir de fontes de energias renováveis;
- $IEE_{ref,s}$ indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S.

Tabela 3.1.4-3 Forma de cálculo do IEE_s para efeitos de classificação energética de pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços

Forma de cálculo do IEE_s			
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}

De acordo com o valor de R_{IEE} , determina-se qual a classe energética de acordo com a Tabela 3.1.4-4, para os pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços.

Tabela 3.1.4-4 Intervalos de valor de R_{IEE} para determinação da classe energética para pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro)

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. SIMULAÇÃO DINÂMICA

4.1. Simulação dinâmica

Segundo o Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto, entende-se por simulação dinâmica a previsão de consumos de energia correspondentes ao funcionamento de um edifício e respetivos sistemas energéticos que tome em conta a evolução de todos os parâmetros relevantes com a precisão adequada, numa base de tempo pelo menos horária, para diferentes zonas térmicas e condições climáticas de um ano de referência, ou seja, a simulação dinâmica é um método de análise computacional do perfil e consumos energéticos do edifício.

Para fazer a simulação dinâmica é necessário fazer um levantamento prévio de informação de diversos elementos tais como envolvente, ocupação, sistemas de climatização, iluminação e horários de funcionamento, descritos detalhadamente anteriormente.

A análise energética com base no método de simulação dinâmica multizona deve ser realizada por um programa acreditado pela norma ASHRAE 140, de acordo com a Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro.

A norma ASHRAE especifica os testes que devem ser realizados para avaliar as capacidades técnicas e aplicabilidade de programas de computador que calculam o desempenho térmico dos edifícios e dos seus sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado. Embora estes testes padrão não ensaiem todos os algoritmos de um programa de computador podem ser utilizados para indicar as principais falhas e erros de código (ASHRAE, 2014). Após a avaliação de diversos programas a ASHRAE aprovou os programas presentes na Figura 4.1-1.

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

Figura 4.1-1 Programas aprovados pela norma ASHRAE e respectivas organizações responsáveis (ASHRAE, 2014).

De acordo com a legislação nacional o programa além de ser acreditado pela norma ASHRAE 140 deve ter capacidade para modelar:

- Mais do que uma zona térmica;
- 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 da semana e fins de semana,
- Recuperação de calor do ar de rejeição;

- O efeito da massa térmica do edifício.

4.2. DesignBuilder

O software DesignBuilder é o primeiro interface exaustivo para o programa de simulação térmica EnergyPlus. Este programa possui uma plataforma de modelação de edifícios em 3D de fácil manipulação. Não há limitações de geometrias tri-dimensionais e estão disponíveis elementos realísticos que fornecerem de forma imediata detalhes como por exemplo a espessuras de paredes (Natural Works, 2014).

Ao criar um novo modelo o DesignBuilder é necessário escolher a localização e o tipo de análise, de acordo com a Figura 4.2-1. Ao escolher a localização o programa associa a essa cidade os ficheiros climáticos existentes na sua base de dados, por exemplo para Portugal existem várias cidades disponíveis, o que permite obter simulações mais realísticas pois o clima influencia as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Caso seja necessário é possível adicionar um novo clima ao programa.

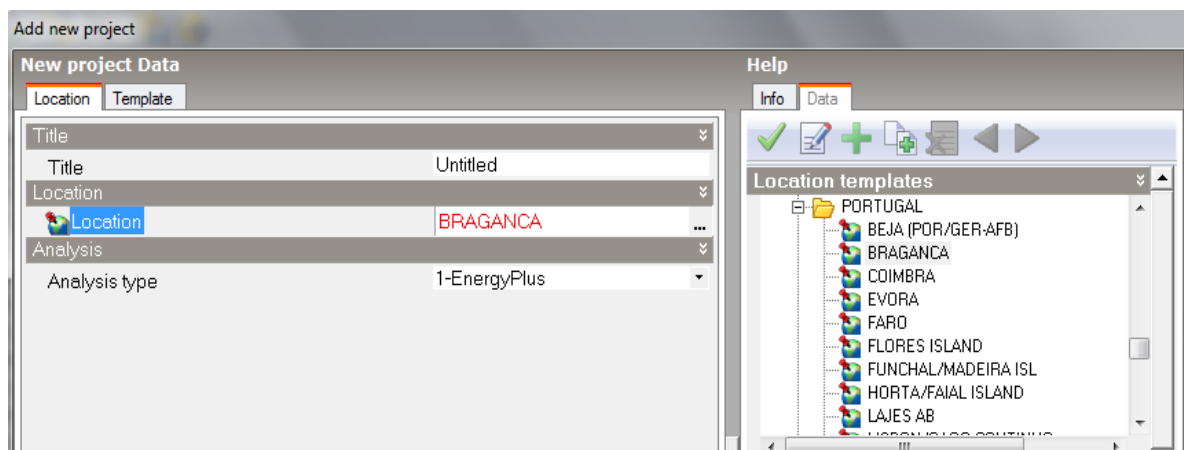


Figura 4.2-1 Criação de novo projeto

Em relação ao tipo de análise deve-se escolher EnergyPlus para que a simulação utilize o software EnergyPlus, a outra opção é a versão portuguesa mas como a legislação foi alterada em 2013 o programa ainda não foi atualizado para funcionar corretamente, por isso optou-se pela opção EnergyPlus.

O DesignBuilder é um programa bastante intuitivo, na janela principal do programa estão presentes o menu, barra de ferramentas, separadores de dados, tela de edição, separadores de telas, painel de navegação e painel de informação, de acordo com Figura 4.2-2.

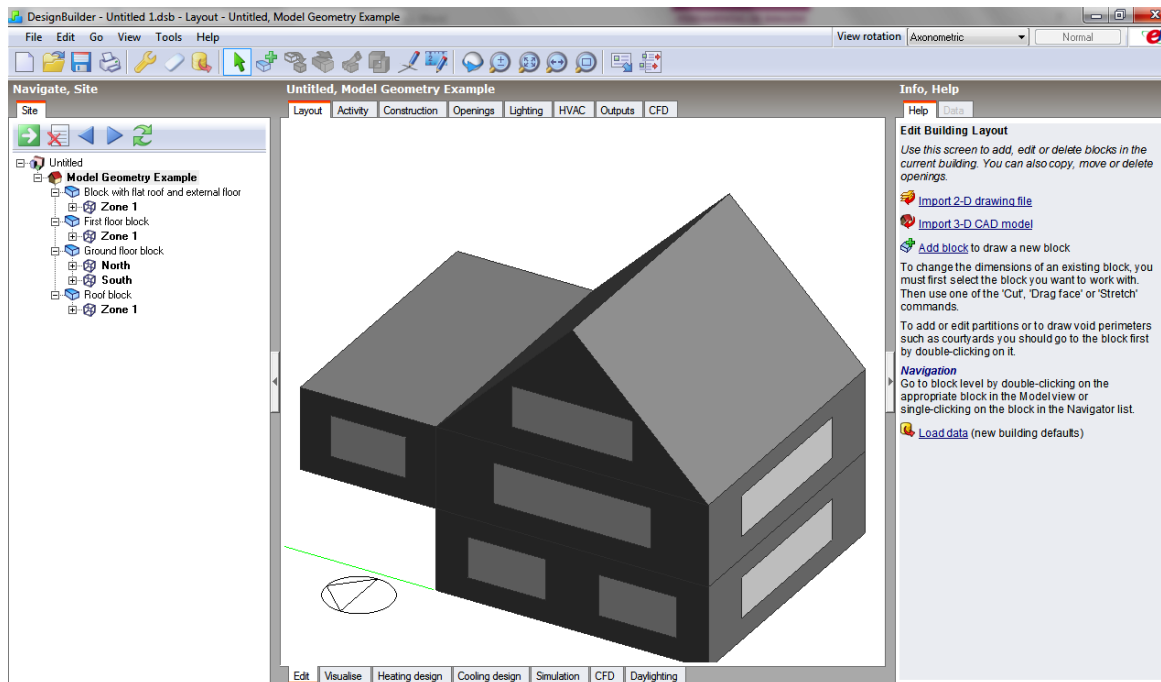


Figura 4.2-2 Várias componentes da janela principal do programa DesignBuilder

No menu pode-se abrir ou guardar um projeto, tal como exportar dados para outro programa, ou vice-versa, importante salientar que é possível importar para o DesignBuilder ficheiros CAD, de modo a facilitar a construção do modelo. Na barra de ferramentas estão disponíveis as ferramentas utilizadas para a construção geométrica do modelo e a tela de edição é onde se construiu o modelo geométrico do edifício e é possível navegar pelos diversos separadores de dados construção, atividade, ocupação, iluminação e sistemas AVAC, inserindo todas as suas características.

Nos separadores de telas pode-se alternar entre várias vistas do modelo, o projeto de aquecimento e arrefecimento, as simulações e iluminação natural. Por último existe o painel de informação que serve de orientação nas tarefas que se estão a realizar.

O utilizador pode criar as suas próprias predefinições de acordo com as características de cada edifício. Todas estas ferramentas aliadas com a estrutura hierarquizada, presente na Figura 4.2-3, permitem que se defina e altere rapidamente as características do edifício desde o nível mais geral – o edifício – ao mais detalhado-partes constituintes das zonas.



Figura 4.2-3 Hierarquia de dados do DesignBuilder

Como o programa funciona com uma hierarquia de dados ao efetuar uma alteração numa determinada categoria, essa alteração é aplicada a todos os níveis subjacentes, por exemplo é possível alterar as características das paredes internas do edifício de uma única vez se estas tiverem todas as mesmas características, não é necessário alterar as características parede a parede.

Ao utilizar o DesignBuilder obtemos:

- Dados do comportamento físico e ambiental do edifício, tal como imagens/vídeos a qualquer estágio do desenvolvimento do modelo;
- Possibilidade de obter dados concretos de funcionamento do edifício no processo de conceção do mesmo;
- Facilidade de uso permite efetuar uma simulação detalhada dos projetos e ideal para uso como plataforma educativa.

O software DesignBuilder é o melhor interface exaustivo para o programa EnergyPlus.

4.3. EnergyPlus

O EnergyPlus é um programa de simulação energética de edifícios que combina as funcionalidades dos seus antecessores BLAST e DOE-2, desenvolvidos no fim da década de 70, como ferramentas de simulação de energia. O seu público-alvo eram engenheiros civis ou arquitetos que pretendiam fazer um correto dimensionamento dos sistemas AVAC e melhorar o desempenho energético dos edifícios. O consumo energético dos edifícios foi reconhecido como sendo significativo no consumo de energia por parte dos norte-americanos, como consequência da crise energética vivida no início da década de 70 e assim surgiu a necessidade de tomar medidas a nível do consumo energético residencial.

Tal como os seus antecessores o EnergyPlus é um software de análise de energia e simulação de cargas térmicas. Com base na descrição de um edifício por parte do usuário da perspectiva da construção e sistemas mecânicos, esta ferramenta calcula as necessidades energéticas do ponto de vista do aquecimento e arrefecimento do edifício.

É importante salientar que o EnergyPlus não é uma interface, pois apenas destina-se a ser o mecanismo de simulação em torno de outras interfaces, como por exemplo o DesignBuilder e atualmente não permite realizar uma análise do custo do ciclo de vida como os seus antecessores.

De modo a corrigir alguns dos inconvenientes dos seus dois antecessores, acrescentaram-se novas funcionalidades ao EnergyPlus e o seu código foi todo reescrito e organizado em módulos, o que permite uma maior compreensão do código e adição de funcionalidades ao EnergyPlus de forma simples, ou seja, podem ser desenvolvidos novos módulos em simultâneo sem interferir com os módulos já existentes e com conhecimento limitado do programa. A primeira versão deste software data de 2001 e está em constante atualização.

As cargas são calculadas pelo módulo de simulação do balanço térmico com um timestep definido pelo utilizador, e essa informação é conduzida ao módulo de sistemas, onde se encontra modelada os sistemas de climatização do edifício, onde é determinada a resposta dos sistemas do edifício, aquecimento e arrefecimento, e dá feedback ao módulo de simulação de balanço térmico, que incorpora esta resposta no timestep seguinte, de acordo com a Figura 4.3-1. Todo este processo é controlado pela componente de gestão de simulação (EnergyPlus, 2013).

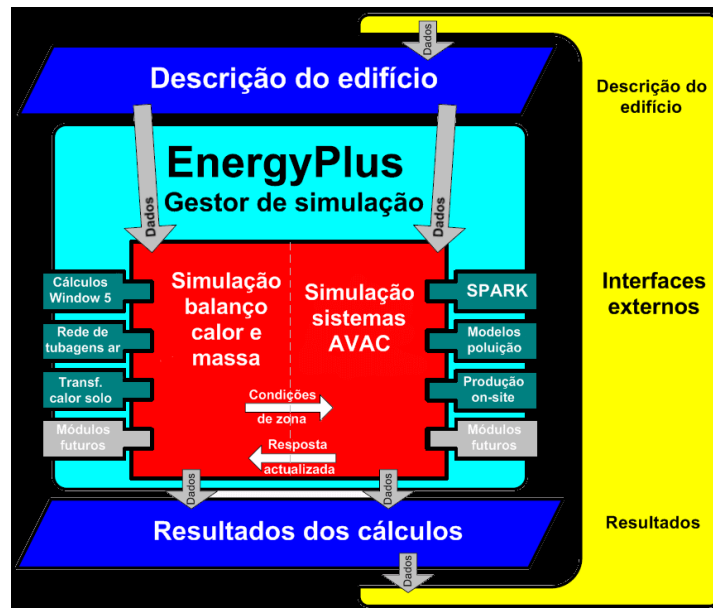


Figura 4.3-1 Estrutura do funcionamento do EnergyPlus (EnergyPlus, 2013)

Como é possível observar na Figura 4.3-1, o EnergyPlus pode utilizar interfaces exteriores, como é o caso do DesignBuilder que foi utilizado para a realização da análise energética do caso de estudo.

4.3.1. Método de cálculo do EnergyPlus

Para realizar os cálculos o EnergyPlus utiliza uma equação de balanço de energia dentro da zona, esta equação inclui a variação da energia armazenada pelo ar da zona e o calor específico do mesmo (ENERGYPLUS, 2013):

Equação 4.3.1-1

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i C_p (T_{zi} - T_z) + m_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + Q_{sys}$$

Onde:

- $C_z = \rho_{ar} C_p C_t$
- C_t é o fator de ponderação da transferência de calor sensível;
- $C_z \frac{dT_z}{dt}$ é a energia armazenada no interior da zona;

- $\sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i$ é o somatório das cargas internas convectivas;
- $\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ é a transferência de calor por convecção originária das superfícies existentes na zona;
- $\sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i C_p (T_{zi} - T_z)$ é a transferência de calor devido à mistura de ar de diferentes zonas;
- $m_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$ é a transferência de calor devido à infiltração do ar exterior;
- Q_{sys} é a taxa de troca de calor entre o ar interior da zona e o sistema de climatização.

Se desprezarmos o calor específico do ar, a equação de regime permanente resultante será:

Equação 4.3.1-2

$$-Q_{sys} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i C_p (T_{zi} - T_z) + m_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$$

A energia trocada com o sistema de climatização é dada pela diferença entre a entalpia do ar insuflado e o ar extraído de acordo com a Equação 4.3.1-3

Equação 4.3.1-4

$$Q_{sys} = m_{sys} C_p (T_{sup} - T_z)$$

A equação assume que o caudal de ar insuflado é igual ao caudal de ar removido pelo sistema de extração. A combinação da equação 1 com a 3 resulta em:

Equação 4.3.1-5

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i C_p (T_{zi} - T_z) + m_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + m_{sys} C_p (T_{sup} - T_z)$$

O somatório das cargas térmicas das zonas e a energia trocada com o sistema de climatização são iguais à variação de energia no ar da zona. Para determinar o termo diferencial relativo à temperatura da zona, substituindo o termo transiente, pode ser usada uma aproximação por diferenças finitas, de acordo com a seguinte equação:

Equação 4.3.1-6

$$\frac{dT}{dt} = (\partial t)^{-1}(T_z^t - T_z^{t-\partial t}) + O(\partial t)$$

A utilização de integração numérica numa simulação pode causar algumas preocupações visto que pode existir erros de aproximação ao longo dos diversos incrementos de tempo, contudo a natureza cíclica da simulação energética de um edifício deverá fazer com que estes erros se anulem ao longo de cada ciclo diário, fazendo com que no final da simulação não haja acumulação de erros. Para eliminar este problema foram desenvolvidas equações de ordem superior, com o objetivo de permitir ao utilizador definir intervalos de tempo maiores do que anteriormente. Conclui-se que aproximação de diferenças finitas de terceira ordem, de acordo com a equação, era a que apresentava os melhores resultados.

Equação 4.3.1-7

$$\frac{dT_z}{dt} = \partial t^{-1} \left(\frac{11}{6} T_z^t - 3 T_z^{t-\partial t} + \frac{3}{2} T_z^{t-2\partial t} - \frac{1}{3} T_z^{t-3\partial t} \right) + O(\partial t^3)$$

Com a utilização de diferenças finitas de terceira ordem a Equação 4.3.1-1, transforma-se:

Equação 4.3.1-8

$$C_z \partial t^{-1} \left(\frac{11}{6} T_z^t - 3 T_z^{t-\partial t} + \frac{3}{2} T_z^{t-2\partial t} - \frac{1}{3} T_z^{t-3\partial t} \right) = \sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i c_p (T_{zi} - T_z) + m_{inf} c_p (T_{\infty} - T_z) + m_{sys} c_p (T_{sup} - T_z)$$

Ao fazer uma manipulação das várias equações anteriormente descritas é possível determinar a equação da zona, utilizando a seguinte equação.

Equação 4.3.1-9

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i^t + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i c_p T_{zi} + m_{inf} c_p T_{\infty} + m_{sys} c_p T_{supply}^t - \left(\frac{C_z}{\partial t} \right) \left(-3 T_z^{t-\partial t} + \frac{3}{2} T_z^{t-2\partial t} - \frac{1}{3} T_z^{t-3\partial t} \right)}{\frac{11 C_z}{6 \partial t} + \left(\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i c_p + m_{inf} c_p + m_{sys} c_p \right)}$$

Esta é a forma de cálculo utilizada pelo EnergyPlus, sendo a carga térmica da zona o comando de todo o processo, isto é, a carga térmica é utilizada como ponto de partida para ativar o sistema. Posteriormente a simulação do sistema obtêm o valor real da capacidade do mesmo e se necessário a temperatura é ajustada. A ordem seguida pelo procedimento pode ser resumida (ENERGYPLUS, 2013):

- Utilizando as equações é efetuada uma estimativa da energia requerida ao sistema de ar de modo a equilibrar a equação de acordo com a temperatura do ar definida pelo termóstato;
- Considerando a estimativa como procura o sistema de ar é simulado para determinar a capacidade de fornecimento efetivo no instante analisado;
- A capacidade real do sistema é usada na Equação 4.3.1-9 para calcular a temperatura resultante da zona.

5. CASO DE ESTUDO

5.1. Recolha de informação

O levantamento de informação foi efetuado com diversas visitas ao edifício e com a consulta de informação do projeto de obra. De modo a ser possível realizar a análise energética do edifício, as etapas do processo foram, por ordem:

- Recolha de informação:
 - Plantas de arquitetura do edifício;
 - Memória Descritiva e projeto de Instalações Eletromecânicas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado;
 - Alçados e mapas dos vãos envidraçados;
 - Soluções construtivas e sistemas de climatização;
 - Utilização dos espaços, equipamentos e iluminação instalados;
 - Histórico do consumo energético.
- Construção do Modelo em DesignBuilder:
 - Construção do modelo em 3D, incluindo todas as características do edifício previamente recolhidas;
 - Validação do modelo de simulação, verificando a correspondência entre os consumos energéticos previstos resultantes da simulação com os consumos reais registados em anos anteriores;
- Simulação do edifício:
 - Cálculo do indicador de eficiência energética e da classe energética;

5.2. Descrição do edifício em estudo

O edifício em estudo corresponde à Escola Superior de Educação (ESE) do Instituto Politécnico de Bragança, presente na Figura 5.2-1, tratando-se de um grande edifício de serviços. Este edifício situa-se na Quinta de Santa Apolónia em Bragança.



Figura 5.2-1 Edifício da Escola Superior de Educação de Bragança

De acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto define-se grande edifício de comércio e serviços cuja área interior útil de pavimento, descontando os espaços complementares, iguale ou ultrapasse 1000 m², ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas. A ESE insere-se na categoria de grandes edifícios de comércio e serviços, pois possui uma área útil de 7590 m², com a distribuição por piso presente na Tabela 5.2-1.

Tabela 5.2-1 Área dos diversos pisos do edifício em estudo

Piso	Área (m²)
0	3612
1	2451
2	1526
Total	7589

O edifício foi concluído em 1999 e não sofreu nenhuma intervenção posterior. A entrada principal do edifício fica orientada para Norte que dá acesso ao átrio principal e receção. O edifício dispõe de uma segunda entrada, junto ao centro lúdico infantil. Há ainda a considerar as saídas de emergência e como algumas portas de acesso à área circundante e às instalações desportivas. O edifício possui três pisos e uma cave parcial, resultante das cotas do terreno. A distribuição dos espaços mais relevantes por andar é o que consta na Tabela 5.2-2. As plantas podem-se encontrar no Anexo A.

Tabela 5.2-2 Principais espaços do edifício por piso do edifício

Piso	Espaços
0	Auditório
	Salas de música
	Estúdio de produção
	Centro infantil
	Ginásio
	Bar
1	Salas de aulas
	Laboratórios
	Salas de informática
2	Gabinetes dos docentes

O edifício é estruturado no piso 0 segundo duas circulações principais no sentido do desenvolvimento longitudinal, ligados pelos espaços centrais. No piso 1 desaparece uma dessas circulações e no piso 2 não há circulações no sentido longitudinal pois este piso é constituído por três corpos isolados, podendo fazer-se a comunicação entre eles ao ar livres através dos terraços acessíveis.

5.2.1. Envolvente

A recolha de informação permitiu identificar que as paredes exteriores são de tijolo de 0.25 m de espessura com isolamento pelo exterior com sistema térmico e hidrófugo tipo “DRYVIT”, com 0.06 m de espessura total, incorporando placas de poliestireno expandido “esferovite” de 0.04 m de espessura e com acabamento final areado fino, de acordo com a Figura 2.1-1.

O isolamento térmico pelo exterior além de assegurar uma eficaz proteção térmica do edifício, diminui a espessura total das paredes resultando na economia de área bruta. Por outro lado este sistema de isolamento diminui as variações térmicas da estrutura, assim como evita o aparecimento de fissuras nas paredes exteriores. Esta parede tem uma

resistência térmica (R_{total}) de $1.642 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ e uma condutibilidade térmica (U_{global}) de $0.609 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$. Todos os valores apresentados de R_{total} e U_{global} foram obtidos com o software DesignBuilder.



Figura 5.2.1-1 Estrutura da parede exterior

As paredes interiores foram construídas com tijolos de 0.15 m , mas contém diversos revestimentos dependendo da utilização do espaço, mas o revestimento com maior presença no edifício é o estuque projetado. Todas as casas de banhos e vestiários por sua vez tem um revestimento em azulejo, enquanto o estúdio de produção presente no piso 0 contém “platex” perfurado sobre lã de basalto. Por último o posto de transformação e a central térmica tem as paredes interiores revestidas com reboco areado. Na Tabela 5.2.1-1 estão presentes os valores de R_{total} e U_{global} das paredes interiores do edifício.

Tabela 5.2.1-1 Coeficientes de transmissão térmica das paredes interiores

Parede interior (revestimento)	R_{total} ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$)	U_{global} ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
Estuque projetado	0.518	1.929
Azulejo	0.484	2.067
Platex	1.241	0.806
Reboco areado	0.525	1.903

Todo o edifício, com exceção do pavilhão desportivo, tem um cobertura tipo invertida constituída por camada de forma de enchimento de betão com granulado de cortiça com 0.15 m de altura média. A impermeabilização é feita com telas butílicas de 1.5 mm de espessura. A cobertura também tem placas de poliestireno extrudido com 0.05 m de espessura, colocadas sobre a impermeabilização, por último há uma camada de gravilha arredondada e lavada (godo), com uma espessura mínima de 0.05 m incluindo manta geotêxtil sobre o isolamento térmico.

O pavilhão desportivo tem uma cobertura em chapa de zinco, com solho de pinho de 22 mm tratado, placas de poliestireno extrudido com 0.05 m de espessura pregadas ao solho de pinho e por último tem filme de polietileno sobre as placas de isolamento térmico. Na Tabela 5.2.1-2 observa-se as características das duas coberturas.

Os vãos envidraçados de todo o edifício são vidros duplos 5+10+5 mm transparentes e incolores U_{global} de 0.2790 W/m²K.

Tabela 5.2.1-2 Coeficientes de transmissão térmica das coberturas

Cobertura	R_{total} (m².K/W)	U_{global} (W/m².K)
Edifício	2.693	0.371
Pavilhão desportivo	1.774	0.564

5.2.2. Ocupação

Trata-se de um edifício de ocupação permanente de utilização, com uma taxa de utilização de 100% das 8h30 às 18h00, posteriormente funciona a 70% até as 22h00, e no período das 22h00 às 24h00 funciona a 30%, de acordo com Figura 5.2.2-1. Ao sábado também há atividades letivas considerando que o nível de consumo é de 50% de um dia útil.

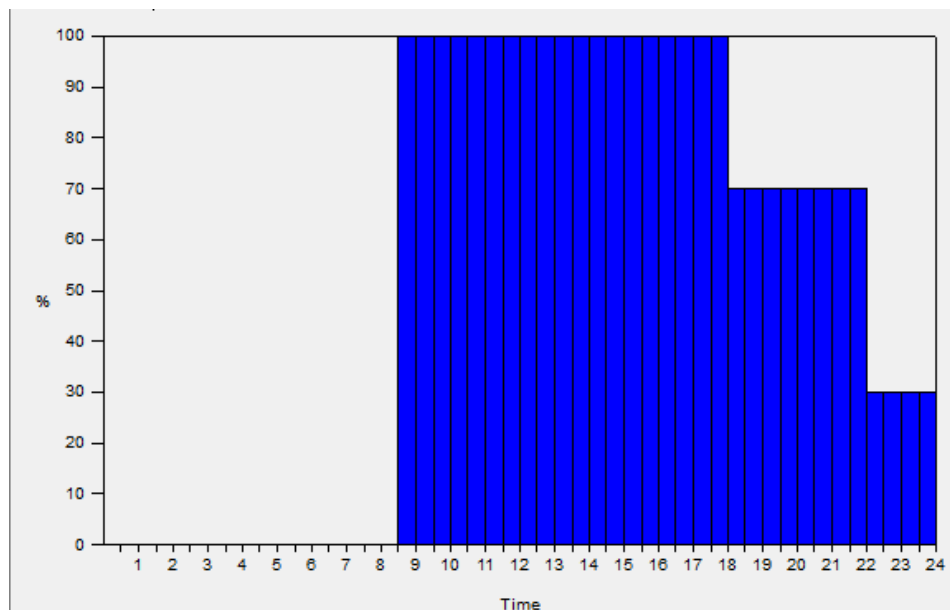


Figura 5.2.2-1 Perfil de utilização típico do edifício para um dia útil

Atualmente o edifício tem um número médio de 1100 utilizadores o que traduz-se numa densidade média ocupacional de 0.145 pessoa/m^2 .

5.2.3. Iluminação

A iluminação do edifício em estudo apresenta diferentes tipos de lâmpadas e potências, mas de um modo geral as salas de aula e laboratórios têm lâmpadas fluorescentes tubulares de 36 W com balastos ferromagnéticos. Nos corredores, bar e biblioteca encontra-se também armaduras fluorescentes com balastos ferromagnéticos. De um modo geral a iluminação presente nos espaços de arrumos são lâmpadas fluorescentes tubulares de 18 W, enquanto nas casas de banho existem lâmpadas fluorescentes compactas de 9 W. Em relação às circulações e galerias encontra-se lâmpadas fluorescentes compactas de 18 W.

A maioria da iluminação presente no anfiteatro são lâmpadas de halogéneo de 50 W. Também encontra-se algumas na atual biblioteca e na sala de reuniões presente no piso 0.

Para determinar a densidade luminosa de cada espaço foi efetuado um levantamento de todas as cargas luminosas presentes no edifício, uma vez que esta informação não existia. Na Tabela 5.2.3-1 apresentam-se as densidades de iluminação detalhadas da classificação

de espaços adotada. O piso cave na simulação é considerado apenas uma zona e possui uma densidade luminosa de 6 W/m².

Tabela 5.2.3-1 Densidade luminosa por zona da simulação, por piso

Piso 0	W/m²	Piso 1	W/m²	Piso 2	W/m²
Circulação A	5	Circulação A	2	Gabinetes 1	13
Montagem 1	13	Gabinetes 1	8	WC A	8
Circulação B	6	Área de trabalho	9	Gabinetes 2	10
Fotografia 1	7	Salas A	12	Gabinetes 3	10
Estúdio 1	7	Salas B	11	Gabinetes 4	10
Reprografia	15	Biblioteca	11	Gabinetes 5	13
Salas 1	11	Salas C	10	Circulações	7
WC A	7	Galeria A	2	Gabinetes 6	14
Salas 2	12	Salas D	11	WC B	8
Gabinetes 1	10	Circulação B	2	Gabinetes 7	10
WC B	14	WC A	7	Gabinetes 8	10
Circulação C	4	Arrumos A	5	Gabinetes 9	14
Vestiário A	8	Salas E	11	Circulações B	6
Circulação D	5	Salas F	11	Gabinetes 10	14
Arrumos 1	5	Galeria B	2	Gabinetes 11	10
Salas 3	9	Salas G	10	Gabinetes 12	10
WC C	12	WC B	7	Gabinetes 13	10
Sala convívio	3	Circulação C	2	Gabinetes 14	10
Bar	13	Laboratórios A	10	WC C	8
Circulações E	5	Salas H	10	Gabinetes 15	14
Salas 4	11	Gabinetes 2	8	Circulações C	5
Arrumos 2	7	Galeria C	2		
Vestiário B	10				
Circulação F	8				
Salas 5	10				
Centro infantil	11				
WC D	8				
Reprografia 2	9				
Sala convívio	10				
Anfiteatro	15				

Ao fazer o levantamento de cargas em relação à iluminação foi possível determinar que o Piso 0 é o que tem maior número de lâmpadas, e o tipo de lâmpada mais utilizado no edifício são lâmpadas fluorescentes.

Ao fazer uma análise mais detalhada da iluminação presente no edifício verifica-se que existe 2033 lâmpadas no edifício perfazendo uma potência total de 69487 W. O Piso 0 é o que tem um maior número de lâmpadas e por sua vez o piso da cave é o que tem um menor número, de acordo com a Tabela 5.2.3-2. Nesta mesma tabela verifica-se que no piso cave apenas existem lâmpadas fluorescentes tubulares de 36 W, sendo este o tipo de lâmpada com maior presença no edifício.

Constata-se também que as lâmpadas de potências mais elevadas, 150 e 250 W, estão apenas presentes no piso 0 e têm utilizações específicas, no caso das de 150 W estão presentes na zona de exposições, enquanto as de 250 W apenas estão presentes no pavilhão desportivo.

Tabela 5.2.3-2 Quantidade de lâmpadas por potência e piso

Quantidade de lâmpadas por potência e piso							
Piso	9 W	18 W	36 W	50 W	150 W	250 W	Total
Cave	0	0	254	0	0	0	254
0	83	167	499	71	13	14	847
1	22	81	444	5	0	0	552
2	12	90	278	0	0	0	380
Total	117	338	1475	76	13	14	2033

O piso cave representa 12% da quantidade de lâmpadas presentes no edifício, enquanto o piso 0, 1 e 2 representam 42%, 27% e 19% respetivamente de acordo com o Gráfico 5.2.3-1.

Lâmpadas por piso

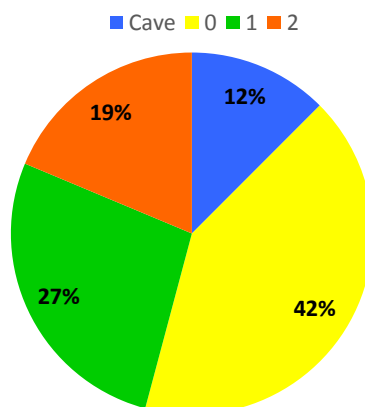


Gráfico 5.2.3-1 Percentagem de lâmpadas por piso

Como descrito anteriormente as lâmpadas fluorescentes tubulares de 36 W são as mais presentes no edifício, representado 72%. As lâmpadas fluorescentes compactas de 9 W são responsáveis por 6% enquanto as de 18 W estão presentes em 16% do edifício. Em relação às de 18 W estas podem ser lâmpadas fluorescentes tubulares ou compactas, no caso do edifício em estudo existem mais lâmpadas compactas (cerca de 81%) em relação às tubulares. Por último as lâmpadas 150 W e 250 W representam cerca de 2% das lâmpadas instaladas no edifício, de acordo com Gráfico 5.2.3-2.

Potência de lâmpadas no edifício

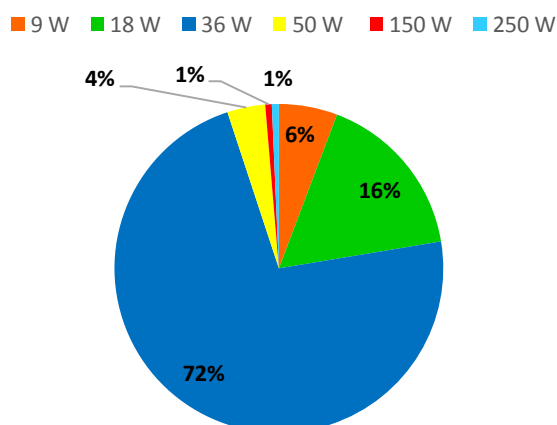


Gráfico 5.2.3-2 Percentagem de lâmpadas no total do edifício de acordo com a sua potência

Esta informação permitiu criar perfis por zona de modo a que o modelo computacional fosse seja o mais realístico possível, é possível consultar a informação mais detalhadamente no Anexo C.

5.2.4. Equipamentos

Com o objetivo de construir um modelo o mais realístico possível também foi realizado um levantamento de todos os equipamentos genéricos presentes no edifício desde computadores e impressoras a equipamentos mais específicos presentes nos laboratórios. Na Tabela 5.2.4-1, está presente a densidade de equipamentos por zona.

Em relação ao piso cave este tem uma densidade de equipamentos de 13 W/m^2 , mas a maioria dos equipamentos aqui presentes são pouco utilizados fato tido em conta aquando da construção do modelo dinâmico do edifício.

Esta tabela apresenta a densidade dos equipamentos considerando que estão todos ligados ao mesmo tempo, facto que em algumas zonas não ocorre na realidade, e assim para realizar a simulação dinâmica foi considerado:

- No piso cave os equipamentos que lá se encontram são pouco utilizados, assim foi considerado que funcionam durante 2h diariamente;
- Sala 4, piso 0, os fornos de cerâmica presentes deste espaço é considerado que apenas os de menor potência são utilizados (330 W e 550 W), pois com a informação obtida o forno de 18 000 W nem todos os anos é utilizado assim não foi tido em conta na simulação;
- Sala D, piso 1, estão presentes alguns equipamentos de laboratório, nomeadamente duas estufas e duas hottes, com a informação disponibilizada estes materiais são utilizados esporadicamente.

Tabela 5.2.4-1 Densidade de equipamentos por zona da simulação e por piso

Piso 0	W/m ²	Piso 1	W/m ²	Piso 2	W/m ²
Circulação A	0	Circulação A	0	Gabinetes 1	18
Montagem 1	21	Gabinetes 1	16	WC A	0
Circulação B	138	Área de trabalho	65	Gabinetes 2	15
Fotografia 1	11	Salas A	4	Gabinetes 3	7
Estúdio 1	64	Salas B	4	Gabinetes 4	18
Reprografia	60	Biblioteca	3	Gabinetes 5	24
Salas 1	2	Salas C	21	Circulações	0
WC A	0	Galeria A	0	Gabinetes 6	23
Salas 2	0	Salas D	35	WC B	0
Gabinetes 1	18	Circulação B	0	Gabinetes 7	14
WC B	0	WC A	0	Gabinetes 8	19
Circulação C	0	Arrumos A	0	Gabinetes 9	38
Vestiário A	0	Salas E	2	Circulações B	0
Circulação D	0	Salas F	2	Gabinetes 10	25
Arrumos 1	0	Galeria B	0	Gabinetes 11	21
Salas 3	20	Salas G	3	Gabinetes 12	34
WC C	0	WC B	0	Gabinetes 13	46
Sala convívio	0	Circulação C	13	Gabinetes 14	18
Bar	578	Laboratório A	40	WC C	0
Circulações E	0	Salas H	2	Gabinetes 15	30
Salas 4	76	Gabinetes 2	34	Circulações C	0
Arrumos 2	0	Galeria C	4		
Vestiário B	2				
Circulação F	0				
Salas 5	8				
Centro infantil	6				
WCD	0				
Reprografia 2	123				
Sala convívio	36				

A maioria dos equipamentos presentes neste edifício são genéricos nomeadamente computadores, depois encontra-se alguns equipamentos mais específicos mas em baixa quantidade, a lista detalhada dos materiais pode ser consultada no Anexo D.

5.2.5. Sistemas de climatização

5.2.5.1. Aquecimento ambiente

O aquecimento do edificio é feito através de produção de água quente, usada como fluido de permuta térmica destinada ao aquecimento é efetuada nas centrais térmica I e II. Estas centrais são constituídas, cada uma por uma caldeira de água quente de queima a gás natural. As temperaturas de produção de água quente nos circuitos são de 60 °C e 65°C respetivamente.

A energia térmica, fornecida pelas centrais térmicas é encaminhada por uma rede de tubagem de água até as unidades transmissoras de calor, radiadores ou unidades de termoventilação, que garantem o aquecimento do meio ambiente. Importante referir que em cada central térmica há coletores de ida e retorno que interligam os circuitos primários e secundários. Toda a rede de distribuição tem isolamento térmico.

A água quente de aquecimento é encaminhada aos aparelhos terminais através de uma rede de tubagens dividida em cinco circuitos, sendo três da 1º fase e dois da 2º:

- Circuito I (1º fase): a alimentação dos radiadores do piso 0 é feita, pela cave, nos sítios onde existam, sendo nos outros locais feita através de tubagem à vista, pelo teto com prumadas verticais até aos radiadores. As unidades de termoventilação são alimentadas por estes circuitos;
- Circuito II (1º fase): a alimentação dos radiadores dos pisos 1 e 2 é feita através de tubagem existente no teto e à vista com prumada verticais até aos radiadores. Exclui-se deste tipo de montagem as salas de informática, que são alimentadas também à vista, mas pelo rodapé;
- Circuito III (1º fase): os radiadores são alimentados através de um ramal principal que passa ao nível do teto do piso 1 e que tem prumadas na vertical para o piso de cima ou para o piso de baixo conforme a localização dos radiadores;

- Circuito IV (2º fase): alimenta os radiadores pelo teto com prumadas verticais do piso 0 construído na 2º fase;
- Circuito V (2º fase): alimenta os radiadores pelo teto com prumadas verticais dos pisos 1 e 2 construídos na 2º fase.

O aquecimento central funciona cerca de 80 horas semanais durante 25 a 30 semanas por ano, as duas caldeiras responsáveis pelo aquecimento central são caldeiras de chão da marca ROCA a gás natural. Como as caldeiras situam-se em zonas diferentes do edifício são designadas por central térmica I e II.

As principais características da central térmica I podem ser observadas na Tabela 5.2.5.1-1 e na Figura 5.2.5.1-1.

Tabela 5.2.5.1-1 Características da caldeira e queimador presentes na central térmica I

Características	Caldeira	Queimador
Marca	ROCA	ECOFLAM
Modelo	CPA 150	BLU-170P
Potência	150 kW	89-180 kW
Combustível	-	Gás natural



Figura 5.2.5.1-1 Caldeira e queimador da central térmica I

Em relação à central térmica as suas principais características estão presentes na Tabela 5.2.5.1-2 e Figura 5.2.5.1-2.

Tabela 5.2.5.1-2 Características da caldeira e queimador presentes na central térmica II

Características	Caldeira	Queimador
Marca	ROCA	Lamborghini
Modelo	CPA 200	EM-26
Potência	230 kW	129-258.5 kW
Combustível	-	Gás natural



Figura 5.2.5.1-2 Central térmica II

A maioria do edifício utiliza os radiadores para aquecimento ambiente mas algumas zonas tem sistemas de climatização diferentes devido à sua utilização e funcionamento diferenciado. A climatização do Anfiteatro é feita com recurso a uma unidade de ar condicionado do tipo “roof-top”, bomba de calor com condensador arrefecido a ar, presente na Figura 5.2.5.1-3. A biblioteca original do edifício que posteriormente transformou-se nos serviços académicos e atualmente é uma sala de aula, e o estúdio de produção utilizam unidades de termo ventilação alimentadas pelo circuito I anteriormente descrito.

Em relação à ventilação de ar todas as instalações sanitárias e vestiários são ventiladas através de extração forçada, o ar de compensação à extração é proveniente das zonas circundantes aquecidas ou espaços de grande volumetria. A extração de ar das instalações sanitárias e vestiários são feitos por ventiladores instalados nas coberturas. A instalação sanitária presente no Centro Lúdico e Infantil tem um ventilador próprio.



Figura 5.2.5.1-3 Unidade de tratamento de ar do anfiteatro

5.2.5.2. Água quente sanitária

O aquecimento da água quente sanitária é feito com recursos a duas caldeiras de chão da marca ROCA a gás natural com 30 kW cada, de funcionamento permanente por controlo termostático e depósito acumulador de 500 l com circuito primário, bomba circuladora em circuito fechado, presente Tabela 5.2.5.1-3 e Figura 5.2.5.1-4.

Tabela 5.2.5.1-3 Características das caldeiras para o aquecimento de água quente sanitária

Marca	ROCA
Modelo	G 100
Potência nominal	32.7 kW
Pressão máxima	4 bar
Temperatura máxima	95° C



Figura 5.2.5.1-4 Caldeiras para o aquecimento de água quente sanitária

Além das caldeiras ainda existe um sistema termodinâmico Energie ECO 500i com 2.8 kW, de funcionamento permanente por controlo termostático e depósito acumulador de 500 l instalado em série com o primeiro. As principais características do sistema termodinâmico estão presentes na Tabela 5.2.5.1-4 e Figura 5.2.5.1-5.

Tabela 5.2.5.1-4 Características do sistema termodinâmico existente

Marca	Energie
Modelo	Eco 500i
Capacidade	500 l
Número de painéis	2
Altura	1.65m
Potência mínima absorvida	595 W
Potencia máxima fornecida	2800 W



Figura 5.2.5.1-5 Sistema termodinâmico presente no edifício

Os painéis solares termodinâmicos são construídos em alumínio protegidos por uma capa de anodizado, o termoacumulador é fabricado com interior em aço inoxidável e isolamento em poliuretano com proteção catódica.

5.3. Caracterização das infraestruturas energéticas

Para o correto funcionamento do edifício e de modo a suprimir todas as suas necessidades energéticas, este consome:

- Energia elétrica para todas as utilizações, nomeadamente iluminação, AVAC, entre outros;
- Gás natural para o funcionamento das caldeiras para o aquecimento ambiente e para o aquecimento de água quente sanitária.

5.3.1. Energia elétrica

5.3.1.1. Alimentação e distribuição de energia elétrica

O edifício é alimentado a partir da rede de distribuição em média tensão da EDP, por uma linha trifásica subterrânea de 30 kV. A transformação para baixa tensão é feita através de um posto de transformação (PT) tipo cabine integrada no edifício, devidamente dimensionada com celeridade com as características presentes na Tabela 5.3.1.1-1, celeridade

seccionamento com rupto-fúsivel, celas de entrada e saída, e uma cela para um transformador de reserva.

Tabela 5.3.1.1-1 Características dos transformadores

Marca	EFACEC
Potência Aparente	400 kVA
Tensão Prim./Sec.	30 kV / 400-230 V
Corrente Prim./Sec.	7,7 / 577 A
Ano	1998
Arrefecimento	Seco

As terras de proteção e de serviço apresentam os valores exigidos por lei e o PT encontra-se sinalizado e equipado segundo as normas de segurança. O PT alimenta o quadro geral de baixa tensão (QGBT) de onde saem os alimentadores para os quadros elétricos distribuídos por todo o edifício, de acordo com a Figura 5.3.1.1-1.

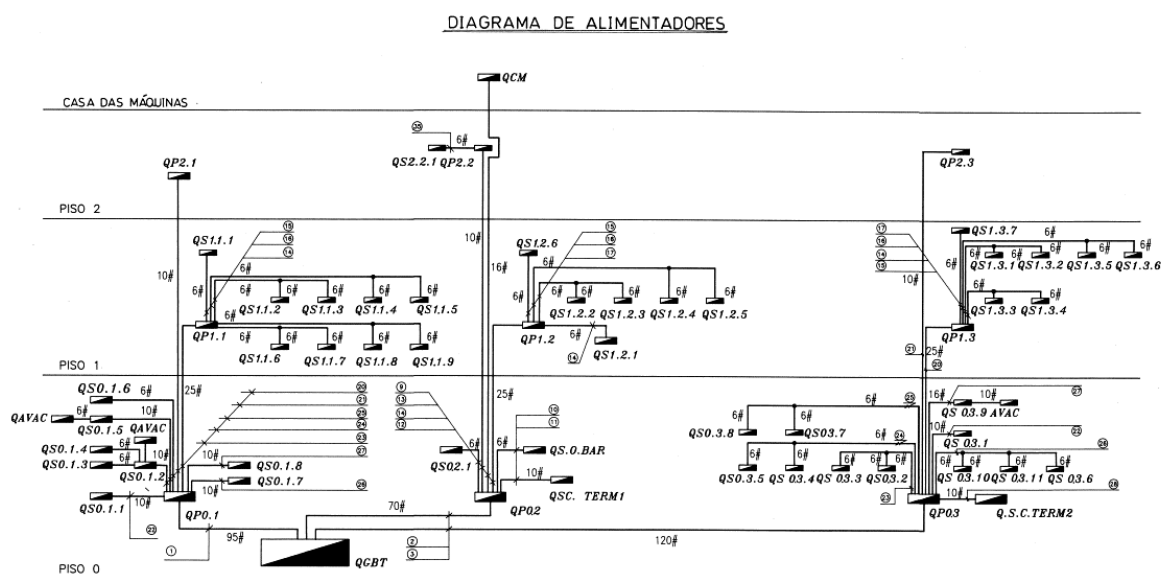


Figura 5.3.1.1-1 Esquema elétrico simples

5.3.1.2. Produção de energia elétrica

O edifício em estudo têm integrado produção de energia fotovoltaica com uma configuração modular, constituída por três unidades, cada uma com potência AC de 5

kW, totalizando 15 kW, de modo a injetar a energia produzida na rede elétrica interna do Instituto de forma equilibrada entre as três fases do sistema trifásico do quadro geral de energia elétrica da escola. Cada um dos sistemas é composto por:

- 28 Módulos fotovoltaicos, GE Energy (modelo GEPVp-205-M), que perfazem uma potência de pico de 17,22 kWp, formando uma matriz, constituída por duas fileiras em paralelo, cada uma com 14 módulos ligados em série;
- Inversor fotovoltaico, SMC 5000A, para injeção da energia na rede elétrica, presentes na Figura 5.3.1.2-1.



Figura 5.3.1.2-1 Conjunto de inversores SMC 5000A do edifício em estudo

Os sistemas fotovoltaicos encontram-se na cobertura do edifício de acordo com a figura Figura 5.3.1.2-2.



Figura 5.3.1.2-2 Sistemas fotovoltaicos instalados na cobertura (VERCAMPUS, 2014)

O inversor é controlado em corrente o que permite injetar a energia na rede sob a forma de corrente sinusoidal, síncrona com a tensão da rede elétrica de modo a garantir um fator de potencia unitário e limitação de conteúdo harmónico injetado na rede. Caso haja uma falha de energia os inversores fotovoltaicos saem de serviço para evitar o seu funcionamento em ilha isolada.

O mesmo acontece quando a tensão da rede ultrapassa 6% a 10% da tensão nominal (230V), ou quando a frequência ultrapassa cerca de 1% do valor nominal (50 Hz) (VERCAMPUS, 2014).

5.3.1.3. Fator de potência

No ano de 2013, foram faturados cerca de 5000 KVARh, 4300 KVARh e 2800 kVARh de energia reativa no 1º, 2º e 3º escalão respetivamente, resultando numa penalização de 339.62 €, de acordo com a Tabela 5.3.1.3-1.

Verifica-se que o fator de potência médio foi de 0.97 e em que vários meses foi atingindo um fator de potência unitário e que também em diversos meses não foi registado qualquer uso de energia reativa do 2º e 3º escalão. É importante salientar que a partir de Abril de 2013 há um acentuado decréscimo consumo de energia reativa como consequência da instalação de cinco conjuntos de condensadores ligados em triângulo, presentes na Figura 5.3.1.3-1.



Figura 5.3.1.3-1 Banco de condensadores instalados para corrigir o fator de potência

Tabela 5.3.1.3-1 Fator de potência e energia reativa faturada em 2013

Mês	Fator de potência	Energia reativa 1º escalão (kVArh)	Energia reativa 2º escalão (kVArh)	Energia reativa 3º escalão (kVArh)	Energia reativa fornecida no vazio ((kVArh)	Energia reativa faturada (kVArh)	Custo (€)
Janeiro	0,92	1.832,84	1.628,02	790,76	0	4.251,68	106,93
Fevereiro	0,89	1.805,37	1.797,10	1.645,63	0	5.248,10	171,47
Março	0,98	581,46	537,78	313,98	0	1.433,22	39,10
Abril	1	3,73	0	0	11,00	14,73	0,23
Maió	0,99	29,47	3,63	0	25,00	58,10	0,76
Junho	0,99	9,79	0,51	0	12,00	22,30	0,30
Julho	1,00	69,16	24,90	5,82	20,00	119,06	1,86
Agosto	0,93	397,20	233,48	73,82	3,00	707,50	13,75
Setembro	0,98	197,40	58,32	6,44	9,00	271,16	3,50
Outubro	1	32,00	20,00	0,00	26,00	78,00	1,17
Novembro	1	10,28	0	0,00	15,00	25,28	0,34
Dezembro	1	20,70	0	0,00	3,00	23,70	0,21
Total	0,97	4.989,40	4.303,74	2.836,45	124,00	12.253,59	339,62

5.3.2. Gás natural

A ESE está integrada numa rede interna de fornecimento de gás natural de acordo com a Figura 5.3.2-1, o que traduz-se numa fatura única para o edifício da ESE e para o edifício da ESTIG, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, que torna necessário efetuar uma medição interna para desagregar os consumos faturados pelo fornecedor, tendo chegando a um valor de 46.3% correspondente ao consumo exclusivo do edifício em estudo relativamente ao valor total da fatura.

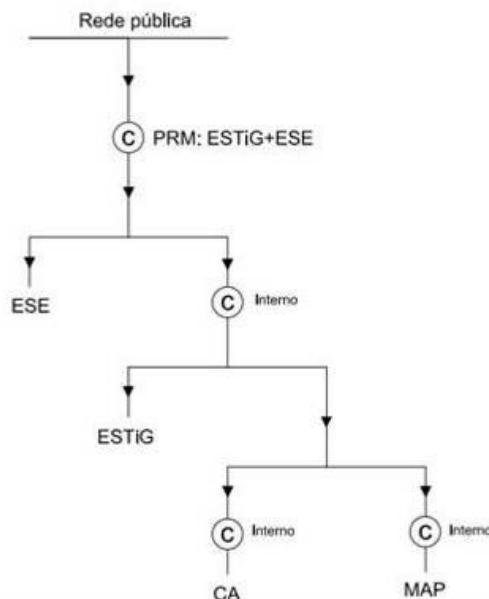


Figura 5.3.2-1 Esquema de alimentação da rede de distribuição de gás

Sendo assim para determinar o consumo do gás natural da ESE é necessário multiplicar o valor total das faturas por 0.463.

5.4. Caracterização dos consumos e custos de energia

5.4.1. Energia elétrica

Dado que existe apenas um contador elétrico para todo o edifício não existe informação desagregada de consumos para diferentes zonas.

A informação do consumo de eletricidade disponível data de Janeiro de 2009 a Dezembro de 2013. Na Tabela 5.4.1-1, verifica-se que o consumo de energia anual diminui desde 2009, e que há uma diferença acentuada na energia reativa de 2013 comparada com os anos anteriores, tal deve-se ao fato de ter sido instalados condensadores. Tal como no consumo de energia os seus custos diminuem com exceção de 2012 em que há um aumento em relação aos outros anos.

Tabela 5.4.1-1 Consumos e custos de energia de 2010 a 2013

Ano	Energia Ativa (kWh)	Energia Reativa Faturada (kVArh)	Energia Ativa (€)	Energia Reativa (€)	Total c/ IVA
2009	376.216,00	57.150,00	29.565,74	1.015,84	40.030,06
2010	357.367,00	50.196,00	28.518,02	923,03	39.173,85
2011	301.103,51	35.698,00	23.852,85	1.324,69	37.897,09
2012	251.162,60	43.790,65	19.112,04	1.061,51	41.687,08
2013	245.870,97	12.252,83	17.163,54	339,62	37.050,83

De modo a caracterizar detalhadamente os consumos de energia elétrica, foi analisado com maior detalhe o último ano completo de faturação (2013), por considerar este o ano mais representativo da situação atual, pois algumas características podem mudar ao longo do tempo como o número de utilizadores do edifício.

Como é possível observar no Gráfico 5.4.1-1 as necessidades elétricas variam ao longo do ano, sendo possível verificar o respetivo carácter sazonal, com maior impacto nos meses mais frios, correspondendo ao período com maior atividade letiva e por maiores necessidades de iluminação e climatização.

O valor médio do custo de energia elétrica adquirida à rede em 2013 foi de a 0.1507 €/kWh.

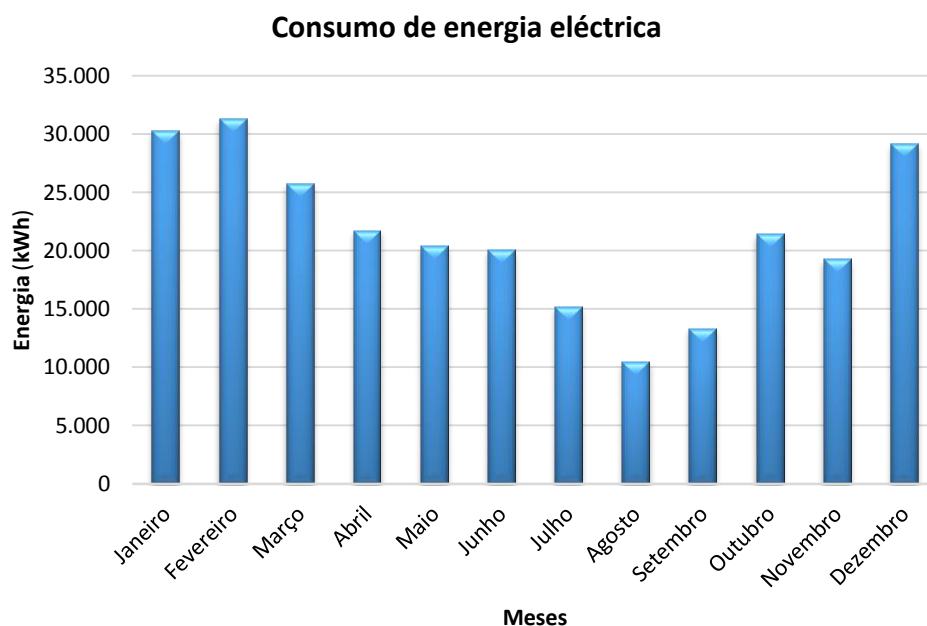


Gráfico 5.4.1-1 Consumos eléctricos mensais de 2013

Para além da energia eléctrica comprada à rede pública, também é consumida a energia eléctrica produzida pelo sistema fotovoltaico presente na infraestrutura, anteriormente apresentado. Verifica-se a produção anual de energia pelo sistema solar fotovoltaico em 2013 foi de cerca de 25.92 MWh, de acordo com Tabela 5.4.1-2.

Tabela 5.4.1-2 Produção do sistema solar fotovoltaico presente no edifício em estudo

Ano	Produção (kWh)
2012	26870.07
2013	25923.88

5.4.2. Gás natural

O gás natural é consumido nas duas centrais térmicas para o aquecimento ambiente e para o aquecimento de água quente sanitária, em que a rede de distribuição contém isolamento térmico na sua globalidade. Para os valores de consumo mensal relativos ao ano de 2013 são apresentados através da percentagem de consumo mensal apurada para o ano corrente tendo em conta os valores apurados pelo fornecedor, presentes no Gráfico 5.4.2-1.

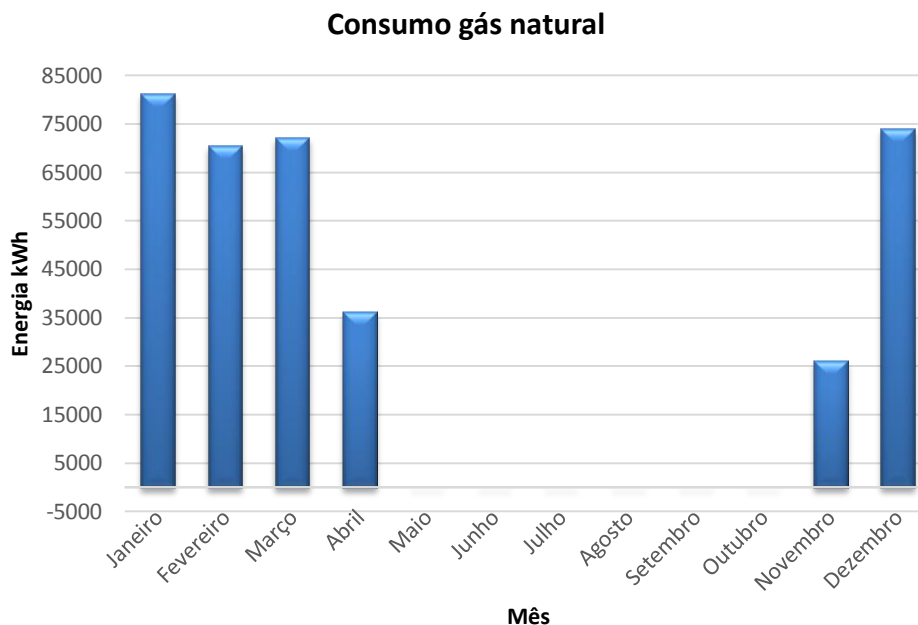


Gráfico 5.4.2-1 Consumo mensal gás natural em 2013

Verifica-se que em 2013 o consumo anual de gás natural foi cerca de 360 MWh, em que no mês de Janeiro é o que existe um maior gasto de gás natural com cerca de 81 000 kWh (81 MWh), e depois há um decréscimo acentuado de Março para o Abril, coincidente com o aumento da temperatura exterior.

De Maio a Outubro não há qualquer consumo de gás natural, pois os dados fornecidos continham esta informação. Contudo é importante salientar que esta informação pode não estar completamente correta, pois como anteriormente mencionado o edifício em estudo partilha o contador com outro edifício pertencente ao campus e estes valores são uma estimativa. O valor médio do custo do gás natural em 2013 foi de 0.069 €/kWh.

5.4.3. Emissões de dióxido de carbono

Com o conhecimento do consumo de energia elétrica e de gás natural é possível determinar as emissões a nível de dióxido de carbono de todo o edifício, para tal é necessário converter a energia final comprada aos produtores para energia primária, utilizando os fatores de conversão presentes na legislação portuguesa.

Os fatores de conversão entre energia final e energia primária, de acordo com a legislação nacional, para edifícios de habitação e edifícios de serviços e comércio são de 2.5 KWh_{EP}

independente da origem, e de 1 KWh_{EP} para todos os combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis. Caso a energia térmica tenha uma fonte de origem renovável o fator de conversão é de 1 KWh_{EP}/kWh .

Após o valor estar convertido a energia primária é necessário aplicar um segundo fator de conversão para determinar as emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo de energia. Para o caso de energia elétrica o fator é de 0.144 kgCO₂/kWh, enquanto o do gás natural é de 0.202 kgCO₂/kWh, estes valores são estipuladas pela legislação portuguesa.

Ao fazer uma análise anual respetiva às emissões de dióxido de carbono verifica-se que no período de 2010 a 2013 há um decréscimo de cerca de 282 toneladas para 166 toneladas, como resposta à diminuição do consumo de energia, de acordo com a Tabela 5.4.3-1. Apesar de existir um menor consumo de energia elétrica em relação ao gás natural, esta é responsável pela maioria das emissões de CO₂, como consequência de ser necessário aplicar um fator de conversão superior, visto que esta é uma fonte de energia secundária, ou seja, depende de uma fonte primária para ser produzida, como é o caso do petróleo, gás natural e carvão.

Em 2013 a energia elétrica representou cerca de 42% da energia final adquirida, mas em relação às emissões de CO₂, representa 56% das emissões do edifício, isto é, do ponto de vista ambiental é preferível a utilização do gás natural ou fontes renováveis dado que são uma energia primária do que uma energia secundária como é o caso da eletricidade.

Tabela 5.4.3-1 Emissão de dióxido de carbono de 2010 a 2013

Ano	Energia Primária			Emissão de dióxido de carbono (ton)
	Energia elétrica (kWh _{EP})	Gás natural (kWh _{EP})	Total (kWh _{EP})	
2010	1.018.907,50	670.207,03	1.689.114,53	282,10
2011	842.003,78	476.037,81	1.318.041,59	217,41
2012	737.383,13	460.293,76	1.197.676,88	199,16
2013	645.309,50	359.838,97	1.005.148,47	165,61

5.4.4. Indicador de eficiência energética

Com a análise da fatura energética do edifício é possível determinar o IEE, e verifica-se que este diminui de 2010 a 2013, resultado que já era esperado pois o consumo de energia também diminui neste período de tempo. De acordo com Tabela 5.4.4-1, o IEE em 2010 era cerca de 222 kWh_{EP}/m².ano e este valor sofreu uma redução significativa, pois em 2013 era de 132.4 kWh_{EP}/m².ano.

Esta diferença significativa em relação aos consumos pode estar relacionada com uma melhor gestão da energia, por exemplo um aquecimento ambiente mais eficiente com um perfil de utilização mais correto das caldeiras. A nível da energia elétrica a instalação do sistema fotovoltaico anteriormente apresentado aliado a um aumento da conscientização dos utilizadores para não deixar os equipamentos e iluminação a funcionarem quando não é necessário e utilizar a luz natural, podem justificar a redução do consumo. Outro fator que pode justificar um menor consumo de energia é a redução de utilizadores.

Tabela 5.4.4-1 Indicador de eficiência energética de 2010 a 2013

Ano	Área (m ²)	Energia Final adquirida			Energia Primária			IEE (kWh _{EP} /m ² .ano)
		E.E. (kWh)	G.N (kWh)	Total (kWh)	E.E. (kWh _{EP})	G.N (kWh _{EP})	Total (kWh _{EP})	
2010		407.563	670.207	1.077.770	1.018.908	670.207	1.689.115	222,5
2011	7.590	336.802	476.038	812.839	842.004	476.038	1.318.042	173,7
2012		294.953	460.294	755.247	737.383	460.294	1.197.677	157,8
2013		258.124	359.839	617.963	645.310	359.839	1.005.148	132,4

Dado que foi determinado o IEE de outra escola pertencente ao Instituto Politécnico de Bragança, realizou-se uma pequena comparação em relação ao IEE dos dois edifícios e verifica-se que o edifício em estudo, a ESE, apresenta valores inferiores do que a ESTIG,

de acordo com a Tabela 5.4.4-2. Mas é importante salientar que os dois edifícios de 2010 a 2013 reduziram progressivamente o consumo de energia, em especial de 2010 a 2011.

Tabela 5.4.4-2 Comparação do indicador de eficiência energética do edifício em estudo com a Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança

Ano	IEE (kWhEP/m ² .ano)	
	ESE	ESTIG
2010	222,54	244,10
2011	173,66	216,50
2012	157,80	204,04
2013	132,43	199,13

A diferença de IEE entre as escolas pode ser justificado com o fato da ESTIG ser uma escola com mais laboratórios e com presença de maior quantidade de equipamentos com maior consumo. Outro fator é o número de utilizadores do edifício, enquanto na ESE existe cerca de 1100 utilizadores este valor aumenta para cerca de 1500 utilizadores na ESTIG.

5.5. Construção do modelo

A primeira etapa da componente de simulação da análise energética do edifício em estudo consistiu em construir o modelo de simulação, utilizando a ferramenta DesignBuilder, que representasse o edifício nas condições reais de funcionamento.

Todas as características da envolvente, iluminação, ocupação, equipamentos e sistemas de climatização descritos nas seções anteriores foram utilizados para construir o modelo geométrico e caracterizar o edifício, com o propósito de obter um modelo o mais realístico possível. O modelo geométrico em 3D é apresentado na Figura 5.5-1. Nessa figura pode-se observar cores distintas de acordo com funcionalidade do bloco:

- Blocos de construção, representado o cinzento, são os blocos utilizados para criar o modelo;

- Componente blocos, representado a lilás e a verde, são utilizados para gerar estruturas visuais e de sombreamento, blocos em contacto com o solo e edifícios vizinhos.

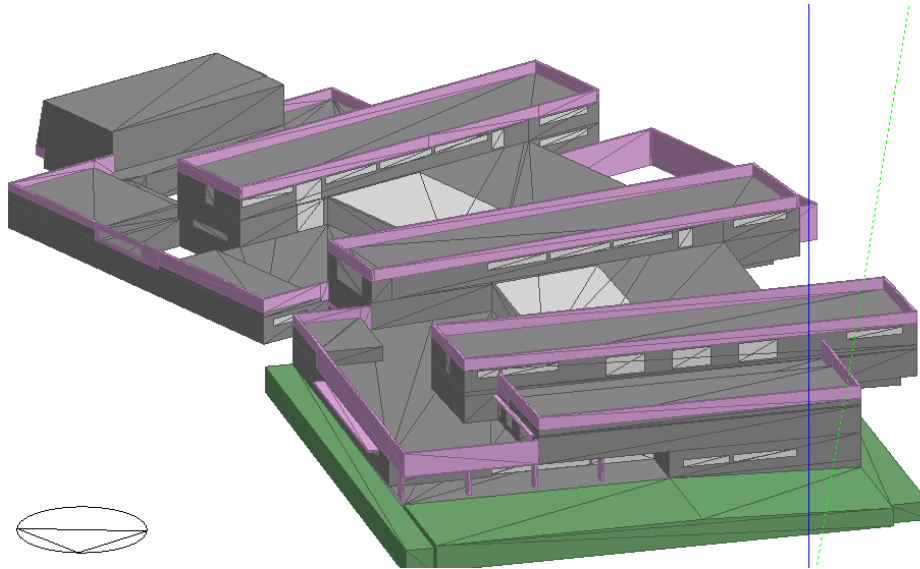


Figura 5.5-1 Representação geométrica exterior do modelo de simulação

Ao construir o modelo é feito o zoneamento térmico, que consiste no agrupamento de diversos espaços do edifício por zonas térmicas, de acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, entende-se por zona térmica o espaço ou conjunto de espaços passíveis de serem considerados em conjunto devido às suas similaridades em termos de perfil de utilização, iluminação e equipamentos, ventilação mecânica e sistemas de climatização, igualmente devido às similaridades em termos de condições de exposição solar.

O zoneamento é necessário para tornar mais leve a simulação do modelo, e deste modo efetuar todos os cálculos mais rapidamente e sem prejudicar os resultados obtidos. Para dividir o edifício em várias zonas foi efetuado uma análise detalhada do edifício em relação à orientação, sistemas de climatização, perfil de utilização e cargas internas, na Figura 5.5-2 apresentam-se como exemplo os zoneamentos do piso 0, dos outros pisos encontra-se no Anexo B.

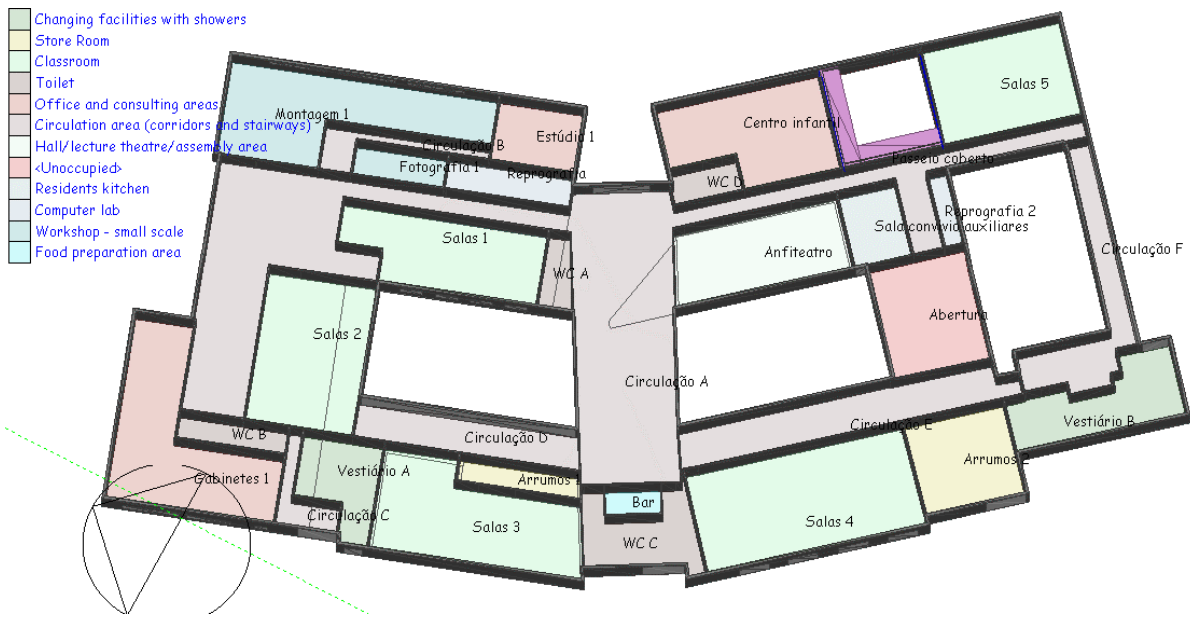


Figura 5.5-2 Zoneamento do piso 0

É necessário colocar no programa toda a informação sobre as características de atividade, construção, aberturas, iluminação e AVAC, por exemplo na Figura 5.5-3 observa-se as definições das soluções construtivas no DesignBuilder a nível das paredes externas e internas e coberturas. Para cada zoneamento definido inicialmente é necessário colocar todas estas características.

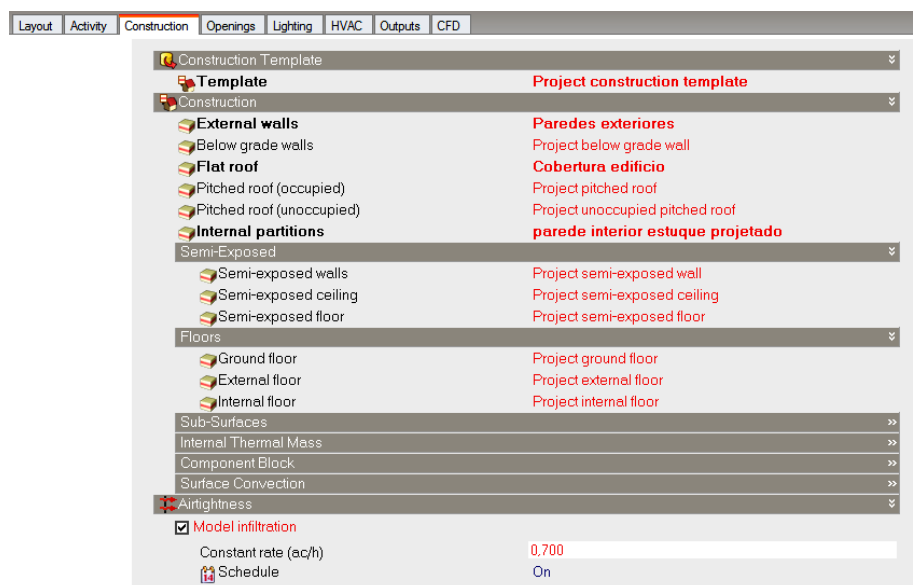


Figura 5.5-3 Exemplo de definição de soluções construtivas

Após o modelo geométrico estar concluído é possível ver as sombras projetadas a um determinado dia e hora, para tal é apenas necessário escolher a opção visualizar e obtém-se o resultado presente na Figura 5.5-4, para o dia 15 de Outubro às 15h.

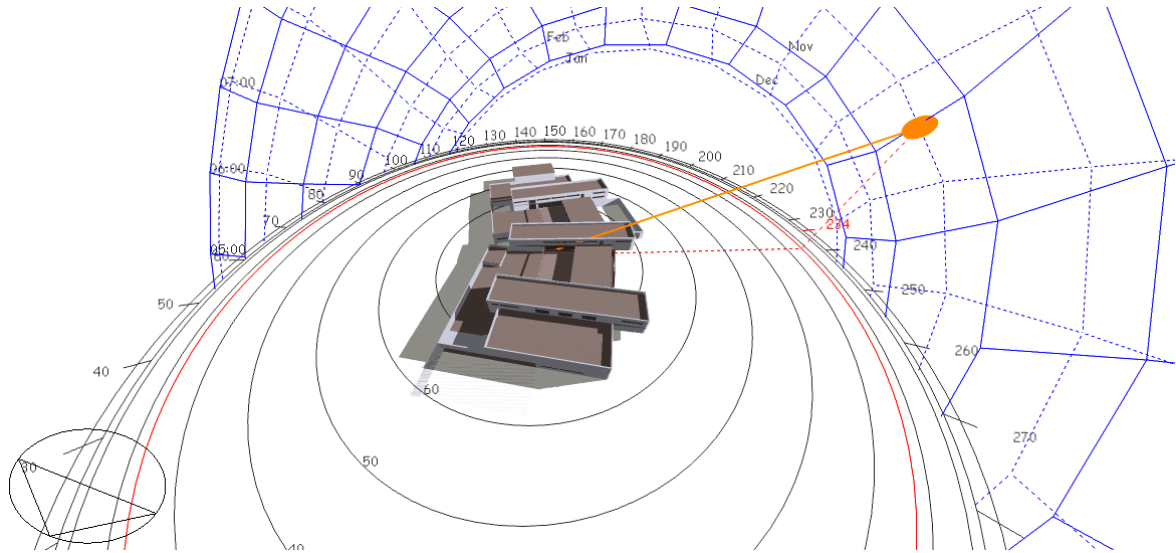


Figura 5.5-4 Resultado da visualização 3D do modelo e das sombras para o dia 15 de Outubro

6. ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1. Calibração do modelo

Por calibração do modelo da simulação entende-se o processo iterativo de ajuste com os parâmetros reais do edifício, o que conduz a que os resultados obtidos na simulação sejam próximos dos consumos globais de energia elétrica e gás natural (ALMEIDA,2012). Como não existe medições diretas de parâmetros como as temperaturas das zonas e consumos, as grandezas avaliadas na calibração do modelo são os consumos globais de energia elétrica e gás natural, para tal é feita uma comparação os registos dos consumos com os consumos previstos pela simulação.

É difícil atingir uma concordância total entre os consumos reais do edifício e os valores obtidos na simulação pois os dados de faturação correspondem a um período anterior, ou seja, pode ter existido alterações na utilização dos edifícios, como por exemplo o número de utilizadores. Também é importante referir que os dados climáticos utilizados na simulação são representativos de um ano climático típico, no entanto o período sobre qual incide a simulação pode corresponder a um ano atípico e um modelo é por definição uma representação da realidade e apresenta limitações.

Considera-se este modelo calibrado se os resultados anuais obtidos com a simulação dinâmica variarem no máximo $\pm 10\%$ dos consumos reais apresentados anteriormente. Os resultados obtidos nas primeiras simulações respeitavam a condição dos $\pm 10\%$ em relação ao consumo de energia elétrica, no entanto eram inferiores quando comparados com a faturação do gás natural, sendo necessário realizar ajustes no modelo. O tempo de funcionamento das caldeiras para o aquecimento ambiente e para o aquecimento de águas quentes sanitárias foram ajustados, pois na primeira fase estavam subdimensionados.

Após esse ajuste os resultados obtidos em relação ao consumo anual de energia elétrica e gás natural são os presentes na Tabela 6.1-1, ao comparar as faturas de 2013 com os resultados da simulação verifica-se que a diferença global da simulação é de -4.59%, isto é, os valores obtidos na simulação são um pouco superiores quando comparados com a

fatura. De salientar que a diferença de energia elétrica é apenas de 0.82% resultando do exaustivo levantamento de cargas feito e anteriormente apresentado.

A diferença em relação ao gás natural é de -8.85%, mas é importante lembrar que os próprios consumos da ESE são uma estimativa, pois há uma partilha do contador com outro edifício como anteriormente descrito.

Tabela 6.1-1 Consumos globais faturados e consumos globais previstos pela simulação

	Fatura	Simulação	Diferença	Diferença
	(MWh)	(MWh)	(MWh)	(%)
Energia elétrica	284.06	281.74	2.32	0,82%
Gás natural	359.84	391.68	-31.84	-8,85%
Total	643.90	673.43	-29.53	-4,59%

6.2. Necessidades de aquecimento

A ferramenta DesignBuilder permite dimensionar os sistemas de climatização para dar resposta às condições meteorológicas no período de Inverno, isto é, determina as necessidades de aquecimento do edifício nas condições meteorológicas extremas. Ao efetuar a simulação das necessidades energéticas de aquecimento o software considera que a temperatura externa no período de inverno é constante, a velocidade e direção do vento são estimadas, não considera os ganhos solares tal como os ganhos internos, isto é, iluminação, equipamentos e ocupação. Ainda é considerado a condução de calor e convecção entre zonas a diferentes temperaturas.

A simulação das necessidades de aquecimento permite obter os resultados relativos à temperatura e energia. Em relação à temperatura é possível verificar a temperatura do ar interna, a temperatura radiante, a temperatura operativa e a temperatura externa do bolbo seco.

Verifica-se que a temperatura interna do ar é cerca de 17.88 °C enquanto a temperatura radiante é de 16.11 °C, a temperatura operativa é resultante da média da temperatura do ar interno com a temperatura resultante, neste caso é de 17 °C, de acordo com Gráfico

6.2-1. Por último a temperatura exterior é de -3.5°C , de salientar que este valor não tem em consideração a humidade.

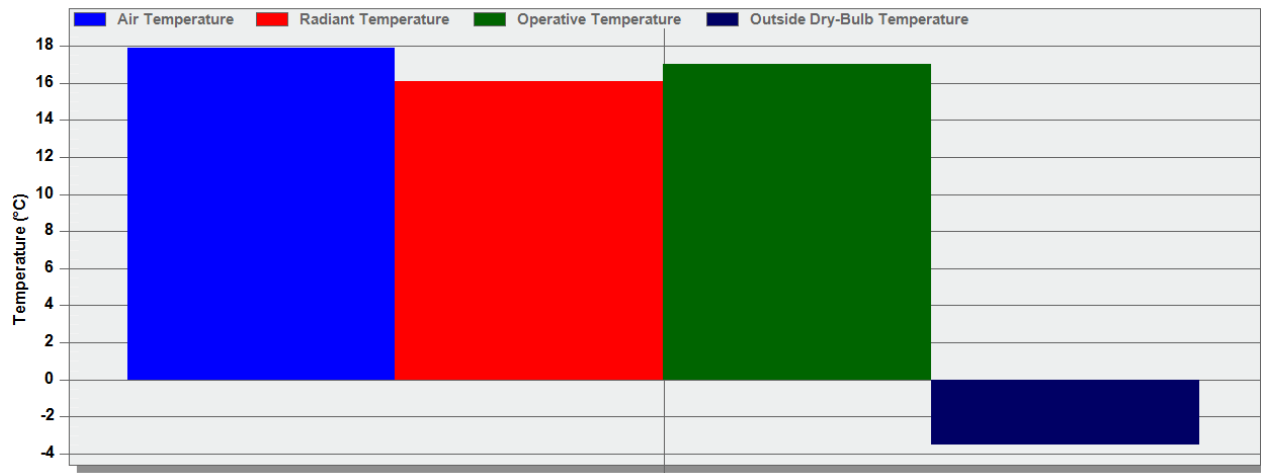


Gráfico 6.2-1 Temperatura do ar interno, radiante e operativa para o edifício em estudo para o dia com condições climatéricas extremas

A temperatura radiante é a temperatura de uma superfície uniforme de um ambiente imaginário, no qual a troca de calor por radiação é a mesma de que num ambiente real não uniforme. Por sua vez a temperatura operativa consiste na temperatura uniforme de um ambiente imaginário na qual um ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação e convecção como no ambiente real não uniforme.

A simulação no estado estacionário é feita de modo contínuo até que os fluxos de temperatura em cada zona convergiam, calculando o aquecimento necessário para manter os pontos de ajuste de temperatura em cada zona e demonstra qual a perda de calor total dividido em envidraçados, paredes, divisórias, telhado, infiltração externa e ventilação natural, isto é, o calor perdido através das janelas, portas ou aberturas.

Para todo o edifício verifica-se que apenas há ganhos energéticos através das coberturas e rês do chão, de 13.33 e 3.67 kW, respetivamente. Em relação às perdas de energia as que com maior impacto são as perdas através da infiltração externa, com -148 kW, e os envidraçados e paredes com sensivelmente -43 kW cada, de acordo com Gráfico 6.2-2. Dadas as perdas e ganhos de energia é possível determinar os gastos totais para o aquecimento representado pela barra vermelha que corresponde à soma absoluta de todos os dados presentes no gráfico, neste caso é de 291.08 kW.

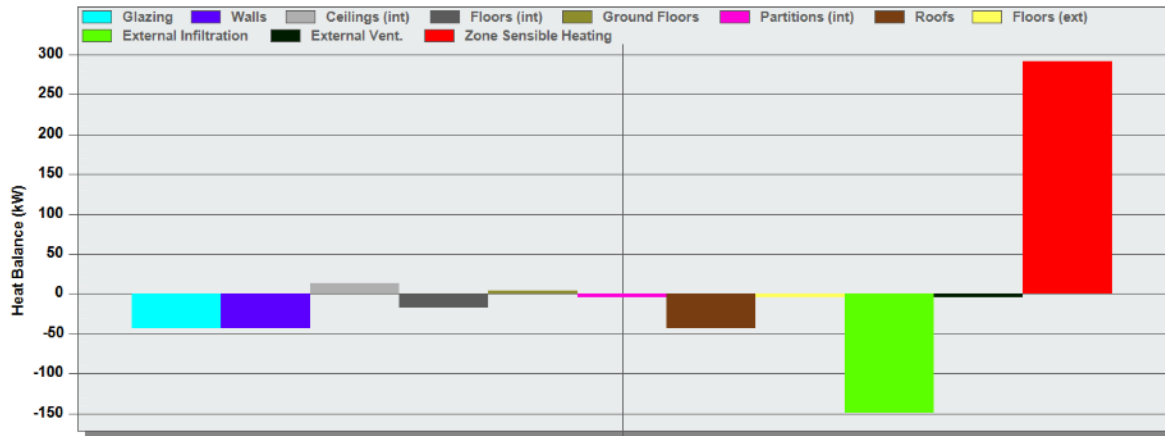


Gráfico 6.2-2 Transferência de energia de todo o edifício

A perda total de calor em cada zona é multiplicada por um fator de segurança de 1.25 de modo obter o dimensionamento adequado do sistema AVAC do edifício em relação às necessidades de aquecimento, assim o edifício em estudo tem uma capacidade total de aquecimento de 363.86 kW. Este fator de segurança é recomendado pelo DesignBuilder para edifícios presentes na Europa. À partida as caldeiras presentes no edifício para o aquecimento ambiente conseguem dar resposta às necessidades energéticas. Esta simulação não tem em conta os ganhos internos de edifício como anteriormente referido, na realidade estas cargas ao libertarem calor fazem com que as necessidades energéticas do edifício diminuam pois a temperatura interior das zonas com equipamentos e mais utilizadas serão superiores quando comparadas quando a zona não tem qualquer ganho interno.

As necessidades energéticas variam de piso para piso devido à taxa de ocupação, orientação, cargas elétricas e exposição solar, sendo importante realizar uma análise mais detalhada. O piso com maiores necessidades de aquecimento é o 0, enquanto o piso cave não tem qualquer necessidade de aquecimento, de acordo com a Tabela 6.2-1, visto que este piso não possui nenhum sistema AVAC.

Tabela 6.2-1 Necessidades de aquecimento por piso

Piso	Calor sensível (kW)	Capacidade total de aquecimento (kW)
Cave	0.00	0.00
0	149.34	186.68
1	86.78	108.48
2	54.96	68.70
Total	291.08	363.86

O piso 2 é o que possui uma menor necessidade de aquecimento mas é necessário avaliar a capacidade total de aquecimento tendo em conta a área de casa piso. Dada esta situação continua a ser o piso 0 com maior capacidade total de aquecimento de 0.052 kW/m², enquanto o piso 1 passa a ser o piso com menor necessidade de aquecimento por m².

Tabela 6.2-2 Necessidade de aquecimento por área

Piso	Área (m²)	Capacidade total de aquecimento (kW)	kW/m²
0	3612	186.68	0.052
1	2451	108.48	0.044
2	1526	68.70	0.045
Total	7589	368.86	0.048

As necessidades de aquecimento também são conhecidas por zona de cada piso, e verifica-se que as zonas com maior necessidade de aquecimento são as salas de aula com cerca de 135 kW e os vários com 119 kW, de acordo com a Tabela 6.2-3. Por vários entende-se as restantes zonas como reprografia, estúdio, montagem e anfiteatro, entre outras.

Tabela 6.2-3 Necessidades de aquecimento por zona

Piso	Gabinete	Ginásio	Salas	Vários
0	11.65	21.32	59.6	94.12
1	6.6	0	76.73	25.17
2	68.7	0	0	0
Total	86.95	21.32	136.33	119.29

Em relação ao ginásio verifica-se que este tem necessidade de aquecimento na ordem dos 21 kW, e o sistema de climatização aqui presente não é o mesmo que no restante edifício, aqui é utilizado um aquecedor na ordem dos 15 kW, para em período de aula aquecer o espaço.

6.2.1. Aquecimento durante o ano

De modo a obter a temperatura de conforto no período de inverno são utilizadas os sistemas de climatização anteriormente apresentados, e o programa utilizado faz a simulação tendo em conta todas as características dos vários sistemas AVAC e as restantes cargas presentes no edifício, nomeadamente iluminação, equipamentos, ganhos solares e ocupação.

Verifica-se que há medida que a temperatura do bolbo seco aumenta os gastos para o aquecimento ambiente tem o comportamento oposto, isto é, há uma redução de consumo de energia. Anualmente o consumo de energia para suprimir as necessidades energéticas respetivas ao aquecimento do edifício é de sensivelmente 200 MWh.

No Gráfico 6.2.1-1 observa-se que há uma redução progressiva de Janeiro a Junho em relação ao consumo de energia para o aquecimento ambiente. No período de Junho a início de Setembro o consumo é praticamente nulo. Como consequência da diminuição da temperatura do bolbo seco de Setembro a Dezembro o consumo de energia aumenta significativamente.

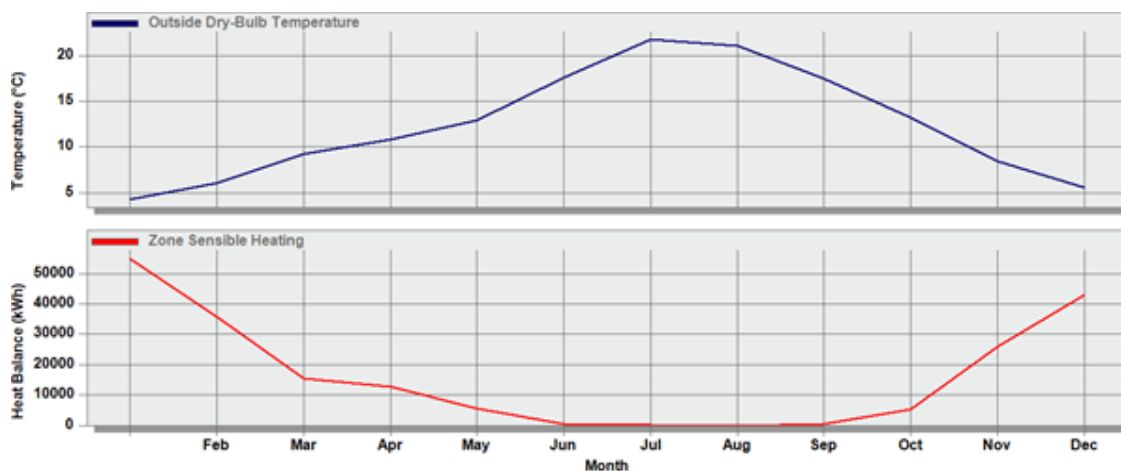


Gráfico 6.2.1-1 Necessidades mensais de aquecimento e respetivas temperaturas do bolbo seco

Ao fazer uma análise mais detalhada, isto é, diária verifica-se que o comportamento não é linear como o comportamento mensal, pois as temperaturas variam diariamente. No Gráfico 6.2.1-2 verifica-se há uma constante necessidade de aquecimento de Outubro a Maio e que depois apenas existe reduzidos consumos, a partir de 20 Maio as necessidades são inferiores a 790 kWh. Em Setembro existe umas pequenas oscilações na ordem dos 30 kWh, e o máximo ocorre a 30 de Dezembro com necessidades na ordem dos 3070 kWh, neste dia a temperatura do bolbo seco é de 1.18°C.

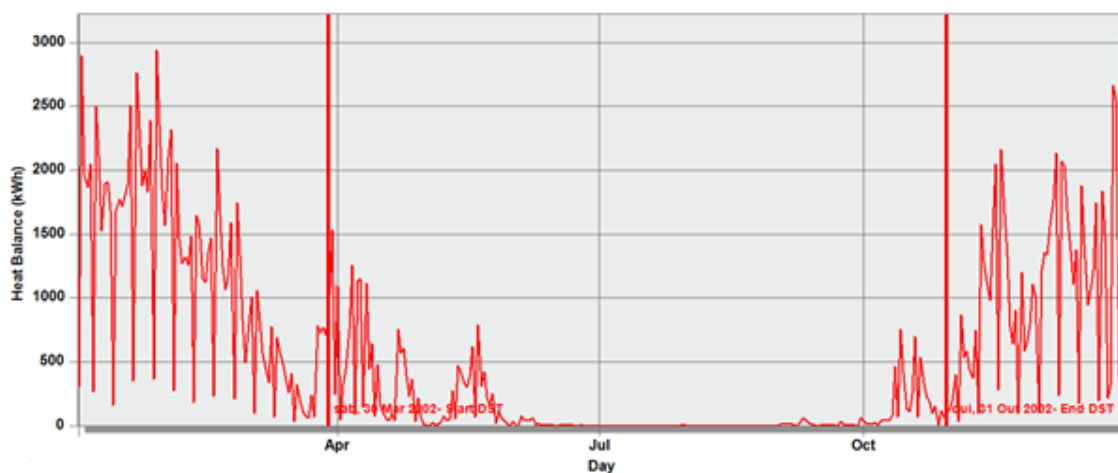


Gráfico 6.2.1-2 Necessidades diárias de aquecimento

6.3. Necessidades de arrefecimento

Tal como foi determinado as necessidades de aquecimento do edifício, o DesgibnBuilder também permite determinar as necessidades de arrefecimento. A simulação é feita para o dia com as condições mais extremas no período de Verão, neste caso 15 de Julho.

As necessidades de arrefecimento são determinadas considerando que não há vento, condução e convecção de calor entre zonas de diferentes temperaturas. Inclui ganhos solares através dos envidraçados, considera os ganhos internos dos ocupantes, iluminação e outros equipamentos.

Tal como nas necessidades de aquecimento, é considerado um fator de segurança para determinar o dimensionamento do sistema AVAC, que nesta situação é de 1.15.

A ESE contém duas UTA's anteriormente descritas, que apenas fazem a climatização no Verão do anfiteatro e da reprografia, ou seja, as necessidades de arrefecimento são muito baixas. Para o anfiteatro as necessidades são de cerca de 3kW enquanto para a reprografia de 1.26 kW.

As necessidades de arrefecimento são praticamente nulas pois os cálculos são realizados tendo em conta os sistema AVAC presentes no edifício, assim não significa que no Verão seja atingido o conforto térmico sem recorrer a sistemas de climatização, contudo o edifício não os possui.

6.4. Balanço energético da envolvente

A carga térmica total de um edifício normalmente é determinada com as seguintes cargas térmicas parciais: condução através das paredes, envidraçados, teto e pavimento, radiação solar através dos envidraçados e ganhos internos devido à iluminação, taxa de ocupação e equipamentos.

Para o edifício da ESE verifica-se que o balanço anual é de cerca de -470 MWh, isto é, a envolvente do edifício perde calor no balanço anual, em especial através dos envidraçados e paredes, com respetivamente 157.67 e 162.98 MWh, de acordo com Gráfico 6.4-1. A cobertura por sua vez é que tem um balanço energético anual positivo com cerca de 105 MWh.

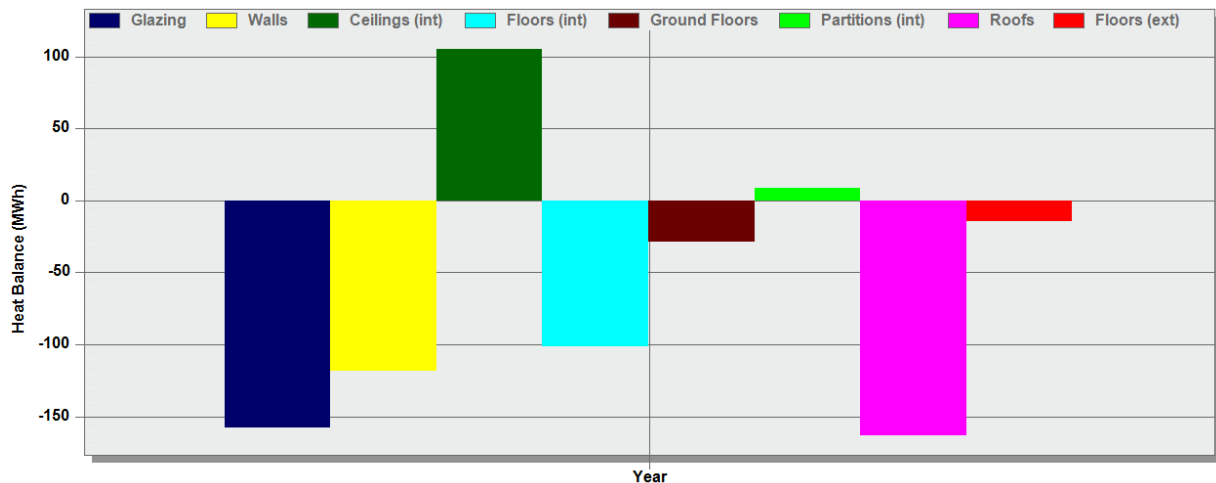


Gráfico 6.4-1 Balanço energético anual dos vários elementos da envolvente

Dada que as características dos vãos envidraçados e das paredes exteriores são idênticas para todo o edifício, as perdas através destes dois elementos são uniformes pelos vários pisos, variando de acordo com a sua área.

O calor armazenado por um elemento construtivo depende da espessura e das propriedades físicas dos seus materiais, da localização do elemento e da diferença da temperatura interna e do meio exterior. Também um fator importante se o elemento encontra-se sob a ação da radiação solar.

A carga térmica de um edifício consiste no calor sensível e latente que o sistema de climatização deve retirar ou fornecer ao ar ambiente para assegurar a temperatura de conforto. A carga térmica varia ao longo do dia, devido aos níveis de radiação solar também variarem e também à inércia térmica dos vários espaços do edifício, e tal verifica-se no Gráfico 6.4-2.

Ao analisar a carga térmica de todo o edifício mensalmente verifica-se que há oscilações no comportamento dos vários elementos, em especial das coberturas. Durante todo o ano este elemento assume um valor positivo, aumentando linearmente desde Abril até Julho. Este comportamento pode ser explicado porque é neste período de tempo que a radiação solar começa a ser mais intensa, no período mais frio o valor é positivo pois as coberturas absorvem calor devido à grande área exposta à radiação solar.

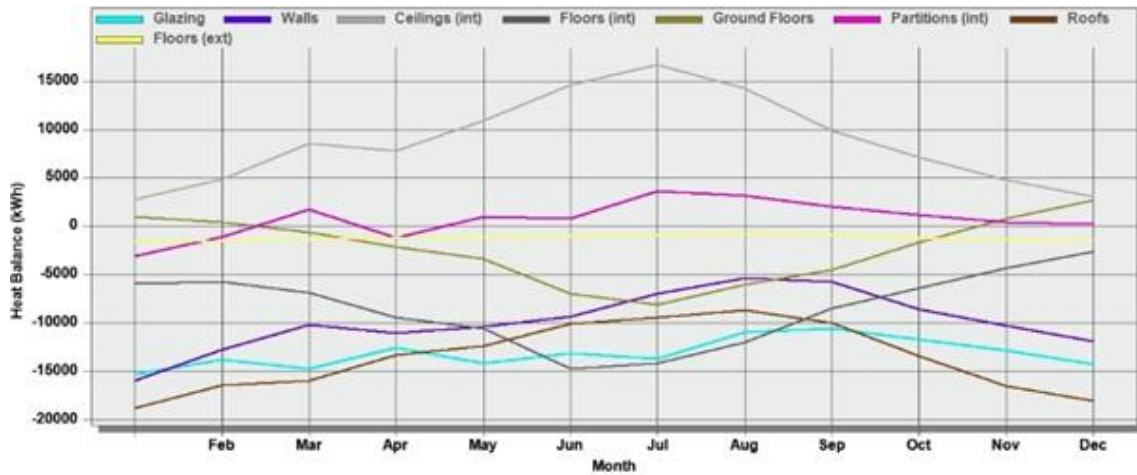


Gráfico 6.4-2 Balanço energético mensal dos vários elementos da envolvente

As transferências de calor para o meio exterior através dos envidraçados e das paredes também diminuem como consequência de um aumento das temperaturas exteriores. Verifica-se que todos os elementos da envolvente atingem o valor mínimo em Janeiro e o máximo em Julho e Agosto, ao comparar com a temperatura do bolbo seco, Gráfico 6.4-3, observa-se que estes são os meses com temperatura mínima e máxima respetivamente, dado assim relevância à diferença de temperaturas entre o meio envolvente e o meio interior.

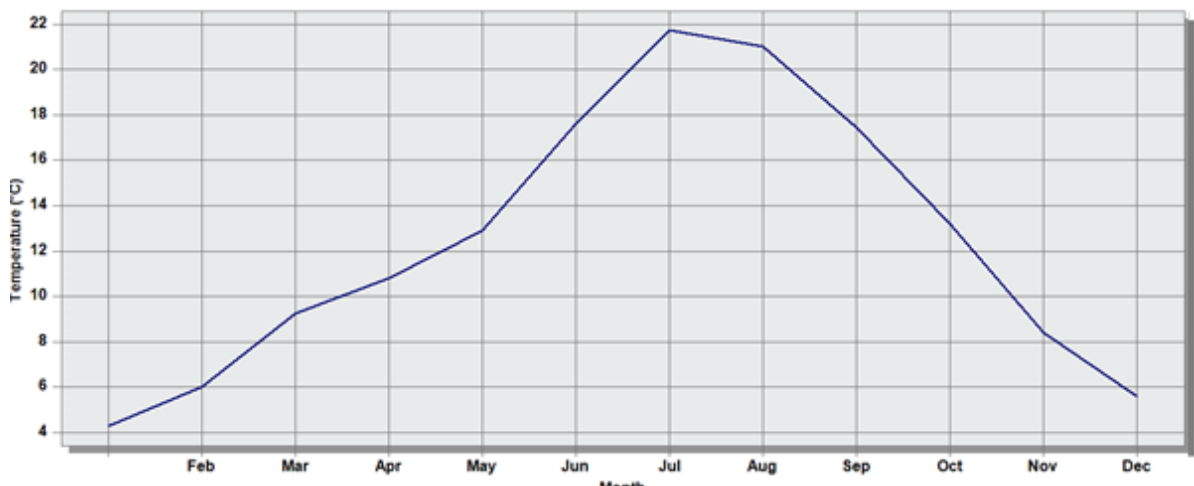


Gráfico 6.4-3 Variação mensal da temperatura do bolbo seco

6.5. Ganhos internos

Os ganhos internos, isto é, o ganho de energia devido à iluminação, equipamentos, ocupação e os ganhos solares de todo o edifício estão presentes no Gráfico 6.5-1. Verifica-se que os ganhos solares são os mais elevados, mas estes serão analisados posteriormente. Em relação aos restantes ganhos internos a ocupação é a que mais contribui anualmente com cerca de 177 MWh, enquanto a iluminação e os equipamentos com 124 e 115 MWh, respetivamente.

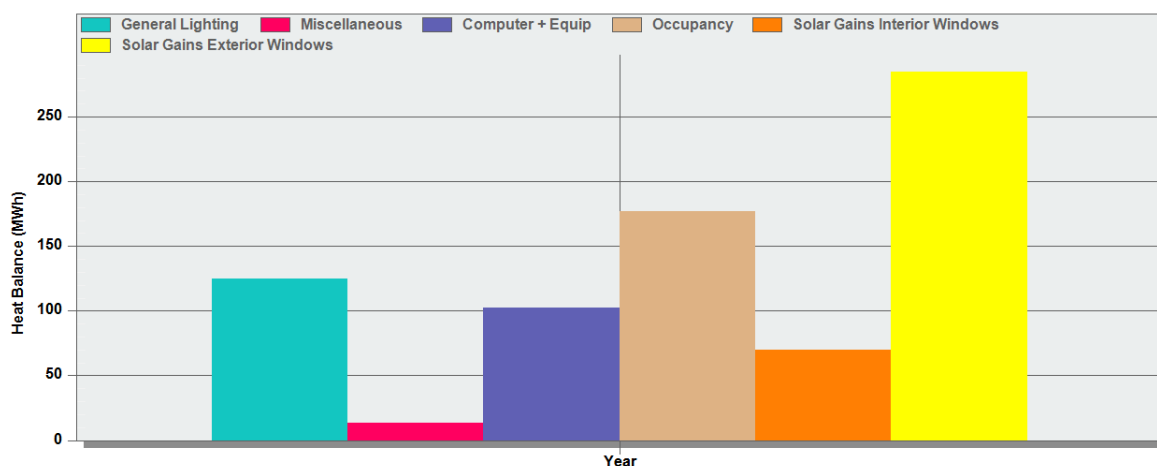


Gráfico 6.5-1 Ganhos internos de todo o edifício em relação à iluminação, equipamentos, ocupação e ganhos solar

Ao analisar o comportamento dos ganhos internos por piso verifica-se que em relação à iluminação e equipamentos o piso com ganhos superiores é o 0, de acordo com Tabela 6.5-1. Em relação à ocupação os pisos 0 e 1 apresentam valores muito semelhantes, enquanto o piso cave é o que tem menores ganhos tanto a nível da iluminação, equipamentos e ocupação, mas dada a sua utilização os valores são os esperados.

De salientar que o piso cave não possui nenhum sistema de aquecimento, caso existisse aumentaria o consumo energético do edifício mas como consequência o conforto térmico deste piso é reduzido.

Tabela 6.5-1 Ganhos internos por piso em relação à iluminação, equipamentos e ocupação

Piso	Iluminação (MWh)	Equipamentos (MWh)	Outros (MWh)	Ocupação (MWh)
Cave	9,51	0,00	9,15	8,00
0	50,42	46,40	4,00	67,23
1	44,69	27,89	0,00	69,20
2	19,97	28,10	0,00	32,87
Total	124,58	102,39	13,15	177,30

6.5.1. Ganhos solares

Além dos ganhos devido às cargas existentes no edifício e do seu perfil de utilização a radiação solar também desempenha um papel fundamental em relação ao ambiente interior, pois o correto aproveitamento dos ganhos solares pode influenciar o consumo energético do edifício e por sua vez a fatura energética.

No edifício em estudo verifica-se que os ganhos solares são elevados, na ordem dos 354 MWh, dos quais 284.65 MWh são recebidos através das janelas exteriores e os restantes 70.12 MWh pelos envidraçados interiores, de acordo com Gráfico 6.5.1-1. Os meses em que há um maior ganho solar são coincidentes com os meses de Verão, comportamento que já era esperado, pois neste período os raios solares incidem perpendicularmente sobre o território português, ou seja, os raios solares atingem Bragança com menor inclinação, logo há um maior ganho de calor por área. Aliado a este fato os dias neste período tem maior duração, logo há um maior ganho de energia solar.

Verifica-se no Gráfico 6.5.1-1 que o máximo ganho pelo edifício corresponde ao início do mês de Julho, com ganhos na ordem dos 46.84 MW considerando os ganhos solares dos envidraçados interiores e exteriores, enquanto o ganho mínimo coincide com os meses de Dezembro (11.73 MWh) e Janeiro (14.30 MWh), sendo este o período com maiores necessidades de aquecimento.

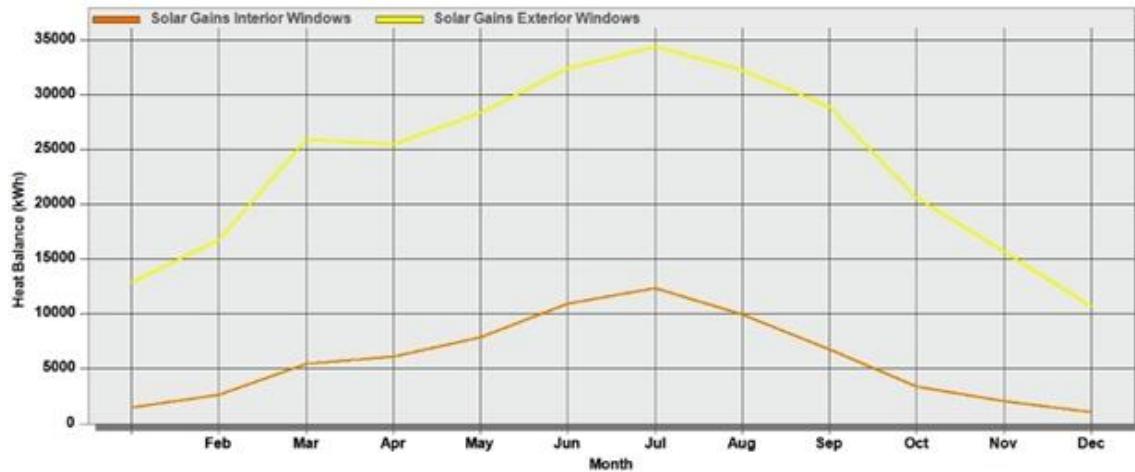


Gráfico 6.5.1-1 Ganhos solares mensais dos envidraçados interiores e exteriores

Os ganhos solares são diferentes em todos os pisos em consequência da orientação e da área dos vãos envidraçados, sendo que o piso 0 é o que recebe mais energia solar, com 41%, enquanto os pisos 1 e 2 recebem 27% e 32% respetivamente. Em relação ao piso cave este não recebe, pois não possui vãos envidraçados.

Ganhos solares por piso

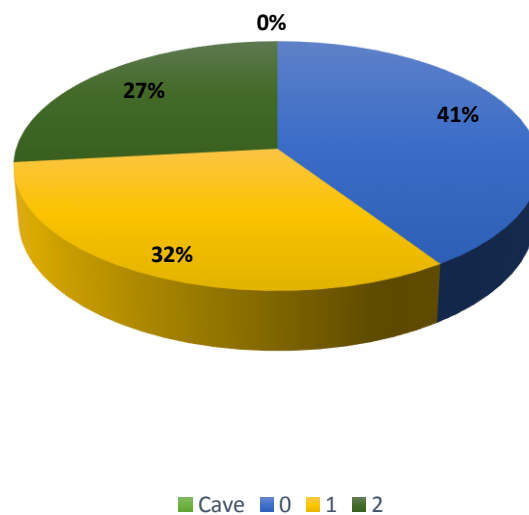


Gráfico 6.5.1-2 Percentagem de ganhos solares por piso

Para realizar uma análise mais detalhada em relação aos ganhos solares por piso, foi tido em conta a área total de cada piso, pois estas oscilam, de modo a determinar os ganhos solares por área, excluindo o piso cave pois este não tem qualquer ganho. Verifica-se que

o piso 0 é o que recebe menos energia por m^2 , enquanto o piso 2 é o que recebe mais na ordem dos $62 \text{ kWh}/m^2$, de acordo com a Tabela 6.5.1-1.

Esta diferença de valores é significativa e pode influenciar o aquecimento ambiente interior na medida em que a caldeira utilizada para os diferentes pisos aquece a água à mesma temperatura e assim é obtido mais rapidamente a sensação de conforto no piso 2 em relação ao piso 0.

Tabela 6.5.1-1 Ganho solar por piso, considerando a área

Piso	Ganho solar (kWh)	Área (m²)	kWh/m²
0	144.246,65	3.612	39,94
1	115.744,84	2.451	47,22
2	94.776,33	1.526	62,11
Total	354.767,82	7.589	46,75

A correta orientação do edifício é fundamental do ponto de vista dos ganhos solares, as vertentes voltadas a sul estão mais expostas ao Sol, assim têm uma maior insolação. Por sua vez as vertentes voltada a norte têm mais horas de sombra, isto é, uma menor insolação.

No edifício em estudo verifica-se que a maior área de envidraçados encontra-se orientada a norte, com 242.30 m^2 . Por sua vez oeste possui a menor área de envidraçados, isto é de 108.5 m^2 , de acordo com a Tabela 6.5.1-2. A nível de rácio janela/parede os vãos envidraçados orientados a este é de cerca de 22%, enquanto os a Oeste apenas representam 9%.

Tabela 6.5.1-2 Rácio de janela/parede de acordo com a orientação

	Total	Norte	Este	Sul	Oeste
Parede [m ²]	5174.78	1398.28	1174.23	1396.98	1205.29
Janela [m ²]	846.90	242.30	256.85	239.25	108.50
Rácio Janela/Parede [%]	16.37	17.33	21.87	17.13	9.00

6.6. Consumo de energia elétrica e gás natural

O edifício em estudo possui um maior consumo de gás natural em relação à energia elétrica, isto é, 391.68 e 281.82 MWh respetivamente, de acordo com Gráfico 6.6-1. O que traduz-se em 44% dos consumos energéticos do edifício são elétricos e os restantes 56% são para dar resposta às necessidades térmicas.

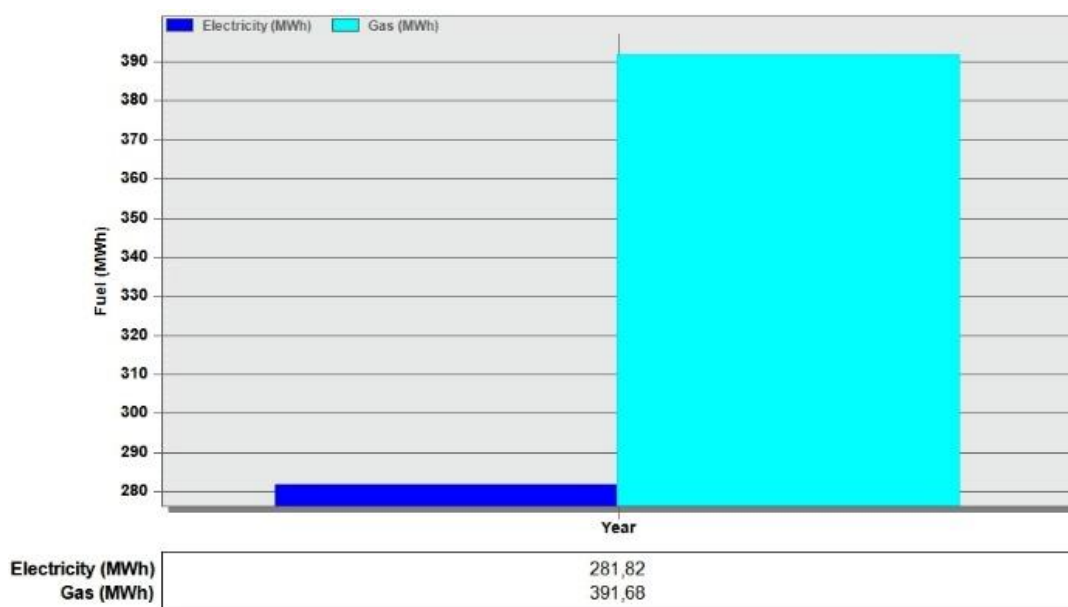


Gráfico 6.6-1 Consumos obtidos com a simulação de energia elétrica e de gás natural

O consumo de energia divide-se por vários setores, em relação ao consumo de energia elétrica do edifício esta diz respeito aos equipamentos presentes, iluminação, bombas, aquecimento e arrefecimento. Por sua vez o gás natural é utilizado para o aquecimento e para água quente sanitária.

O consumo de energia elétrica no edifício é maioritariamente feito pelos equipamentos e pela iluminação, sendo de cerca de 115 e 124 MWh respetivamente, por sua vez o arrefecimento e o sistema de bombagem são responsáveis por 0.08 e 0.01 MWh

respetivamente, enquanto o aquecimento elétrico corresponde a cerca de 41 MWh, de acordo com o Gráfico 6.6-2.

O consumo de energia elétrica associado ao sistema de bombagem está apenas associado ao sistema AVAC, e os reduzidos valores de arrefecimento devem-se a no edifício existir poucas zonas com climatização no Verão, que me termos percentuais representam 0% do consumo total anual do edifício de acordo com o Gráfico 6.6-3.

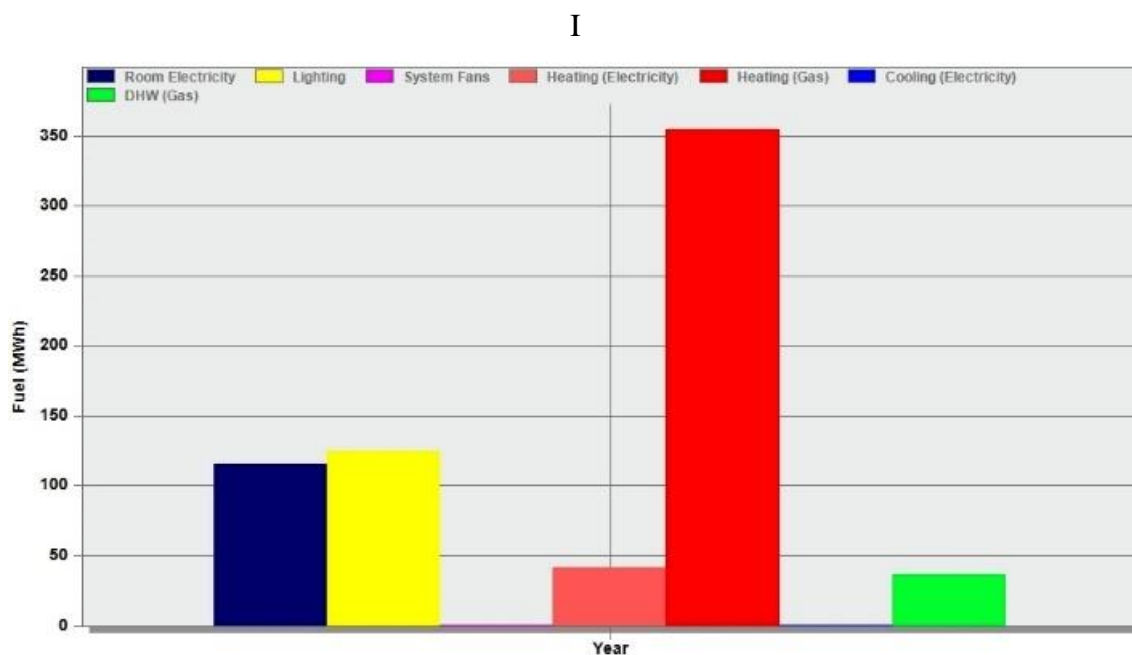


Gráfico 6.6-2 Consumo de energia estimado pela simulação por setor

Em relação ao gás natural verifica-se que é utilizado apenas para duas aplicações: o aquecimento ambiente (355 MWh), e de águas quentes sanitárias (37 MWh), em que na sua totalidade são responsáveis por 56% do consumo energético do edifício, dos quais cerca de 91% do gás natural utilizado é para o aquecimento ambiente e os restantes 9% para o aquecimento de águas quentes sanitárias de acordo com o Gráfico 6.6-3.

Tabela 6.6-1 Consumo estimado por piso relativo aos equipamentos e à iluminação

Piso	Equipamentos		Iluminação	
	MWh	%	MWh	%
Cave	9,15	7,92	9,51	7,67
0	50,40	43,62	49,79	40,14
1	27,89	24,14	44,69	36,05
2	28,10	24,32	19,97	16,11
Total	115,54	100	123,95	100

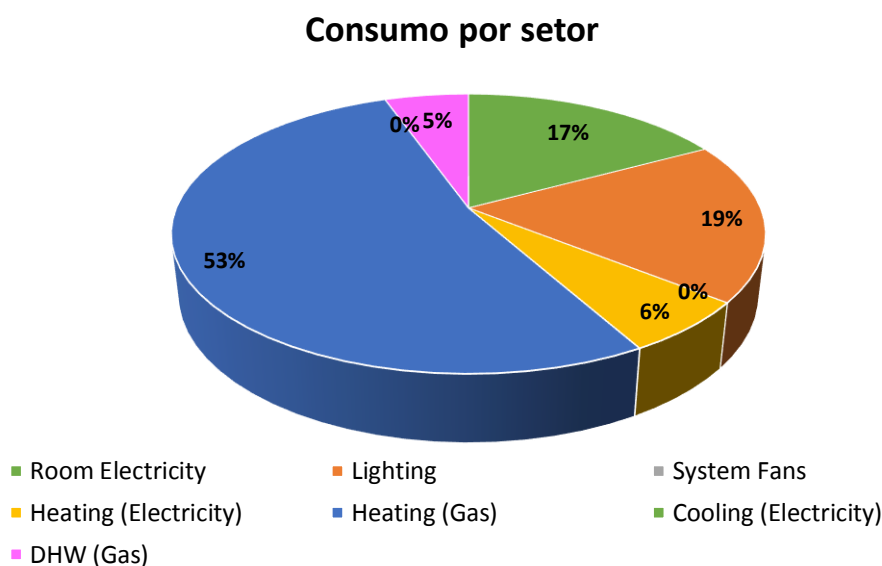


Gráfico 6.6-3 Consumo estimado em percentagem por setor

Dada a localização geográfica do edifício e que as condições climatéricas podem variar de ano para ano aliado ao fato que o DesignBuilder considera um ano médio, pode haver variações notórias em relação ao consumo do gás natural, pois o seu consumo é maioritariamente para o aquecimento ambiental e este depende das condições climáticas. Em anos mais frios este valor tende a aumentar, acontecendo o oposto em anos que o Inverno não é tão rigoroso. Sendo assim é importante regularizar a temperatura e período de funcionamento das duas caldeiras utilizadas para o aquecimento ambiental de acordo com as condições climatéricas previstas.

6.6.1. Emissões estimadas de dióxido de carbono

Em relação às emissões de dióxido de carbono o DesignBuilder estima que anualmente sejam emitidos 269 425 kg, valor superior ao estimado anteriormente que era de cerca de 165 610 kg, e esta diferença significativa deve-se ao fato que o Designbuilder considera os valores de conversão de 0.685 e 0.195 para a energia elétrica e para o gás natural, respectivamente. Apesar dessa diferença o comportamento mensal das emissões de CO₂ são os esperados e presente no Gráfico 6.6.1-1. O mês com menores emissões é Agosto, pois é o período em que há uma menor utilização do edifício.

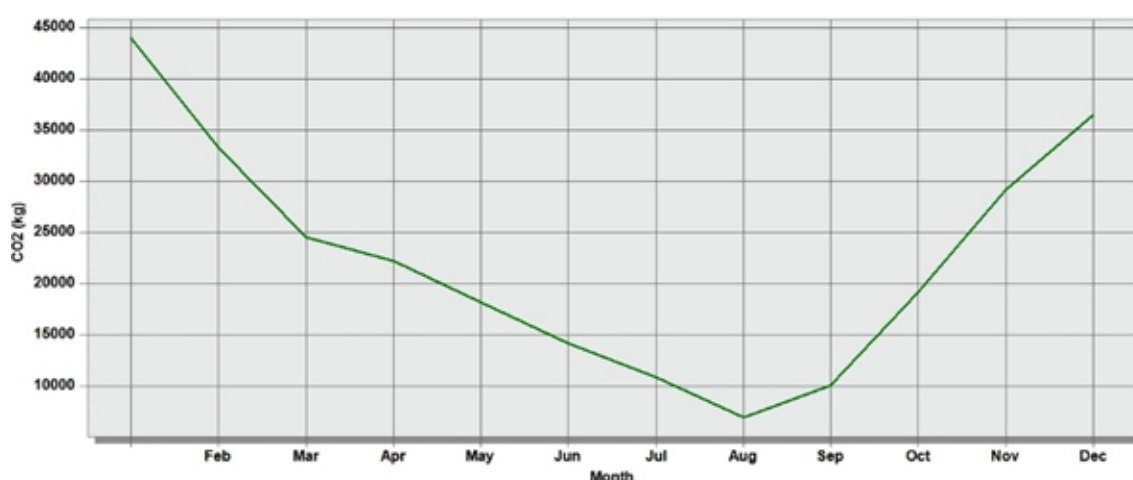


Gráfico 6.6.1-1 Emissões mensais de dióxido de carbono

Em relação ao mês com emissões superiores consta-se que é Janeiro, ou seja, não é mês coincidente com o maior consumo de gás natural como anteriormente discutido, e isto deve-se ao fato que a utilização de equipamentos e iluminação é bastante significativa e o fator de conversão é mais elevado em relação à energia elétrica do que o gás natural.

As emissões de CO₂ de um modo geral diminuí progressivamente de Fevereiro a Setembro, e posteriormente aumentam até fim de Janeiro.

6.7. Classe energética

Dados os consumos energéticos respetivos ao ano de 2013, e com os dados obtidos com a simulação é possível determinar a classe energética do edifício. Relembrado que para tal é necessário:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_s - IEE_{ren}}{IEE_{ref,S}}$$

Em que:

- R_{IEE} rácio de classe energética;
- IEE_s indicador de eficiência energética obtido de acordo com a simulação;
- IEE_{ren} indicador de eficiência energética renovável associado à produção de energia eléctrica a partir de fontes de energias renováveis;
- $IEE_{ref,s}$ indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S.

E que em relação ao ano de 2013, os valores são os presentes na seguinte tabela, o edifício tem uma classe energética de B⁻, importante salientar que já foram implementadas algumas medidas de eficiência energética nomeadamente a instalação do sistema solar fotovoltaico e da bateria de condensadores anteriormente apresentados.

Tabela 6.7-1 Rácio de classe energética

IEE_s	IEE_{ren}	$IEE_{ref,s}$	R_{IEE}	Classe energética
617.963	25.938	673.426	0.88	B ⁻

7. MEDIDAS DE MELHORAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

Dada a detalhada análise feita ao edifício identificaram-se várias oportunidades de racionalização de energia de modo a melhorar o desempenho energético do edifício. Estas medidas podem ser técnicas ou comportamentais.

7.1. Medidas técnicas

A iluminação é responsável por 19% do consumo anual do edifício sendo apenas ultrapassado pelo aquecimento ambiente (53%), assim este setor pode ser alvo de melhorias técnicas. A primeira recomendação é alteração de todas as lâmpadas de halogéneo presentes no edifício serem substituídas por lâmpadas mais eficientes, isto é, LED. No edifício estão presentes 32 lâmpadas de 50 W de halogéneo, totalizando 1600 W com a seguinte distribuição:

- 3 na sala de reuniões 0.6;
- 24 no anfiteatro;
- 5 na biblioteca atual (piso 1).

Verificou-se nas várias visitas ao edifício que algumas destas lâmpadas estavam desligadas devido ao seu elevado consumo, no entanto esta não é a medida mais adequada uma vez que diminui os níveis de iluminação das zonas em questão. Assim recomenda-se que estas 32 lâmpadas sejam substituídas por LED de 8 W ou 10 W, o que traduz-se numa potência máxima de 320 W.

As lâmpadas fluorescentes tubulares no edifício são T8, ou seja, são lâmpadas com maior diâmetro e menor rendimento, recomenda-se que estas lâmpadas sejam alteradas gradualmente visto que existem 1475 lâmpadas fluorescentes tubulares de 36 W, por lâmpadas T5, pois estas apresentam um maior rendimento o que se pode traduzir numa poupança na ordem dos 20%.

Os balastros presentes no edifício são ferromagnéticos e devem ser substituídos por balastros eletrónicos, este como são constituídos por condensadores e bobinas de alta frequência proporcionam um maior fluxo luminoso com menor potência de consumo, isto

é, há uma economia de energia. Contudo esta substituição também deve ser gradual devido ao custo económico.

Outra medida a nível dos equipamentos é a regulação das bombas presentes nas centrais térmicas, pois estavam todas a funcionar à velocidade 3 que é a máxima o que se traduz numa potência mais elevada. Caso estas bombas sejam reguladas para a velocidade 2, o seu consumo passa de 880 W para 680 W no modelo SC-50, e de 1450 W para 1180 W no caso das bombas SC-65.

7.2. Medidas comportamentais

A alteração do comportamento dos utilizadores também é fundamental para uma redução dos consumos energéticos, assim recomenda-se que haja uma campanha de sensibilização para todos os utilizadores, com o objetivo de alertar para a necessidade de quando os equipamentos e iluminação não são utilizados serem desligados e qual o impacto positivo que este comportamento possui tanto a nível económico como a nível ambiental.

Dado que a maioria das aulas teóricas são dadas com recursos à projeção recomenda-se a utilização das salas presentes no piso 1, pois são as que possui uma maior iluminação natural reduzindo assim o número de horas que a iluminação artificial é utilizada.

8. CONCLUSÃO

Dado que o setor dos edifícios é responsável por cerca de 40% do consumo de energia final na Europa, e que este valor pode ser reduzido em 50% com a aplicação de medidas de eficiência energética, verifica-se que o estudo do ponto de vista energético dos edifícios tanto de habitação como de comércio e serviços é fundamental para tomar medidas para a redução da fatura energética.

O principal objetivo deste projeto foi atingido, isto é, construir um modelo em DesignBuilder válido e calibrado do edifício em estudo que permitisse efetuar uma análise energética do edifício de modo a caracterizar os consumos, necessidades e ganhos energéticos.

Dada a simulação comparou-se os valores anuais obtidos com as faturas energéticas para verificar que o modelo era válido e não era ultrapassados os +/- 10% desvio, neste ponto não foram sentidas dificuldades uma vez que o objetivo da calibração do modelo foi atingindo, dado que o desvio era de -4.59%.

Verifica-se que o edifício em estudo têm um consumo energético elevado, e que 56% dos consumos energéticos são relativos ao gás natural como consequência do edifício se situar numa zona climática fria. A maioria do gás natural é utilizado para o aquecimento ambiente mas cerca de 9% é utilizado para o aquecimento de águas quentes sanitárias.

Em relação aos consumos de energia elétrica estes são maioritariamente feitos pela iluminação e equipamentos, representando cerca de 36% do consumo total do edifício.

Por último verificou-se que dada a classe energética razoável do edifício, B⁻, é ainda possível tomar medidas para o melhoramento do desempenho energético e estas podem ser tanto técnicas como comportamentais. A nível das medidas técnicas a iluminação é o setor que pode ser significativamente melhorado, dado que é possível alterar os balastros ferromagnéticos por eletrónicos, substituição das lâmpadas menos eficientes, nomeadamente as de halogéneo e as lâmpadas fluorescentes tubulares T8, por LED e lâmpadas T5 respetivamente.

No início desta dissertação foi apresentada uma questão relacionada com a climatização do edifício. O piso 0 nunca atingia a mesma temperatura de conforto do que os pisos 1 e 2, e quando era feita a regulação das caldeiras para aumentar a temperatura no piso 0 os pisos 1 e 2 ficavam demasiado quentes, o que se traduzia num consumo de gás natural desnecessário.

Com a análise ao edifício verificou-se que esta diferença nas temperaturas dos pisos pode ser consequência deste ser o piso com maior área não climatizada, nomeadamente as circulações, e assim a sensação de mais frio. Outro motivo pode ser uma abertura existente na sala de convívio do bar no piso 0 para o piso 1, com cerca de 72 m², e com aquecimento desta zona o ar quente sobe para o piso 1, ficando esta zona mais fria.

Outro fator que pode ser responsável é a diferença de ganhos solares, o piso 0 é o que possui maiores ganhos solares, mas se for tido em conta os ganhos por m², verifica-se que este piso ganha 39.94 kWh/m², enquanto no piso 1 e 2 estes valores aumentam para 47.22 e 62.11 kWh/m².

As necessidades energéticas do edifício estão muito condicionados pela sua localização geográfica, assim é de extrema importância que haja uma racionalização e uso adequado em especial dos sistemas térmicos de modo a evitar faturas energéticas elevadas.

BIBLIOGRAFIA

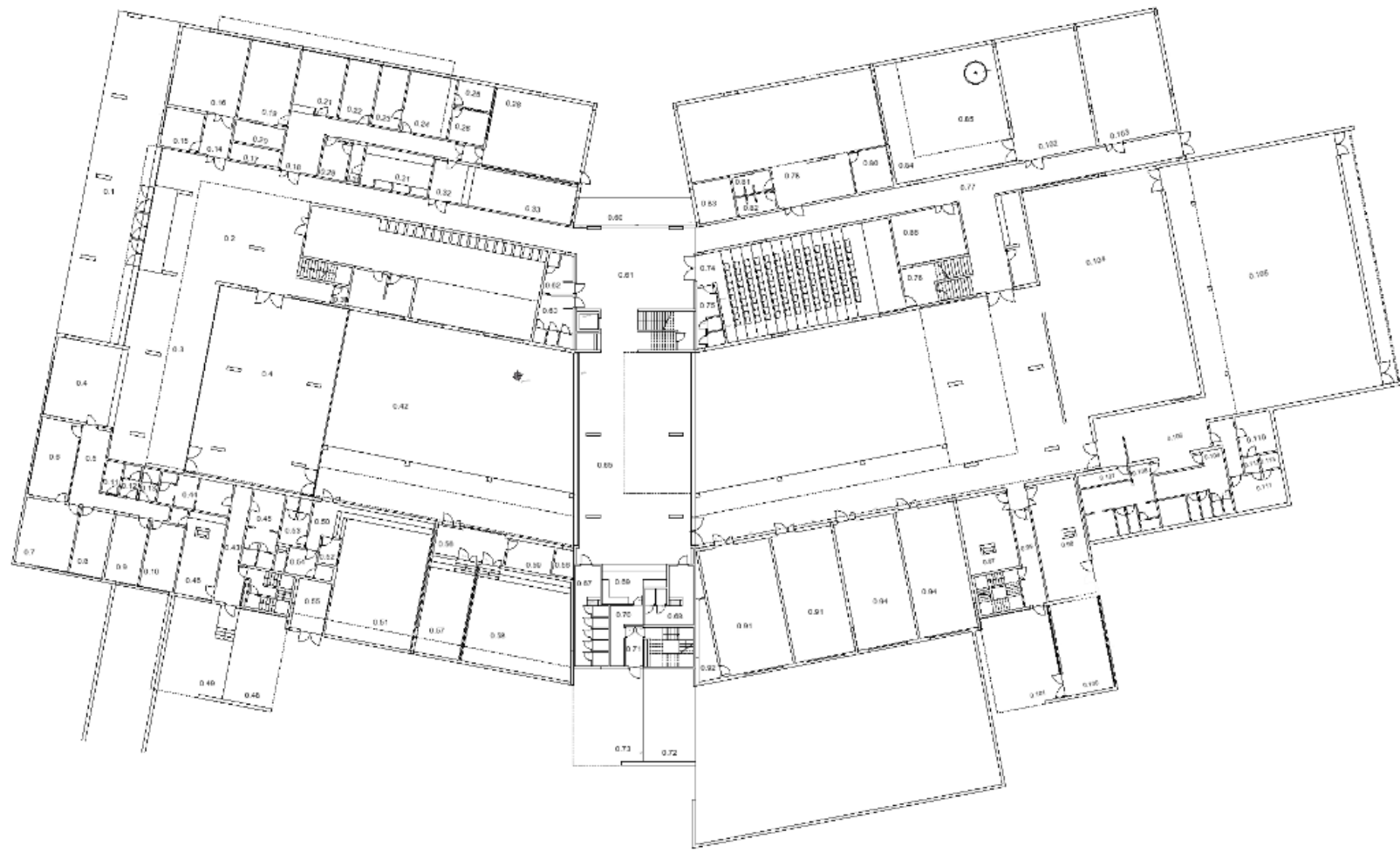
- Natural Works. (15 de Abril de 2014). *DesignBuilder Software*. Obtido de Natural Works: <http://www.natural-works.com>
- ADENE. (2010). *Guia de eficiência energética*. Algés.
- ADENE. (17 de Abril de 2014). *Certificação Energética e Ar Interior*. Obtido de ADENE-Agência para a Energia: <http://www.adene.pt/>
- ASHRAE. (18 de Abril de 2014). *ASHRAE-standards research technology*. Obtido de ASHRAE: <https://www.ashrae.org/>
- Comissão Europeia. (25 de Maio de 2014). *Energia - Lâmpadas economizadoras*. Obtido de Comissão Europeia: <http://ec.europa.eu/>
- Construção Sustentável. (28 de Maio de 2014). *Publicações*. Obtido de Construção sustentável: <http://construcaosustentavel.pt/>
- Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto. (s.d.). *Diário da República nº159/2013- I Série A*. Ministério da Economia e do Emprego: Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Agosto. (s.d.). *Diário da República nº67/2006- I Série A*. Ministério da Economia e da Inovação: Lisboa.
- Direcção Geral de Energia e Geologia. (28 de Maio de 2014). *Áreas setoriais*. Obtido de DGEG: <http://www.dgeg.pt/>
- Diretiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro. (s.d.). *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*. Parlamento Europeu e do Conselho: Bruxelas.
- Diretiva 2010/31/UE de 19 de Maio. (s.d.). *Jornal Oficial da União Europeia*. Estrasburgo: Parlamento Europeu e do Conselho.
- EcoCasa. (29 de Maio de 2014). *Documentação*. Obtido de EcoCasa: <http://ecocasa.pt/>
- ENERGYPLUS. (2013). *ENERGYPLUS Engineering Reference*. Illionois: University of California.
- EnergyPlus. (2013). *Getting started with EnergyPlus*. Illionois: University of California.

- eurostat. (25 de Maio de 2014). *statistics*. Obtido de eurostat:
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>
- Gouveia, P. M. (2008). *Caracterização dos impactes da envolvente no desempenho térmico dos edifícios*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa.
- Isolani, P. (2008). *Eficiência energética nos edifícios residenciais*. Lisboa: Viabrand.
- Luz, S. (2010). *Eficiência Energética de um Edifício de Serviços*. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança.
- OSRAM. (23 de Maio de 2014). *Notícias e conhecimento*. Obtido de OSRAM:
<http://www.osram.pt/>
- Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de Dezembro . (s.d.). *Diário da República, I Série A*. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social.
- VERCAMPUS. (19 de Maio de 2014). *Unidades fotovoltaicas*. Obtido de VERCAMPUS: <http://vercampus.ipb.pt/>
- Vidraria FOCO. (2 de Junho de 2014). *Qualidade*. Obtido de Vidros Foco:
<http://www.vidraria-foco.pt/>

A.PLANTAS DOS PISOS



Figura 0-1 Planta do piso cave

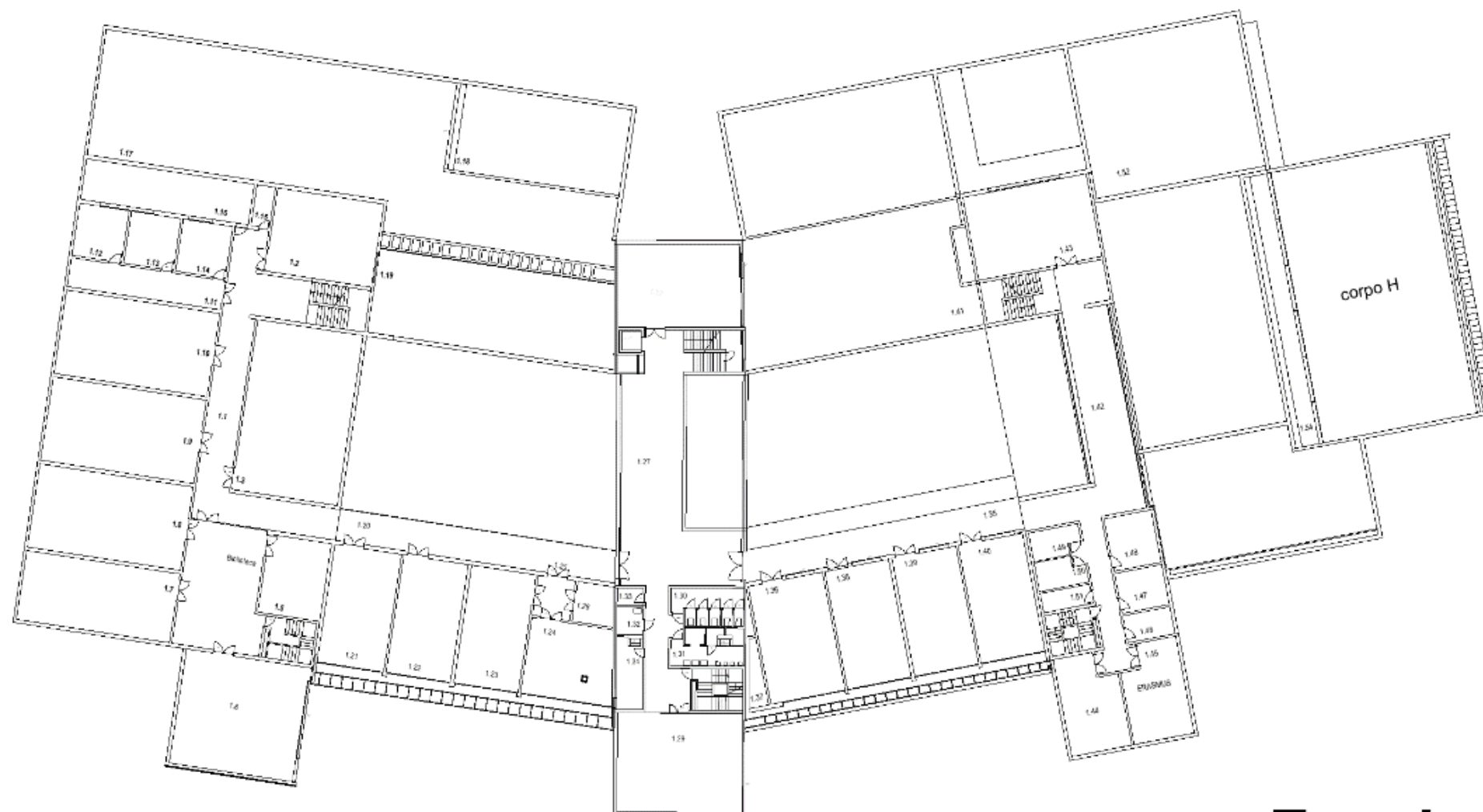


- 0.01 - Foyer
- 0.02 - Sala
- 0.03 - Sala de recepção
- 0.04 - Corredor
- 0.05 - Sala de reuniões
- 0.06 - Sala de reuniões
- 0.07 - Sala de reuniões
- 0.08 - Sala de reuniões
- 0.09 - Sala de reuniões
- 0.10 - Sala de reuniões
- 0.11 - Sala de reuniões
- 0.12 - Sala de reuniões
- 0.13 - Sala de reuniões
- 0.14 - Sala de reuniões
- 0.15 - Sala de reuniões
- 0.16 - Sala de reuniões
- 0.17 - Sala de reuniões
- 0.18 - Sala de reuniões
- 0.19 - Sala de reuniões
- 0.20 - Sala de reuniões
- 0.21 - Sala de reuniões
- 0.22 - Sala de reuniões
- 0.23 - Sala de reuniões
- 0.24 - Sala de reuniões
- 0.25 - Sala de reuniões
- 0.26 - Sala de reuniões
- 0.27 - Sala de reuniões
- 0.28 - Sala de reuniões
- 0.29 - Sala de reuniões
- 0.30 - Sala de reuniões
- 0.31 - Sala de reuniões
- 0.32 - Sala de reuniões
- 0.33 - Sala de reuniões
- 0.34 - Sala de reuniões
- 0.35 - Sala de reuniões
- 0.36 - Sala de reuniões
- 0.37 - Sala de reuniões
- 0.38 - Sala de reuniões
- 0.39 - Sala de reuniões
- 0.40 - Sala de reuniões
- 0.41 - Sala de reuniões
- 0.42 - Sala de reuniões
- 0.43 - Sala de reuniões
- 0.44 - Sala de reuniões
- 0.45 - Sala de reuniões
- 0.46 - Sala de reuniões
- 0.47 - Sala de reuniões
- 0.48 - Sala de reuniões
- 0.49 - Sala de reuniões
- 0.50 - Sala de reuniões
- 0.51 - Sala de reuniões
- 0.52 - Sala de reuniões
- 0.53 - Sala de reuniões
- 0.54 - Sala de reuniões
- 0.55 - Sala de reuniões
- 0.56 - Sala de reuniões
- 0.57 - Sala de reuniões
- 0.58 - Sala de reuniões
- 0.59 - Sala de reuniões
- 0.60 - Sala de reuniões
- 0.61 - Sala de reuniões
- 0.62 - Sala de reuniões
- 0.63 - Sala de reuniões
- 0.64 - Sala de reuniões
- 0.65 - Sala de reuniões
- 0.66 - Sala de reuniões
- 0.67 - Sala de reuniões
- 0.68 - Sala de reuniões
- 0.69 - Sala de reuniões
- 0.70 - Sala de reuniões
- 0.71 - Sala de reuniões
- 0.72 - Sala de reuniões
- 0.73 - Sala de reuniões
- 0.74 - Sala de reuniões
- 0.75 - Sala de reuniões
- 0.76 - Sala de reuniões
- 0.77 - Sala de reuniões
- 0.78 - Sala de reuniões
- 0.79 - Sala de reuniões
- 0.80 - Sala de reuniões
- 0.81 - Sala de reuniões
- 0.82 - Sala de reuniões
- 0.83 - Sala de reuniões
- 0.84 - Sala de reuniões
- 0.85 - Sala de reuniões
- 0.86 - Sala de reuniões
- 0.87 - Sala de reuniões
- 0.88 - Sala de reuniões
- 0.89 - Sala de reuniões
- 0.90 - Sala de reuniões
- 0.91 - Sala de reuniões
- 0.92 - Sala de reuniões
- 0.93 - Sala de reuniões
- 0.94 - Sala de reuniões
- 0.95 - Sala de reuniões
- 0.96 - Sala de reuniões
- 0.97 - Sala de reuniões
- 0.98 - Sala de reuniões
- 0.99 - Sala de reuniões
- 1.00 - Sala de reuniões
- 1.01 - Sala de reuniões
- 1.02 - Sala de reuniões
- 1.03 - Sala de reuniões
- 1.04 - Sala de reuniões
- 1.05 - Sala de reuniões
- 1.06 - Sala de reuniões
- 1.07 - Sala de reuniões
- 1.08 - Sala de reuniões
- 1.09 - Sala de reuniões
- 1.10 - Sala de reuniões

PISO 0

Escala:
1:100

Figura 0-2 Planta do piso 0



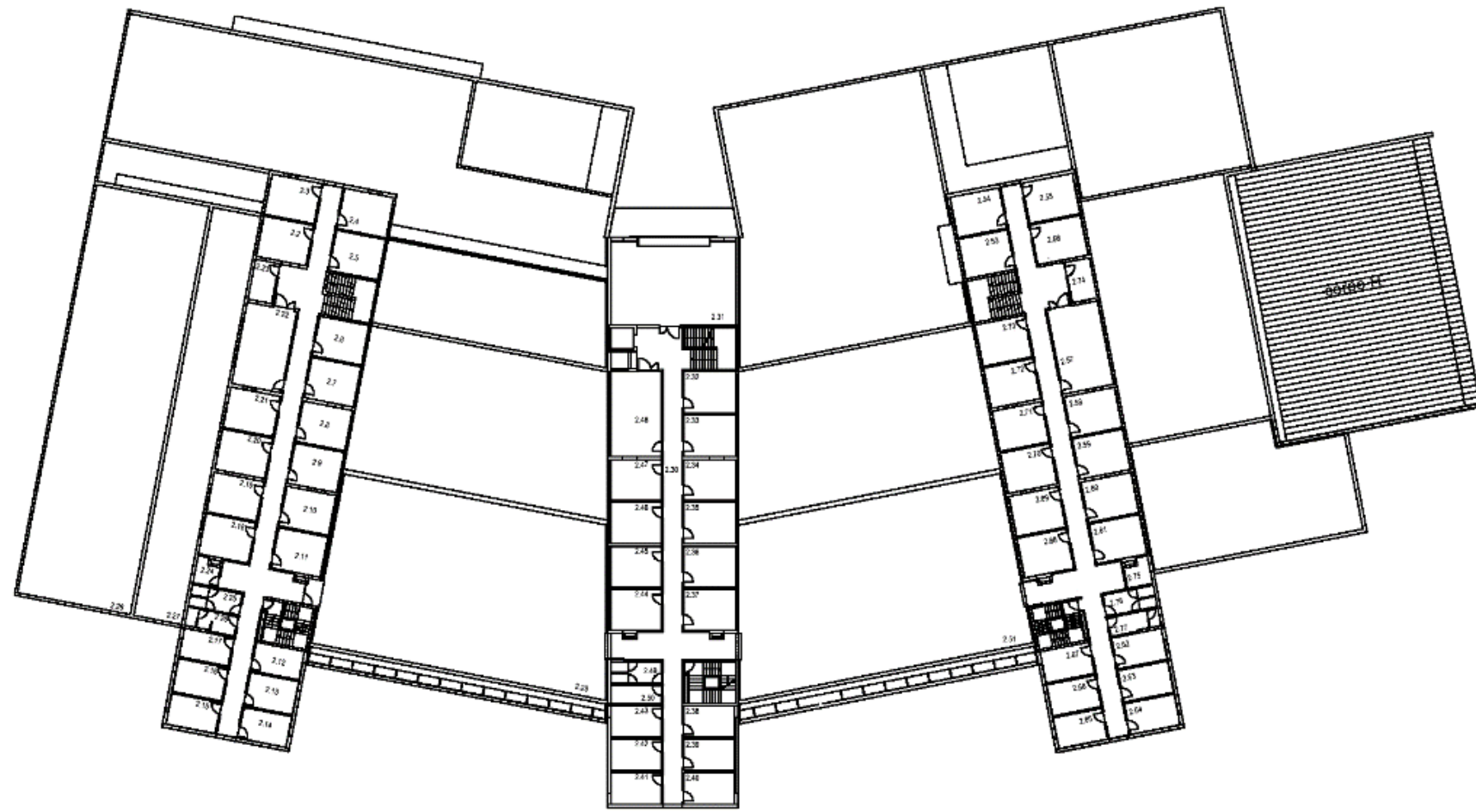
Legenda:

- 1.1 - Circulação
- 1.2 - Sala de aula / Lab. de informática
- 1.3 - Sala de aula
- 1.4 - Sala W. mulher
- 1.5 - Sala W. homem
- 1.6 - Sala de aula
- 1.7 - Sala de aula
- 1.8 - Sala de aula
- 1.9 - Sala de aula
- 1.10 - Sala de aula
- 1.11 - Sala de aula
- 1.12 - Sala de aula
- 1.13 - Sala de aula
- 1.14 - Sala de aula
- 1.15 - Sala de aula
- 1.16 - Sala de aula
- 1.17 - Sala de aula
- 1.18 - Sala de aula
- 1.19 - Sala de aula
- 1.20 - Sala de aula
- 1.21 - Sala de aula
- 1.22 - Sala de aula
- 1.23 - Sala de aula
- 1.24 - Sala de aula
- 1.25 - Sala de aula
- 1.26 - Sala de aula
- 1.27 - Sala de aula
- 1.28 - Sala de aula
- 1.29 - Sala de aula
- 1.30 - Sala de aula
- 1.31 - Sala de aula
- 1.32 - Sala de aula
- 1.33 - Sala de aula
- 1.34 - Sala de aula
- 1.35 - Sala de aula
- 1.36 - Sala de aula
- 1.37 - Sala de aula
- 1.38 - Sala de aula
- 1.39 - Sala de aula
- 1.40 - Sala de aula
- 1.41 - Sala de aula
- 1.42 - Sala de aula
- 1.43 - Sala de aula
- 1.44 - Sala de aula
- 1.45 - Sala de aula
- 1.46 - Sala de aula
- 1.47 - Sala de aula
- 1.48 - Sala de aula
- 1.49 - Sala de aula
- 1.50 - Sala de aula
- 1.51 - Sala de aula
- 1.52 - Sala de aula
- 1.53 - Sala de aula
- 1.54 - Sala de aula
- 1.55 - Sala de aula
- 1.56 - Sala de aula
- 1.57 - Sala de aula
- 1.58 - Sala de aula
- 1.59 - Sala de aula
- 1.60 - Sala de aula
- 1.61 - Sala de aula
- 1.62 - Sala de aula
- 1.63 - Sala de aula
- 1.64 - Sala de aula
- 1.65 - Sala de aula
- 1.66 - Sala de aula
- 1.67 - Sala de aula
- 1.68 - Sala de aula
- 1.69 - Sala de aula
- 1.70 - Sala de aula
- 1.71 - Sala de aula
- 1.72 - Sala de aula
- 1.73 - Sala de aula
- 1.74 - Sala de aula
- 1.75 - Sala de aula
- 1.76 - Sala de aula
- 1.77 - Sala de aula
- 1.78 - Sala de aula
- 1.79 - Sala de aula
- 1.80 - Sala de aula
- 1.81 - Sala de aula
- 1.82 - Sala de aula
- 1.83 - Sala de aula
- 1.84 - Sala de aula
- 1.85 - Sala de aula
- 1.86 - Sala de aula
- 1.87 - Sala de aula
- 1.88 - Sala de aula
- 1.89 - Sala de aula
- 1.90 - Sala de aula
- 1.91 - Sala de aula
- 1.92 - Sala de aula
- 1.93 - Sala de aula
- 1.94 - Sala de aula
- 1.95 - Sala de aula
- 1.96 - Sala de aula
- 1.97 - Sala de aula
- 1.98 - Sala de aula
- 1.99 - Sala de aula
- 1.100 - Sala de aula

PISO 1

Escala:
1:100

Figura 0-3 Planta do piso 1



0.01	Corredor
0.02	Sanitário
0.03	Sanitário
0.04	Sanitário
0.05	Sanitário
0.06	Sanitário
0.07	Sanitário
0.08	Sanitário
0.09	Sanitário
0.10	Sanitário
0.11	Sanitário
0.12	Sanitário
0.13	Sanitário
0.14	Sanitário
0.15	Sanitário
0.16	Sanitário
0.17	Sanitário
0.18	Sanitário
0.19	Sanitário
0.20	Sanitário
0.21	Sanitário
0.22	Sanitário
0.23	Sanitário
0.24	Sanitário
0.25	Sanitário
0.26	Sanitário
0.27	Sanitário
0.28	Sanitário
0.29	Sanitário
0.30	Sanitário
0.31	Sanitário
0.32	Sanitário
0.33	Sanitário
0.34	Sanitário
0.35	Sanitário
0.36	Sanitário
0.37	Sanitário
0.38	Sanitário
0.39	Sanitário
0.40	Sanitário
0.41	Sanitário
0.42	Sanitário
0.43	Sanitário
0.44	Sanitário
0.45	Sanitário
0.46	Sanitário
0.47	Sanitário
0.48	Sanitário
0.49	Sanitário
0.50	Sanitário
0.51	Sanitário
0.52	Sanitário
0.53	Sanitário
0.54	Sanitário
0.55	Sanitário
0.56	Sanitário
0.57	Sanitário
0.58	Sanitário
0.59	Sanitário
0.60	Sanitário
0.61	Sanitário
0.62	Sanitário
0.63	Sanitário
0.64	Sanitário
0.65	Sanitário
0.66	Sanitário
0.67	Sanitário
0.68	Sanitário
0.69	Sanitário
0.70	Sanitário
0.71	Sanitário
0.72	Sanitário
0.73	Sanitário
0.74	Sanitário
0.75	Sanitário
0.76	Sanitário
0.77	Sanitário
0.78	Sanitário
0.79	Sanitário
0.80	Sanitário
0.81	Sanitário
0.82	Sanitário
0.83	Sanitário
0.84	Sanitário
0.85	Sanitário
0.86	Sanitário
0.87	Sanitário
0.88	Sanitário
0.89	Sanitário
0.90	Sanitário
0.91	Sanitário
0.92	Sanitário
0.93	Sanitário
0.94	Sanitário
0.95	Sanitário
0.96	Sanitário
0.97	Sanitário
0.98	Sanitário
0.99	Sanitário
1.00	Sanitário

PISO 2

Escala:
1:100

Figura 0-4 Planta do piso 2

B.ESQUEMA DOS PISOS NA SIMULAÇÃO

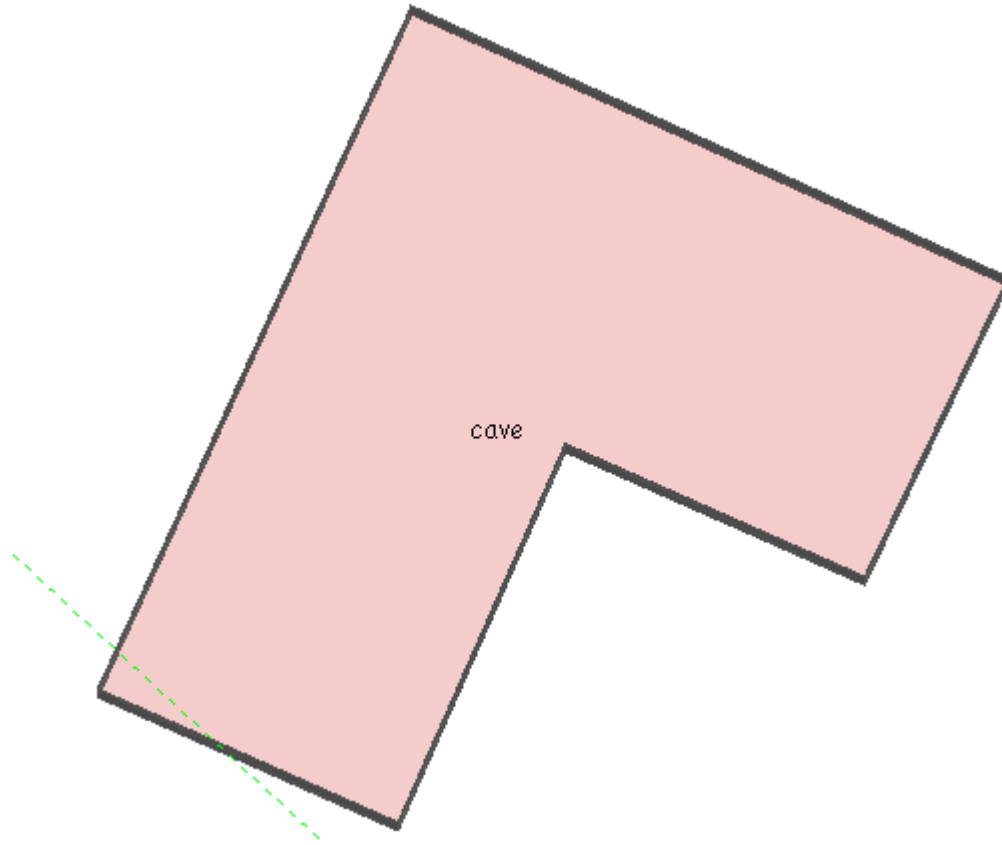


Figura 0-1 Zoneamento do piso cave

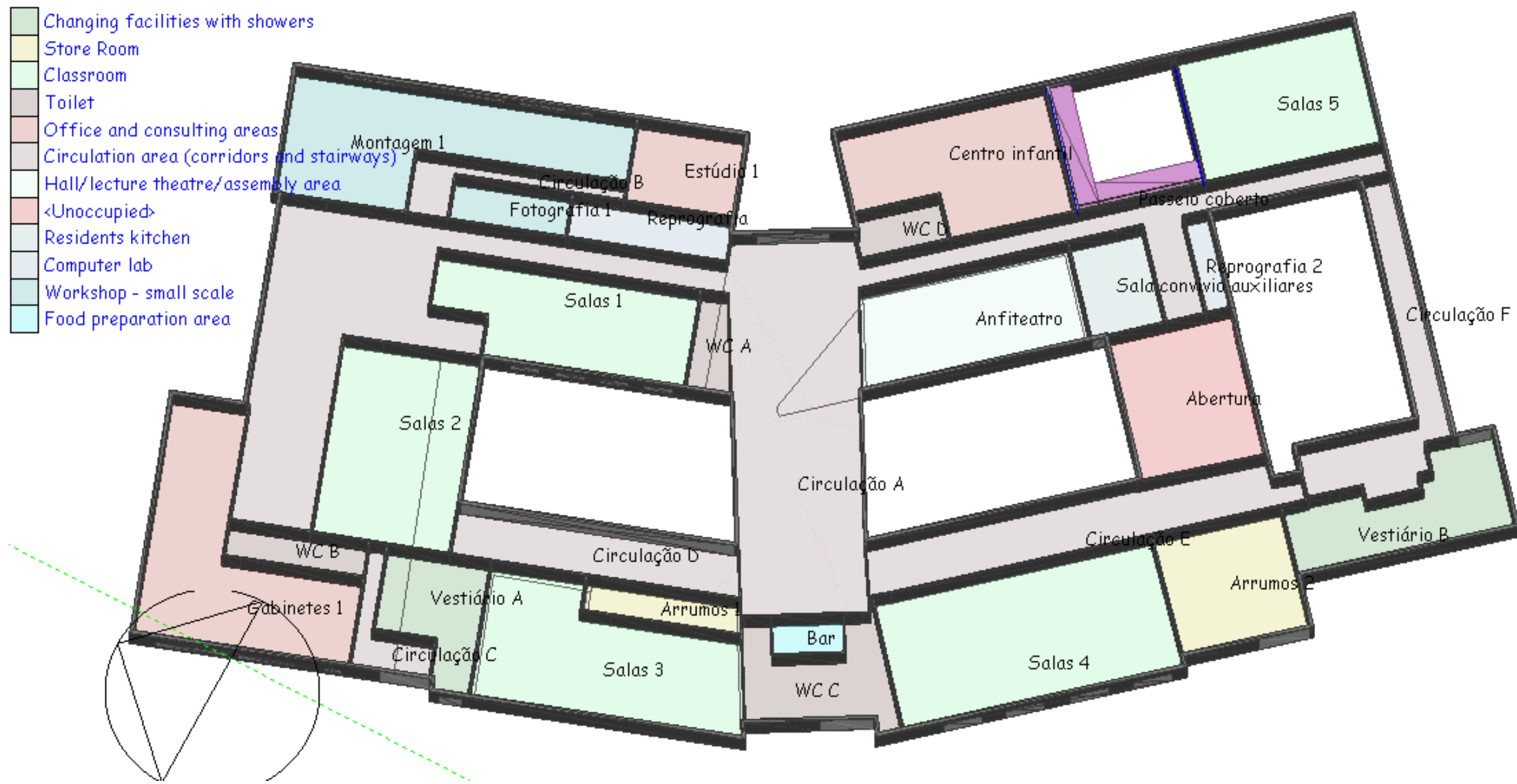


Figura 0-2 Zoneamento do piso 0

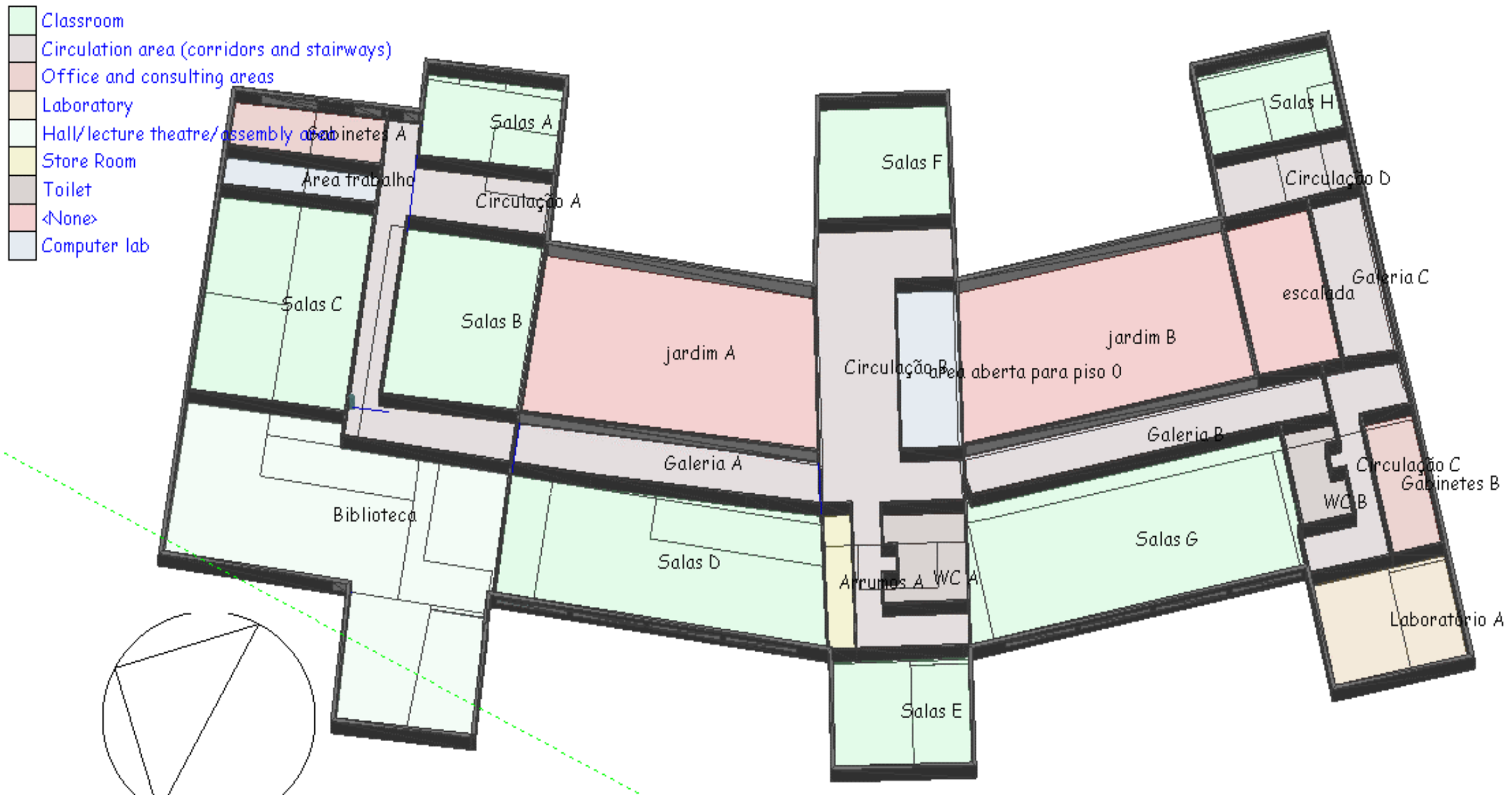


Figura 0-3 Zoneamento do piso 1

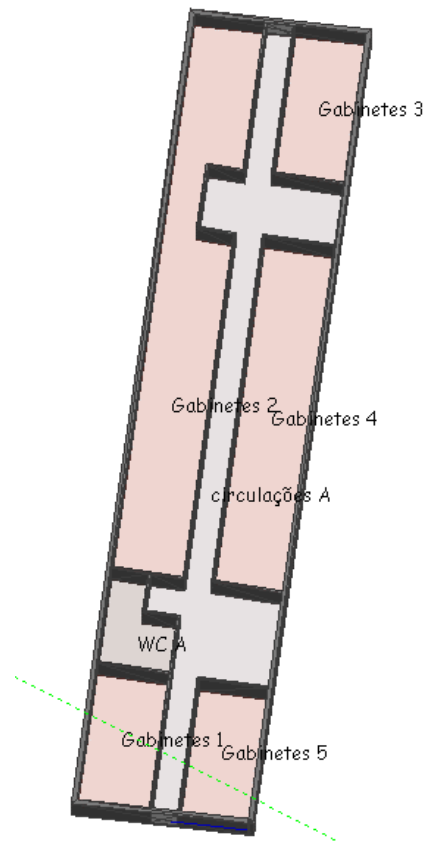


Figura 0-4 Zoneamento do piso 2

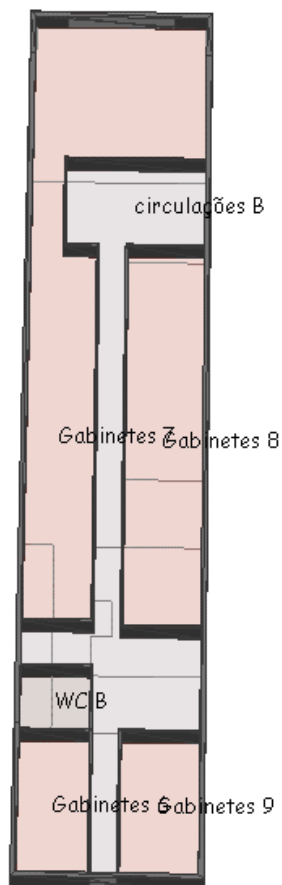


Figura 0-5 Zoneamento do piso 2 continuação

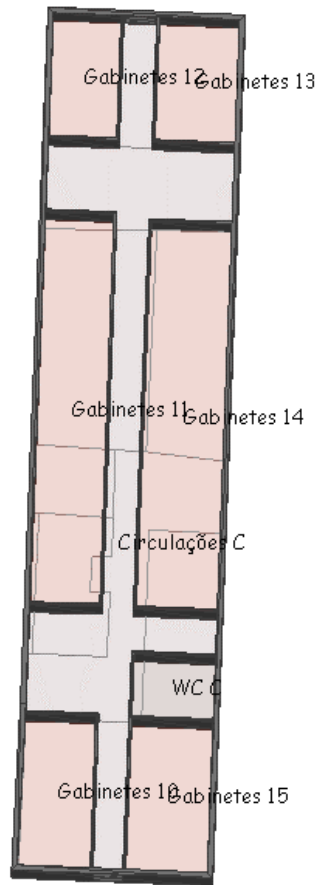


Figura 0-6 Zoneamento do piso 2 finalização

C.ILUMINAÇÃO

Tabela 0-1 Iluminação presente no piso cave

Area (m ²)	Número de Lâmpadas	Potência unitária (W)	Total	Densidade luminosa (W/m ²)
1604,84	16	36	576	5,70
	26	36	936	
	72	36	2592	
	32	36	1152	
	28	36	1008	
	16	36	576	
	32	36	1152	
	32	36	1152	

Tabela 0-2 Iluminação presente no piso 0

Código	Espaço	Área (m ²)	Número de Lâmpadas	Potência unitária (W)	Total (W)	Densidade luminosa (W/m ²)
0.1	Entrada-exterior coberto	167,2	Exterior			
0.2	Átριο 1	145	6	150	900	6,21
0.3	Área de exposições	120,9	7	150	1050	8,68
0.4	Secretaria	42,6	12	36	432	10,14
0.4B	Sala de estudo	191,2	44	50	2200	11,84
			7	9	63	
0.5	Hall/Sala de espera	17,3	10	18	180	10,40
0.6	Sala de reuniões	24,6	2	36	72	9,02
			3	50	150	
0.7	Gabinete do diretor	27,4	8	36	288	10,51
0.8	Gabinete	16,7	4	36	144	8,62
0.9	Gabinete	17	4	36	144	8,47
0.10	Gabinete	16,7	4	36	144	8,62
0.11	Arrumo/Arquivo	4	2	9	18	4,50
0.12	I.S feminina	4,1	2	9	18	8,78
			1	18	18	
0.13	I.S masculina	4,1	1	9	9	6,59

			1	18	18	
0.14	Hall	8,5	4	18	72	8,47
0.15	Sala desenvolvimento humano	11,4	4	36	144	12,63
0.16	Núcleo de apoio a deficientes	41,7	12	36	432	10,36
0.17	Gabinete de segurança	6,6	2	36	72	10,91
0.18	Hall do centro de recursos Audiovisuais	12,2	14	18	252	20,66
0.19	Audiovideoteca	30,6	6	36	216	7,06
0.20	Arquivo	8,1	2	36	72	8,89
0.21	Armazém de meios	21,6	4	36	144	6,67
0.22	Gabinete/Sala de reuniões	14	4	36	144	10,29
0.23	Montagem para alunos	12,5	4	36	144	11,52
0.24	Montagem	21,9	8	36	288	13,15
0.25	Regie som	6,8	2	36	72	10,59
0.26	Regie imagem	8,8	2	36	72	8,18
0.27	Ante-câmara	2,3	2	9	18	7,83
0.28	Estúdio de produção	58,3	12	36	432	7,41
0.29	Gabinete de Fotografia	7,9	2	36	72	9,11
0.30	Antecâmara	3,3	2	9	18	5,45
0.31	Câmara-escura	20,9	4	36	144	6,89
0.32	Hall-cópias	10,2	2	36	72	7,06
0.33	Sala de cópias	32,8	16	36	576	17,56
0.34	Sala de aula	145,8	44	36	1584	11,11
			4	9	36	
0.35	Gabinete	10,4	Mesmo espaço que 0.34			
0.36	Gabinete	8				
0.37	Arrumo/Vestiário	3,8				
0.38	IS	1,8	2	9	18	10,00
0.39	Arrumo limpeza	1,9	1	18	18	9,47
0.40	Exterior coberto	233	Exterior			
0.41	Exterior coberto	103,6				
0.42	Pátio relvado	255,6				
0.43	Circulação	18,1	8	9	72	3,98
0.44	IS masculino pessoal auxiliar	17,7	4	36	144	8,14
0.45	IS feminino pessoal auxiliar	18,3	4	36	144	7,87
0.46	Associação de estudantes	24,2	6	36	216	9,67
			2	9	18	
0.47	Arrumo	2,1	1	18	18	8,57
0.48	Posto de transformação	33,8	Exterior			
0.49	Exterior coberto	51,9				
0.50	Hall	8,6	6	9	54	6,28

0.51	Sala movimento e drama	84,3	16	36	576	7,15
			3	9	27	
0.52	Regie	3,3	2	36	72	21,82
0.53	Balneário masculino	9,8	4	9	36	7,35
			1	36	36	
0.54	Balneário feminino	9,1	4	9	36	7,91
			1	36	36	
0.55	Armazém	13,4	2	36	72	5,37
0.56	Hall	17,1	4	18	72	4,21
0.57	Sala de música	34	12	36	432	12,71
0.58	Sala de música	75,2	22	36	792	10,53
0.59	Armazém	9,8	2	36	72	7,35
0.60	Entrada-exterior coberto	22,7	Exterior			
0.61	Átριο2	72	18	18	324	4,50
0.62	I.S masculina	8,3	1	36	36	6,51
			2	9	18	
0.63	I.S feminina	13,6	1	36	36	6,62
			6	9	54	
0.64	Arrumo de limpeza	6,7	1	36	36	5,37
0.65	Sala de convívio	182	32	18	576	3,16
0.66	I.S deficientes	4,1	4	9	36	8,78
0.67	I.S feminina	19,6	5	36	180	11,94
			6	9	54	
0.68	I.S masculina	16	5	36	180	14,63
			6	9	54	
0.69	Bar	17,1	6	36	216	12,63
0.70	Arrumo bar	6,9	2	18	36	5,22
0.71	Antecâmara	5,1	2	36	72	14,12
0.72	Central térmica	33,8	Exterior			
0.73	Exterior coberto	51,3	Exterior			
0.74	Anfiteatro	131	23	36	828	15,48
			24	50	1200	
0.75	Cabine de projeção e tradução	10,3	6	9	54	5,24
0.76	Bastidores Palco	9,7	2	36	72	7,42
0.77	Circulação	107,5	30	18	540	5,02
0.78	Hall e vestiário	25,3	8	18	144	5,69
0.79	Central lúdico e infantil	121	30	36	1080	8,93
0.80	Gabinete	11,7	2	36	72	6,15
0.81	I.S	5,5	1	36	36	13,09
			2	18	36	

0.82	I.S	5,4	1	36	36	13,33
			2	18	36	
0.83	Arrumos	11,4	1	36	36	3,16
0.84	Passeios exterior coberto	38,1	Exterior			
0.85	Pátio	72,8				
0.86	Sala de convívio	27,4	8	36	288	10,51
0.87	Livraria Papelaria	15,9	4	36	144	9,06
0.88	Exterior coberto	131	Exterior			
0.89	Exterior coberto	103,6				
0.90	Pátio relvado	255,6				
0.91	Sala modelação e cerâmica	129,9	24	36	864	11,09
			16	36	576	
0.92	Arrumo	9,2	2	36	72	7,83
0.93	Sala impressão e tapeçaria	60,1	Mesmo espaço que 0.91			
0.94	Sala desenho e pintura	120,2	16	36	576	11,98
			24	36	864	
0.95	Sala desenho rigoroso	60,1	Mesmo espaço que 0.94			
0.96	Pátio das artes aplicadas	407,4	Exterior			
0.97	Armazém das artes aplicadas	28	6	36	216	7,71
0.98	Armazém geral	41,9	8	36	288	6,87
0.99	Circulação	13,2	4	18	72	5,45
0.100	Central térmica	33,8	Exterior			
0.101	Exterior coberto	51,3				
0.102	Sala de exposições	73,3	16	36	576	7,86
0.103	Sala de estudo	73,3	24	36	864	11,79
0.104	Pátio desporto	245,2	Exterior			
0.105	Pavilhão desportivo	294	14	250	3500	13,37
			12	36	432	
0.106	Hall	54,5	24	18	432	7,93
0.107	Arrumo	4,8	2	9	18	3,75
0.108	Balneário masculino	29,7	6	36	216	10,91
			6	18	108	
0.109	Balneário feminino	30,9	6	36	216	10,49
			6	18	108	
0.110	Gabinete médico	11,2	2	36	72	6,43
0.111	Gabinete	13,8	4	36	144	10,43
0.112	I.S	2,9	1	18	18	6,21
0.113	Duche	2,9	2	9	18	6,21

Tabela 0-3 Iluminação presente no piso 1

Código	Espaço	Área (m ²)	Número de Lâmpadas	Potência unitária (W)	Total (W)	Densidade luminosa (W/m ²)
1.1	Circulações	170,6	20	18	360	2,11
1.2	Sala 30 alunos	59,5	20	36	720	12,10
1.3	Sala 30 alunos	59,5	18	36	648	10,89
1.4	Sala 30 alunos	59,5	20	36	720	12,10
1.5	Armazém	34	6	36	216	6,35
1.5 B	Biblioteca	211,2	50	36	1800	8,52
			18	18	324	
			5	50	250	
1.6	Sala leitura	83,3	24	36	864	10,37
1.7	Sala informática	72,6	mesmo espaço que 0.15B			
1.8	Sala informática	87,9				
1.9	Sala informática	87,9	24	36	864	9,83
1.10	Sala informática	87,9	24	36	864	9,83
1.11	Área trabalho professor	30,5	8	36	288	9,44
1.12	Gabinete	17,7	4	36	144	8,14
1.13	Gabinete	17,7	4	36	144	8,14
1.14	Gabinete	17,8	4	36	144	8,09
1.15	Arrumo	5,2	1	36	36	6,92
1.16	Terraço dos gabinetes	45,2	Não contém iluminação			
1.17	Cobertura não visitável	391,9	Não contém iluminação			
1.18	Cobertura não visitável	88,8	Não contém iluminação			
1.19	Terraço	133,5	Não contém iluminação			
1.20	Galeria	60,2	6	18	108	1,79
1.21	Sala 30 alunos	52,1	14	36	504	9,67
1.22	Sala 30 alunos	52,1	14	36	504	9,67
1.23	Laboratório física	52,1	18	36	648	12,44
1.24	Laboratório ciências da natureza	47	22	36	792	16,85
1.25	Hall dos laboratórios	10,2	4	9	36	3,53
1.26	Gabinete	11	2	36	72	6,55
1.27	Circulações	136,4	16	18	288	2,11
1.28	Sala 30 alunos	71,4	21	36	756	10,59
1.29	Sala 60 alunos	83,3	26	36	936	11,24
1.30	I.S feminina	17	5	9	45	6,88
			2	36	72	
1.31	I.S masculina	15,2	2	36	72	6,51
			3	9	27	

1.32	I.S deficientes	4,6	2	9	18	3,91
1.33	Arrumo limpeza	3,1	1	9	9	2,90
1.34	Armazém audiovideo	11,6	2	36	72	6,21
1.35	Galeria	60	6	18	108	1,80
1.36	Sala 30 alunos	60,5	15	36	540	8,93
1.37	Arrumo	7,2	1	36	36	5,00
1.38	Sala 15 alunos	52,1	15	36	540	10,36
1.39	Sala 15 alunos	52,1	15	36	540	10,36
1.40	Sala 15 alunos	52,1	15	36	540	10,36
1.41	Terraço	378,02	Não contém iluminação			
1.42	Circulações	135,9	14	18	252	1,85
1.43	Sala 30 alunos	79,4	21	36	756	9,52
1.44	Laboratório de línguas	37,6	10	36	360	9,57
1.45	Laboratório de línguas	37,6	10	36	360	9,57
1.46	Gabinete individual	8,7	2	36	72	8,28
1.47	Gabinete duplo	12,5	2	36	72	5,76
1.48	Gabinete triplo	17,1	4	36	144	8,42
1.49	I.S feminina	9,2	2	36	72	7,83
			4	9	36	
1.50	I.S masculina	7,9	2	36	72	12,53
			3	9	27	
1.51	Arrumo	6,8	1	18	18	2,65
1.52	Cobertura não visitável	192,3	Não contém iluminação			
1.53	Cobertura não visitável	172,1	Não contém iluminação			
1.54	Cobertura não visitável	47,5	Não contém iluminação			

Tabela 0-4 Iluminação presente no piso 2

Código	Espaço	Área (m ²)	Número de Lâmpadas	Potência unitária (W)	Total (W)	Densidade luminosa (w/m ²)
2.1	Circulações	94	36	18	648	6,89
2.2	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.3	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.4	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.5	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.6	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.7	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.8	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29

2.9	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.10	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.11	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.12	Gabinete individual	11	4	36	144	13,09
2.13	Gabinete individual	10,5	4	36	144	13,71
2.14	Gabinete individual	11	4	36	144	13,09
2.15	Gabinete individual	11	4	36	144	13,09
2.16	Gabinete individual	11	4	36	144	13,09
2.17	Gabinete individual	11	4	36	144	13,09
2.18	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.19	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.20	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.21	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.22	Sala de reuniões	28,9	8	36	288	9,97
2.23	Arrumo	6,7	2	36	72	10,75
2.24	Arrumo	3,8	1	36	36	9,47
2.25	I.S feminina	6,9	1	36	36	7,83
			2	9	18	
2.26	I.S masculina	6,5	1	36	36	8,31
			2	9	18	
2.27	Terraço	154,8	Não contém iluminação			
2.28	Cobertura não visitável	306,1	Não contém iluminação			
2.29	Terraço	332,6	Não contém iluminação			
2.30	Circulações	85,1	30	18	540	6,35
2.31	Sala convívio professor	71,4	SALA OCUPADA			
2.32	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.33	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.34	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.35	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.36	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.37	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.38	Gabinete individual	11	4	36	144	13,09
2.39	Gabinete individual	10,5	4	36	144	13,71
2.40	Gabinete individual	10,5	4	36	144	13,71
2.41	Gabinete individual	10,5	4	36	144	13,71
2.42	Gabinete individual	10,5	4	36	144	13,71
2.43	Gabinete individual	11	4	36	144	13,09
2.44	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.45	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.46	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29

2.47	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.48	Sala de reuniões	28,9	8	36	288	9,97
2.49	I.S feminina	6,9	1	36	36	7,83
			2	9	18	
2.50	I.S masculina	6,5	1	36	36	8,31
			2	9	18	
2.51	Terraço	332,6	Não contém iluminação			
2.52	Circulações	94	24	18	432	4,60
2.53	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.54	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.55	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.56	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.57	Sala de reuniões	28,9	8	36	288	9,97
2.58	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.59	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.60	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.61	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.62	Gabinete individual	11	4	36	144	13,09
2.63	Gabinete individual	10,5	4	36	144	13,71
2.64	Gabinete individual	10,5	4	36	144	13,71
2.65	Gabinete individual	10,5	4	36	144	13,71
2.66	Gabinete individual	10,5	4	36	144	13,71
2.67	Gabinete individual	11	4	36	144	13,09
2.68	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.69	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.70	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.71	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.72	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.73	Gabinete duplo	14	4	36	144	10,29
2.74	Arrumo	6,7	2	36	72	10,75
2.75	Arrumo	3,8	1	36	36	9,47
2.76	I.S feminina	6,9	1	36	36	7,83
			2	9	18	
2.77	I.S masculina	6,5	1	36	36	8,31
			2	9	18	
2.78	Cobertura não visitável	339	Não contém iluminação			

D.EQUIPAMENTOS

Tabela 0-1 Equipamentos presentes no piso cave

Área (m ²)	Equipamentos	Quantidade	Potência Unitária (W)	Total	W/m ²
1604,84	Computador	1	300	300	12,62
	Aparelhagem	1	150	150	
	Ventilador	2	200	400	
	Máquina cortar ferro	1	1000	1000	
	Máquina	1	500	500	
	Motor	2	3000	6000	
	Lavadora	1	2000	2000	
	Máquina soldar	1	9000	9000	
Ventilador mecânico	3	300	900		

Tabela 0-2 Equipamentos presentes no piso 0

Código	Espaço	Área (m ²)	Equipamentos	Quantidade	Potência Unitária (W)	Total	W/m ²
0.1	Entrada-exterior coberto	167,2	Exterior				
0.2	Átριο 1	145	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.3	Área de exposições	120,9	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.4	Secretaria	42,6	Computador	4	200	800	25,82
			Impressora	2	150	300	
0.4B	Sala de estudo	191,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.5	Hall/Sala de espera	17,3	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.6	Sala de reuniões	24,6	Computador	1	200	200	14,23
			Impressora	1	150	150	
0.7	Gabinete do diretor	27,4	Computador	1	200	200	7,30
0.8	Gabinete	16,7	Computador	1	200	200	20,96
			Impressora	1	150	150	
0.9	Gabinete	17	Computador	1	200	200	20,59
			Impressora	1	150	150	
0.10	Gabinete	16,7	Computador	2	200	400	152,69
			Impressora	1	150	150	
			Aquecedor	1	2000	2000	
0.11	Arrumo/Arquivo	4	Sem equipamentos à data do levantamento				

0.12	I.S feminina	4,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.13	I.S masculina	4,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.14	Hall	8,5	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.15	Sala desenvolvimento humano	11,4	Computador	1	200	200	30,70
			Impressora	1	150	150	
0.16	Núcleo de apoio a deficientes	41,7	Computador	12	200	2400	57,55
			Ar condicionado				
0.17	Gabinete de segurança	6,6	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.18	Hall do centro de recursos Audio-Visuais	12,2	Computador	2	200	400	163,93
			Fotocopiadora	2	800	1600	
0.19	Audiovideoteca	30,6	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.20	Arquivo	8,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.21	Armazém de meios	21,6	Computador	1	200	200	101,85
			Aquecedor	1	2000	2000	
0.22	Gabinete/Sala de reuniões	14	Computador	1	200	200	67,86
			Impressora	1	150	150	
			Ups	1	600	600	
0.23	Montagem para alunos	12,5	Datacenter	1		0	
			Ar condicionado	1		0	
0.24	Montagem	21,9	Computador	3	200	600	54,79
			Ups	1	600	600	
0.25	Regie som	6,8	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.26	Regie imagem	8,8	Computador	2	200	400	45,45
0.27	Antecâmara	2,3	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.28	Estúdio de produção	58,3	Computador	18	200	3600	64,32
			Datashow	1	150	150	
0.29	Gabinete de Fotografia	7,9	Computador	1	200	200	44,30
			Impressora	1	150	150	
0.30	Antecâmara	3,3	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.31	Câmara-escura	20,9	Aquecedor	1	2000	2000	95,69
0.32	Hall-cópias	10,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.33	Sala de cópias	32,8	Computador	1	200	200	79,27
			Fotocopiadora	3	800	2400	
0.34	Sala de aula	145,8	Televisão	1	120	120	1,85
			Datashow	1	150	150	
0.35	Gabinete	10,4	Mesmo espaço que 0.34				
0.36	Gabinete	8					
0.37	Arrumo/Vestiário	3,8					
0.38	I.S	1,8	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.39	Arrumo limpeza	1,9	Sem equipamentos à data do levantamento				

0.40	Exterior coberto	233	Exterior				
0.41	Exterior coberto	103,6					
0.42	Pátio relvado	255,6					
0.43	Circulação	18,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.44	I.S masculino pessoal auxiliar	17,7	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.45	I.S feminino pessoal auxiliar	18,3	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.46	Associação de estudantes	24,2	Computador	2	200	400	21,49
			Televisão	1	120	120	
0.47	Arrumo	2,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.48	Posto de transformação	33,8	Exterior				
0.49	Exterior coberto	51,9					
0.50	Hall	8,6	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.51	Sala movimento e drama	84,3	Holofotes	2	1000	2000	41,52
			Holofotes	3	500	1500	
0.52	Regie	3,3	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.53	Balneário masculino	9,8	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.54	Balneário feminino	9,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.55	Armazém	13,4	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.56	Hall	17,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.57	Sala de música	34	Televisão	1	120	120	11,47
			data show	1	150	150	
0.58	Sala de música	75,2	Televisão	1	120	120	
0.59	Armazém	9,8	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.60	Entrada-exterior coberto	22,7	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.61	Átrio2	72	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.62	I.S masculina	8,3	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.63	I.S feminina	13,6	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.64	Arrumo de limpeza	6,7	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.65	Sala de convívio	182	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.66	I.S deficientes	4,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.67	I.S feminina	19,6	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.68	I.S masculina	16	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.69	Bar	17,1	Frigorífico	1	350	350	578,71
			Micro-ondas	1	1000	1000	
			Forno	2	3000	6000	
			Máquina café	1	2300	2300	
			Cortador	1	246	246	
0.70	Arrumo bar	6,9	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.71	Antecâmara	5,1	Sem equipamentos à data do levantamento				

0.72	Central térmica	33,8	Exterior				
0.73	Exterior coberto	51,3	Exterior				
0.74	Anfiteatro	131	Datashow	1	150	150	1,15
0.75	Cabine de projeção e tradução	10,3	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.76	Bastidores Palco	9,7	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.77	Circulação	107,5	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.78	Hall e vestiário	25,3	Computador	1	200	200	7,91
0.79	Central lúdico e infantil	121	Computador	3	200	600	23,14
			Aquecedor	1	2000	2000	
0.80	Gabinete	11,7	Computador	1	200	200	
0.81	LS	5,5	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.82	LS	5,4	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.83	Arrumos	11,4	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.84	Passeios exterior coberto	38,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.85	Pátio	72,8	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.86	Sala de convívio	27,4	Micro-ondas	1	1000	1000	49,27
			Frigorífico	1	350	350	
0.87	Livraria Papelaria	15,9	Fotocopiadora	2	800	1600	248,43
			Computador	1	350	350	
			Aquecedor	1	2000	2000	
0.88	Exterior coberto	131	Exterior				
0.89	Exterior coberto	103,6	Exterior				
0.90	Pátio relvado	255,6	Exterior				
0.91	Sala modelação e cerâmica	129,9	Forno cerâmico	2	550	1100	161,89
			Forno cerâmica	1	330	330	
			Forno	1	18000	18000	
			Esquentador	1	1600	1600	
0.92	Arrumo	9,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.93	Sala impressão e tapeçaria	60,1	Mesmo espaço que 0.91				
0.94	Sala desenho e pintura	120,2	Datashow	1	150	150	15,56
			Televisão	1	120	120	
			Esquentador	1	1600	1600	
0.95	Sala desenho rigoroso	60,1	Mesmo espaço que 0.94				
0.96	Pátio das artes aplicadas	407,4	Exterior				
0.97	Armazém das artes aplicadas	28	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.98	Armazém geral	41,9	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.99	Circulação	13,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.100	Central térmica	33,8	Ainda não foi visitado				

0.101	Exterior coberto	51,3	Exterior				
0.102	Sala de exposições	73,3	Datashow	1	150	150	2,05
0.103	Sala de estudo	73,3	Computador	4	200	800	14,60
			Impressora	1	150	150	
			Televisão	1	120	120	
0.104	Pátio desporto	245,2	Exterior				
0.105	Pavilhão desportivo	294	Motor	1	1000	1000	54,42
			Aquecedor	1	15000	15000	
0.106	Hall	54,5	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.107	Arrumo	4,8	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.108	Balneário masculino	29,7	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.109	Balneário feminino	30,9	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.110	Gabinete médico	11,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.111	Gabinete	13,8	Computador	1	200	200	14,49
0.112	I.S	2,9	Sem equipamentos à data do levantamento				
0.113	Duche	2,9	Sem equipamentos à data do levantamento				

Tabela 0-3 Equipamentos presentes no piso 1

Código	Espaço	Área (m ²)	Equipamentos	Quantidade	Potência Unitária (W)	Total (W)	W/m ²
1.1	Circulações	170,6	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.2	Sala 30 alunos	59,5	Televisão	1	120	120	4,54
			Datashow	1	150	150	
1.3	Sala 30 alunos	59,5	Televisão	1	120	120	4,54
			Datashow	1	150	150	
1.4	Sala 30 alunos	59,5	Datashow	1	150	150	2,52
1.5	Armazém	34	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.5B	Biblioteca	211,2	Computador	5	200	1000	4,73
1.6	Sala leitura	83,3	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.7	Sala informática	72,6	Mesmo espaço que 1.5B				
1.8	Sala informática	87,9					
1.9	Sala informática	87,9	Sem equipamentos à data do levantamento				

1.10	Sala informática	87,9	Computador	18	200	3600	42,66
			Datashow	1	150	150	
1.11	Área trabalho professores	30,5	Computador	10	200	2000	65,57
1.12	Gabinete	17,7	Ventoinha	1	150	150	8,47
1.13	Gabinete	17,7	Ventoinha	1	150	150	8,47
1.14	Gabinete	17,8	Computador	2	200	400	30,90
			Impressora	1	150	150	
1.15	Arrumo	5,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.16	Terraço dos gabinetes	45,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.17	Cobertura não visitável	391,9	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.18	Cobertura não visitável	88,8	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.19	Terraço	133,5	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.20	Galeria	60,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.21	Sala 30 alunos	52,1	Datashow	1	150	150	2,88
1.22	Sala 30 alunos	52,1	Datashow	1	150	150	2,88
1.23	Laboratório física	52,1	Estufa	1	1600	1600	47,98
			Micro-ondas	1	900	900	
1.24	Laboratório ciências da natureza	47	Estufa	1	1400	1400	50,00
			Hotte	1	750	750	
			Frigorifico	1	200	200	
1.25	Hall dos laboratórios	10,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.26	Gabinete	11	Hotte	1	750	750	263,64
			Máquina lavar loiça	1	1800	1800	
			Computador	1	200	200	
			Impressora	1	150	150	
1.27	Circulações	136,4	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.28	Sala 30 alunos	71,4	Datashow	1	150	150	2,10
1.29	Sala 60 alunos	83,3	Datashow	1	150	150	1,80
1.30	I.S feminina	17	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.31	I.S masculina	15,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.32	I.S deficientes	4,6	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.33	Arrumo limpeza	3,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.34	Armazém audiovideo	11,6	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.35	Galeria	60	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.36	Sala 30 alunos	60,5	Datashow	1	150	150	2,48
1.37	Arrumo	7,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.38	Sala 15 alunos	52,1	Datashow	1	150	150	2,88
1.39	Sala 15 alunos	52,1	Datashow	1	150	150	2,88
1.40	Sala 15 alunos	52,1	Datashow	1	150	150	2,88

1.41	Terraço	378,02	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.42	Circulações	135,9	Computador	9	200	1800	13,25
1.43	Sala 30 alunos	79,4	Datashow	1	150	150	1,89
1.44	Laboratório de línguas	37,6	Computador	1	200	200	5,32
1.45	Laboratório de línguas	37,6	Computador	13	200	2600	73,14
			Datashow	1	150	150	
1.46	Gabinete individual	8,7	Computador	1	200	200	22,99
1.47	Gabinete duplo	12,5	Computador	1	200	200	28,00
			Impressora	1	150	150	
1.48	Gabinete triplo	17,1	Computador	2	200	400	43,86
			Impressora	1	150	150	
			Ventoinha	1	200	200	
1.49	I.S feminina	9,2	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.50	I.S masculina	7,9	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.51	Arrumo	6,8	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.52	Cobertura não visitável	192,3	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.53	Cobertura não visitável	172,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
1.54	Cobertura não visitável	47,5	Sem equipamentos à data do levantamento				

Tabela 0-4 Equipamentos presentes no piso 2

Código	Espaço	Área (m ²)	Equipamentos	Quantidade	Potência Unitária (W)	Total (W)	W/m ²
2.1	Circulações	94	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.2	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	25,00
			Impressora	1	150	150	
2.3	Gabinete duplo	14	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.4	Gabinete duplo	14	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.5	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.6	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.7	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	25,00
			Impressora	1	150	150	
2.8	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.9	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.10	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.11	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	28,57
2.12	Gabinete individual	11	Computador	2	200	400	36,36
2.13	Gabinete individual	10,5	Computador	1	200	200	19,05

2.14	Gabinete individual	11	Computador	1	200	200	36,36
			Aquecedor	1	200	200	
2.15	Gabinete individual	11	Computador	1	200	200	18,18
2.16	Gabinete individual	11	Computador	1	200	200	18,18
2.17	Gabinete individual	11	Computador	1	200	200	18,18
2.18	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	28,57
2.19	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.20	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.21	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.22	Sala de reuniões	28,9	Computador	2	200	400	19,03
			Impressora	1	150	150	
2.23	Arrumo	6,7	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.24	Arrumo	3,8	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.25	I.S feminina	6,9	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.26	I.S masculina	6,5	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.27	Terraço	154,8	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.28	Cobertura não visitável	306,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.29	Terraço	332,6	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.30	Circulações	85,1	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.31	Sala convívio professores	71,4	SALA OCUPADA				
2.32	Gabinete duplo	14	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.33	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	28,57
2.34	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.35	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	28,57
2.36	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	28,57
2.37	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.38	Gabinete individual	11	Computador	1	200	200	18,18
2.39	Gabinete individual	10,5	Computador	2	200	400	38,10
			Ventoinha	1	200	200	
2.40	Gabinete individual	10,5	Computador	2	200	400	38,10
2.41	Gabinete individual	10,5	Computador	1	200	200	19,05
2.42	Gabinete individual	10,5	Computador	1	200	200	33,33
			Impressora	1	150	150	
2.43	Gabinete individual	11	Computador	1	200	200	18,18
2.44	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	39,29
			Impressora	1	150	150	
			Ventoinha	1	200	200	
2.45	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.46	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	28,57
2.47	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	28,57

2.48	Sala de reuniões	28,9	Computador	2	200	400	24,22
			Impressora	2	150	300	
2.49	I.S feminina	6,9	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.50	I.S masculina	6,5	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.51	Terraço	332,6	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.52	Circulações	94	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.53	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	28,57
2.54	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	39,29
			Impressora	1	150	150	
2.55	Gabinete duplo	14	Computador	3	300	900	75,00
			Impressora	1	150	150	
2.56	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	39,29
			Impressora	1	150	150	
2.57	Sala de reuniões	28,9	Computador	2	200	400	19,03
			Impressora	1	150	150	
2.58	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	25,00
			Impressora	1	150	150	
2.59	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	16,07
			Rádio	1	25	25	
2.60	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.61	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.62	Gabinete individual	11	Computador	1	200	200	31,82
			Impressora	1	150	150	
2.63	Gabinete individual	10,5	Computador	2	200	400	38,10
2.64	Gabinete individual	10,5	Computador	1	200	200	19,05
2.65	Gabinete individual	10,5	Computador	1	200	200	19,05
2.66	Gabinete individual	10,5	Computador	2	200	400	38,10
2.67	Gabinete individual	11	Computador	1	200	200	18,18
2.68	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.69	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	28,57
2.70	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.71	Gabinete duplo	14	Computador	2	200	400	28,57
2.72	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	25,00
			Impressora	1	150	150	
2.73	Gabinete duplo	14	Computador	1	200	200	14,29
2.74	Arrumo	6,7	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.75	Arrumo	3,8	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.76	I.S feminina	6,9	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.77	I.S masculina	6,5	Sem equipamentos à data do levantamento				
2.78	Cobertura não visitável	339	Sem equipamentos à data do levantamento				

