

Auditoria Energética e Simulação Dinâmica de um Edifício Público

O Caso do Teatro Municipal de Bragança

Tiago Peixoto Barbosa

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

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

Orientado por:

Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares

2016/2017

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Orlando Soares, meu orientador deste trabalho, pela ajuda prestada, pelos seus ensinamentos, sua disponibilidade e orientação que mostrou ao longo de todo este trabalho.

Ao Teatro Municipal de Bragança, na pessoa de sua Diretora, a Dra. Helena Génésio, que gentilmente disponibilizou os elementos para a concretização do trabalho.

Ao meu colega José António dos Santos Barradas, pela disponibilidade sempre demonstrada, por me ter facultado acesso ao edifício sempre que necessitei, e me ter disponibilizado toda a informação indispensável à realização desta dissertação.

Aos meus pais, irmão e restante família, pela motivação constante ao longo da vida e em especial no meu percurso universitário.

Aos meus amigos e colegas, pela amizade, companhia, e troca de conhecimentos ao longo de todos estes anos de curso.

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.

A aplicação da Diretiva 2002/91/CE, através da criação dos Decretos-Lei, visou a inserção de um conjunto de medidas que levem à introdução de forma intensa da eficiência energética nos edifícios. Os Decretos-Lei produzidos possuem diversos objetivos dos quais se destacam a metodologia de cálculo do desempenho energético, aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético de edifícios, novos e existentes, e a sua certificação energética.

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

Para realizar a análise energética foi realizado um levantamento de informação que permitiu caracterizar os elementos construtivos dos elementos opacos e envidraçados, densidades de iluminação e de equipamentos, perfis de utilização e sistemas de climatização do Teatro Municipal de Bragança.

Palavras Chave

Consumos Energéticos, Eficiência Energética, Certificação Energética, Simulação Dinâmica, DesignBuilder

Abstract

The buildings sector are nowadays one of the main responsible for the energy consumption. This high energy consumption plus the resulting environmental impact has lead some countries to become increasingly concerned about the adoption of energy efficiency measures with the objective of promoting energy rationalization and the sustainable use of different forms of energy.

The implementation of the 2002/91/CE directive, through the creation of law decrees, aimed the creation of measures that lead to the intense introduction of energy efficiency in buildings. The Portuguese law had several objectives in this field, such as the methodology for calculating energy performance, applying minimum requirements for the energy performance of new and existing buildings and their energy certification.

For large commercial and service buildings, the methodologies used to determine their energy performance are through effective consumption or through dynamic multi-zone simulation. The methodology based on dynamic multi-zone simulation is made through a program accredited by ASHRAE 140.

To perform the energy analysis, an information survey was carried out to characterize the building construction elements, lighting and equipment densities, user profiles and HVAC systems of the Municipal Theater of Bragança. The program used for the dynamic simulation was EnergyPlus with DesignBuilder interface.

Keywords

Energy Consumption, Energy Efficiency, Energetic certification, Dynamic Simulation, DesignBuilder

Índice

Agradecimentos	II
Resumo	III
Abstract.....	IV
Índice	V
Índice de Figuras	VIII
Índice de Tabelas	IX
Índice de Gráficos.....	XI
Abreviaturas.....	XII
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura do Documento	3
2. Legislação.....	5
2.1. Diretiva n.º 2002/91/CE.....	5
2.2. Decretos-Lei n.º 78/2006, n.º 79/2006 e n.º 80/2006.....	6
2.3. Sistema de Certificação Energética	6
2.4. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios	6
2.5. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios ...	7
2.6. Diretiva n.º 2010/31/EU.....	7
2.7. Decreto-Lei n.º 118/2013	8
3. Desempenho Energético de um Edifício	10
3.1. Indicador de Eficiência	10
3.2. Simulação Dinâmica Multizona.....	13
3.3. Cálculo dinâmico simplificado	14
3.4. Consumo efetivo	14

3.5.	Classificação Energética	15
4.	Simulação Dinâmica	17
4.1.	DesignBuilder	17
5.	Caso de Estudo	23
5.1.	Recolha de informação	23
5.2.	Descrição do edifício em estudo	23
5.3.	Caraterização construtiva.....	25
5.4.	Envidraçados.....	27
5.5.	Ocupação	28
5.6.	Iluminação	29
5.7.	Equipamentos.....	30
5.8.	Sistemas de Climatização	30
5.9.	Infraestruturas Energéticas.....	33
5.10.	Consumos Energéticos	33
5.11.	Emissões de Dióxido de Carbono associadas	36
5.12.	Indicador de Eficiência Energética do Edifício.....	38
6.	Simulação Dinâmica Multizona-DesignBuilder	39
6.1.	Construção Modelo computacional	39
6.2.	Calibração do Modelo.....	41
6.3.	Necessidades de Aquecimento.....	43
6.3.1.	Aquecimento durante o ano.....	46
6.4.	Necessidades de arrefecimento	48
6.5.	Balanço Energético do Edifício	50
6.5.1.	Envolvente.....	50
6.5.2.	Ganhos Internos.....	52
6.5.3.	Ganhos Solares	52
6.5.4.	Consumos Energia Elétrica e Gás Natural	54

6.6.	Emissões estimadas de dióxido de carbono	55
6.7.	Classe Energética.....	57
7.	Medida de melhoramento de desempenho energético	58
7.1.	Alteração no sistema de climatização	58
7.2.	Sistema solar fotovoltaico para autoconsumo.....	58
7.2.1.	Descrição do sistema.....	59
7.2.2.	Produção de energia	61
7.2.3.	Análise do Investimento.....	62
7.3.	Classificação energética.....	63
8.	Conclusão	64
	Bibliografia.....	66
	Anexo A – Plantas dos Pisos	69
	Anexo B – Densidade Sistemas de Iluminação	75
	Anexo C – Densidade de Equipamentos	79
	Anexo D - Resultado da Simulação do Sistema Solar Fotovoltaico no PVSyst	80

Índice de Figuras

Figura 4-1 Fluxo de trabalho do DesignBuilder [14].	19
Figura 4-2 Criação de um novo projeto.....	20
Figura 4-3 Hierarquia de dados no DesignBuilder [14].	22
Figura 5-1 Fachada principal do teatro municipal de Bragança.....	24
Figura 5-2 Caldeira e queimador instalados.....	32
Figura 5-3 Chiller elétrico localizado na praça norte.	32
Figura 6-1 Modelo tridimensional do teatro municipal de Bragança.....	40
Figura 6-2 Visualização tridimensional do edifício e das sombras para o dia 15 de Julho.	41
Figura 7-1 Modelo de funcionamento de uma UPAC (de potência > 1,5 kW) [21].	59
Figura 7-2 Local de instalação do sistema solar fotovoltaico.	60
Figura A-1 Planta piso 1.....	69
Figura A-2 Planta piso 2.....	70
Figura A-3 Planta piso 3.....	71
Figura A-4 Planta piso 4.....	72
Figura A-5 Planta piso 5.....	73
Figura A-6 Planta piso 6.....	73
Figura A-7 Planta piso 7.....	74
Figura A-8 Planta piso 8.....	74

Índice de Tabelas

Tabela 3-1 Consumos de energia a considerar no IEE _S e no IEE _T [10].	11
Tabela 3-2 Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio e serviços de acordo com o tipo de edifício e a sua situação [10].	13
Tabela 3-3 Forma de cálculo do IEE _s , para efeitos de classificação energética de Pequenos Edifícios de Comércio e Serviços (PES) e de Grandes Edifícios de Comércio e Serviços (GES) [11].	16
Tabela 3-4 Intervalos de valor de RIEE para a determinação da classe energética em pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços [11].	16
Tabela 5-1 Área dos diversos pisos do teatro municipal de Bragança.	25
Tabela 5-2 Elementos construtivos das paredes exteriores.	26
Tabela 5-3 Elementos construtivos da cobertura superior.	27
Tabela 5-4 Área de envidraçado por zona.	28
Tabela 5-5 Climatização por espaços.	31
Tabela 5-6 Consumo mensal de gás natural.	34
Tabela 5-7 Consumo e faturação anual do gás natural.	34
Tabela 5-8 Variação anual da faturação de energia elétrica.	36
Tabela 5-9 Fatores de conversão de energia final para energia primária [15].	37
Tabela 5-10 Fatores de Conversão das emissões de CO _{2e} [15].	37
Tabela 5-11 Emissões de dióxido de carbono de 2015 e 2016.	38
Tabela 5-12 Indicador de eficiência energética de 2015 e 2016.	38
Tabela 6-1 Consumos globais faturados e consumos globais previstos pela simulação.	42
Tabela 6-2 - Balanços energéticos das necessidades de aquecimento do teatro.	45
Tabela 6-3 Balanço Energético anual da envolvente do edifício.	51

Tabela 6-4 Ganhos internos anuais.....	52
Tabela 6-5 Consumos obtidos com a simulação de energia elétrica e de gás natural. ...	54
Tabela 6-6 Rácio de classe energética.....	57
Tabela 7-1 Consumos obtidos com a simulação de energia elétrica e de gás natural. ...	58
Tabela 7-2 Características do módulo KD205GX-LPU, nas condições STC.....	61
Tabela 7-3 Características do inversor Sunny Mini Central 6000 TL.....	61
Tabela 7-4 Produção estimada de energia do sistema solar fotovoltaico.....	62
Tabela 7-5 Análise de investimento do sistema solar fotovoltaico.	62
Tabela 7-6 Rácio de classe energética.....	63
Tabela B-1 Densidade luminosa dos diferentes espaços nos pisos 1, 2 e 3.....	72
Tabela B-2 Densidade luminosa dos diferentes espaços nos pisos 4, 5 e 6.....	73
Tabela B-3 Densidade luminosa dos diferentes espaços nos pisos 7 e 8.....	74
Tabela C-1 Densidade de equipamentos dos diferentes espaços do edifício.....	75

Índice de Gráficos

Gráfico 1-1 Evolução da Dependência Energética de Portugal (%) [1].....	1
Gráfico 1-2 Consumo final de energia por setor (2015) [2].....	2
Gráfico 5-1 Tipologia e quantidade de lâmpadas utilizadas no edifício.	29
Gráfico 5-2 Variação da energia ativa entre 2014 e 2016.	35
Gráfico 5-3 Variação da energia reativa consumida.	35
Gráfico 5-4 Consumos de eletricidade e gás natural do edifício para o ano de 2016. ...	36
Gráfico 6-1 Comparação, entre faturas e simulação, dos gastos de gás natural para o ano de 2016.	42
Gráfico 6-2 Comparação, entre faturas e simulação, dos gastos de eletricidade para o ano de 2016.....	43
Gráfico 6-3 Temperatura do ar interno, radiante e operativa para o edifício em estudo para o dia com condições climatéricas extremas.....	44
Gráfico 6-4 Transferência de energia de todo o edifício.	45
Gráfico 6-5 Variação mensal da temperatura do bolbo seco.....	46
Gráfico 6-6 Necessidades mensais de aquecimento.	47
Gráfico 6-7 Necessidades diárias de aquecimento.	48
Gráfico 6-9 Balanço Energético anual da envolvente do edifício.	50
Gráfico 6-10 Balanço energético mensal da cobertura.....	51
Gráfico 6-11 Ganhos internos anuais.	52
Gráfico 6-12 Ganhos solares mensais dos envidraçados interiores e exteriores.	53
Gráfico 6-13 Variação horária dos ganhos solares através dos envidraçados exteriores.	54
Gráfico 6-14 Emissões mensais de dióxido de carbono (kg).	55

Abreviaturas

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

AQS: Águas Quentes Sanitárias;

CAD: Desenho Assistido por Computador;

CO₂: Dióxido de Carbono;

CTA: Central tratamento de ar;

GEE: Gases de Efeito de Estufa;

GES: Grande Edifício de Comércio e Serviços;

HVAC: Heating, Ventilating, and Air Conditioning;

IEE: Indicador de Eficiência Energética;

LED: Light Emitting Diode;

NZEB: Nearly Zero Energy Building;

PES: Pequeno Edifício de Comércio e Serviços;

RCCTE: Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;

RECS: Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços;

REH: Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação;

RESP: Rede Elétrica de Serviço Público;

RIEE: Rácio de Classe Energético do Edifício;

RSECE: Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios;

SCE: Sistema de Certificação Energética;

UPAC: Unidade de Produção Autoconsumo;

UTA: Unidade de tratamento de Ar.

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Depois da primeira crise internacional do petróleo, em 1973, existiu uma preocupação com a utilização racional de energia nos edifícios. O aumento significativo do custo da energia em grande parte devido à constatação de que os combustíveis fósseis não são ilimitados e que o seu uso tem grande impacto ambiental, tiveram como consequência várias iniciativas e medidas com a finalidade de estimular a eficiência energética.

Historicamente, Portugal apresenta uma dependência energética elevada, entre 80 e 90%, fruto da inexistência de produção nacional de fontes de energia fósseis, como o petróleo ou gás natural, que têm um peso muito significativo no Balanço Energético Nacional. A aposta nas renováveis e na eficiência energética, com maior incidência nos últimos anos, tem permitido a Portugal baixar a sua dependência para níveis inferiores a 80% [1].



Gráfico 1-1 Evolução da Dependência Energética de Portugal (%) [1].

Em Portugal face ao menor nível de conforto para aquecimento dos edifícios em comparação com a Europa, os consumos nesta área (doméstico e serviços) representam cerca de 30% da energia utilizada para consumo final, enquanto que na Europa é cerca de 40% [2].

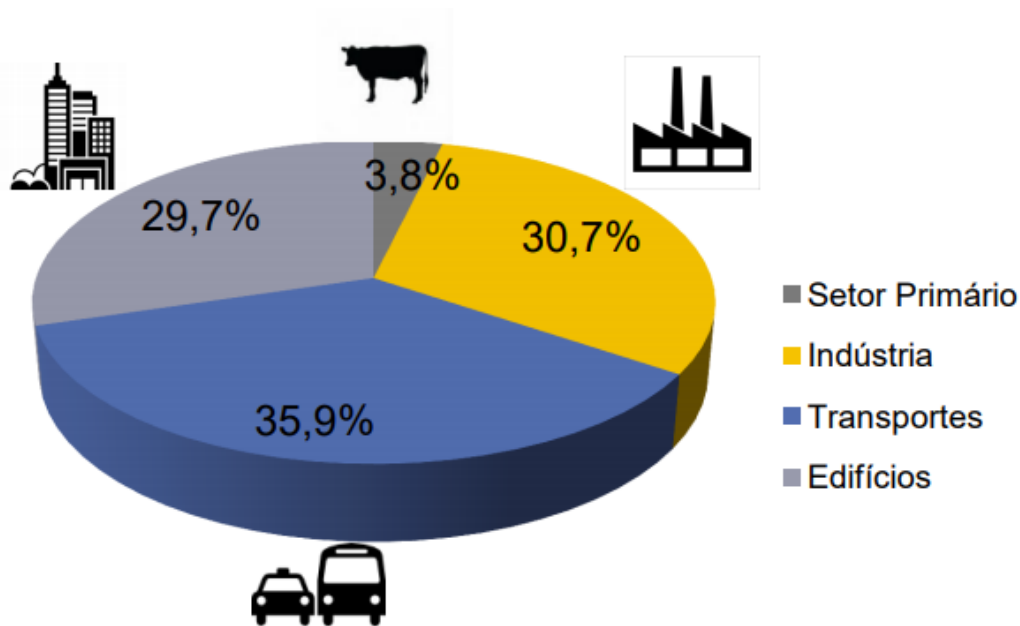


Gráfico 1-2 Consumo final de energia por setor (2015) [2].

Assim, dentro deste contexto surgem várias diretivas sobre o desempenho energético dos edifícios, que estabelecem uma série de requisitos com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético.

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é efetuar uma análise energética detalhada de um edifício, neste caso, o Teatro Municipal de Bragança, respeitando a legislação nacional. Para efetuar a análise energética pretende-se utilizar um software acreditado pela norma ASHRAE [3], e pela legislação portuguesa, o DesignBuilder. Esta ferramenta utiliza o cálculo dinâmico, o que permite determinar de um modo rigoroso o comportamento térmico 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. De seguida, pretende-se efetuar uma alteração técnica a implementar no edifício, com vista à melhoria da classificação energética, simulando a sua aplicação no edifício, no software, com vista a obter uma estimativa das reduções do consumo energético da medida.

Por último, pretende-se efetuar um dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo, bem como efetuar uma análise económica com apresentação dos custos, poupanças e retorno simples do investimento.

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 da simulação dinâmica. Posto isto, a estrutura do documento é o seguinte:

- Capítulo 1: Enquadramento da dissertação e definição dos objetivos, bem como a metodologia utilizada e a estrutura da mesma;
- Capítulo 2: Descrição da legislação mais importante aplicada na Comunidade Europeia e a sua transposição para Portugal, no âmbito da eficiência energética dos edifícios;
- Capítulo 3: Apresentação da fórmula de cálculo do Desempenho Energético de um Edifício, bem como dos métodos definidos para a determinação do Índice de Eficiência Energética relativamente a edifícios de comércio e serviços;
- Capítulo 4: Definição de simulação dinâmica a contextualização da utilização do programa utilizado com a norma ASHRAE 140. Descrição do interface DesignBuilder;
- 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 com consumos e custos;
- Capítulo 6: Apresentação do modelo computacional utilizado para a simulação dinâmica, bem como a análise detalhada dos resultados obtidos;

- Capítulo 7: Apresentação de uma medida de melhoramento do desempenho energético do edifício, bem como um estudo da instalação de um sistema fotovoltaico para autoconsumo. Por fim é apresentada a influência da medida apresentada, e da conjugação com o sistema solar fotovoltaico na classificação energética do edifício.
- Capítulo 8: Apresentação das conclusões obtidas durante a execução da dissertação.

2. Legislação

No seguimento do Protocolo de Quioto, em 16 de Dezembro de 2002, entrou em vigor a diretiva europeia 2002/91/CE que visava aumentar a eficiência energética dos edifícios da União Europeia.

2.1. Diretiva n.º 2002/91/CE

A Diretiva n.º 2002/91/CE estabelece que os Estados membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, exigindo também que o sistema de certificação abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público. A certificação energética permite aos futuros utentes obter informação sobre os potenciais consumos de energia, no caso dos novos edifícios ou no caso de edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, dos seus consumos reais ou aferidos para padrões de utilização típicos, passando o critério dos custos energéticos, durante o funcionamento normal, a integrar o conjunto dos demais aspectos importantes para a caracterização do edifício.

Nos edifícios existentes, a certificação energética destina-se a proporcionar informação sobre as medidas de melhoria de desempenho, com viabilidade económica, que o proprietário pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas e, simultaneamente, melhorar a eficiência energética do edifício. Nos edifícios novos e nos edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, a certificação energética permite comprovar a correcta aplicação da regulamentação térmica em vigor para o edifício e para os seus sistemas energéticos, nomeadamente a obrigatoriedade de aplicação de sistemas de energias renováveis de elevada eficiência energética, dando, assim, cumprimento à Diretiva n.º 2002/91/CE, que obriga os Estados membros a garantir a efectiva implementação dos requisitos mínimos regulamentares de desempenho energético por forma a assegurar a respectiva eficiência energética [4].

2.2. Decretos-Lei n.º 78/2006, n.º 79/2006 e n.º 80/2006

Em 2006, foi transposta a Diretiva 2002/91/CE para a legislação nacional. Neste âmbito foram criados, no nosso país, novos regulamentos para os sistemas energéticos e de climatização nos edifícios (RSECE - DECRETO-LEI n.º 79/2006), e para as características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE - DECRETO-LEI n.º 80/2006), bem como a criação do sistema de certificação energética e qualidade do ar interior dos edifícios (SCE - DECRETO-LEI n.º 78/2006).

2.2.1. Sistema de Certificação Energética

O então Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE) tinha como objetivo [5]:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas nos documentos RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006) e RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006);
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios. A certificação energética seria efetuada por peritos qualificados e a aplicação dos regulamentos seria supervisionada pela ADENE, Agência para a energia, pela DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia, e pelo IA, Instituto do Ambiente;
- Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos.

2.2.2. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) servia para regulamentar a eficiência energética dos edifícios de serviços, determinando limitações máximas em termos de consumos, assim como definir os procedimentos de

manutenção, monitorização, auditorias energéticas e a qualidade do ar interior. Os edifícios abrangidos pelo regulamento possuem uma potência de calor ou frio superior a 25 kW ou uma área superior a 1000 m², ou superior a 500 m² no caso de serem centros comerciais, supermercados ou piscinas aquecidas. Em termos de condições térmicas, para além do imposto pelo RCCTE, o RSECE impunha limitações mínimas em termos de renovação de ar e máximas em termos de concentração de poluentes [6].

2.2.3. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) destinava-se a garantir a qualidade térmica dos edifícios residenciais e edifícios de serviços, de pequena dimensão. Os edifícios abrangidos pelo regulamento tinham de possuir uma potência de climatização inferior a 25 kW, sendo que os edifícios de serviços tinham de possuir uma área útil até 1000 m², ou menor que 500 m², no caso de serem centros comerciais, supermercados ou piscinas aquecidas. O regulamento também contemplava normas relativas à instalação de painéis solares térmicos e aquecimento das AQS (águas quentes sanitárias) [7].

2.3. Diretiva n.º 2010/31/EU

A Diretiva 2010/31/EU surgiu da necessidade de atualizar a Diretiva 2002/91/CE, com o intuito de aumentar a eficiência energética na União Europeia de modo a alcançar melhores resultados para o cumprimento das metas 2020 [8].

- Metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e frações autónomas;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios e frações autónomas novas;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos: Edifícios existentes, frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações; Elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados

ou substituídos; Sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado;

- Planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia, isto é, um edifício com um desempenho energético muito elevado e que as necessidades de energia deverão ser suprimidas por energia proveniente de fontes renováveis;
- Certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;
- Inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios;
- Sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção.

2.4. Decreto-Lei n.º 118/2013

Em 2013, a Diretiva 2010/31/EU foi transposta para a legislação portuguesa, Decreto-Lei n.º 118/2013, com o intuito de simplificar e otimizar o processo da certificação energética. O Decreto-Lei n.º 118/2013 congrega em apenas um decreto-lei: 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), fazendo a separação clara dos âmbitos do REH e do RECS. Com a separação clara do âmbito de aplicação do REH e do RECS, passando o primeiro a incidir exclusivamente sobre os edifícios de habitação, tendo como principal destaque o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas. Relativamente ao RECS, a incidência era sobre os edifícios de comércio e serviços, com destaque para o comportamento térmico, eficiência dos sistemas e instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos.

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

O Decreto-Lei n.º 118/2013 introduz ainda o conceito introduzido pela Diretiva 2010/31/UE, o edifício com necessidades energéticas quase nulas (nearly zero energy

building, NZEB). São edifícios com necessidades quase nulas de energia os que tenham um elevado desempenho energético e em que a satisfação das necessidades de energia resulte em grande medida de energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades. Devem ter necessidades quase nulas de energia os edifícios novos licenciados após 31 de Dezembro de 2020, ou após 31 de Dezembro de 2018 no caso de edifícios novos na propriedade de uma entidade pública e ocupados por uma entidade pública [9].

3. Desempenho Energético de um Edifício

O desempenho energético de um edifício de comércio e serviços é aferido pela determinação do seu Indicador de Eficiência Energética (IEE).

3.1. Indicador de Eficiência

O IEE de um edifício de comércio e serviços é determinado seguindo as determinações explicitadas na Portaria n.º349-D/2013 de 2 de Dezembro [10]. Segundo esta portaria o IEE é determinado com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área interior útil de pavimento, de acordo com a seguinte equação:

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren}$$

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, sendo determinado pela seguinte expressão:

$$IEE_S = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i})$$

Em que:

$E_{S,i}$ - Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo

S [kWh/ano];

A_p - Área interior útil de pavimento [m^2];

$F_{pu,i}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária [kWh_{EP}/kWh].

- 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, sendo determinado pela seguinte expressão:

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{pu,i})$$

Em que:

$E_{T,i}$ - Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo T [kWh/ano];

A_p - Área interior útil de pavimento [m^2];

$F_{pu,i}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária [kWh_{EP}/kWh].

Tabela 3-1 Consumos de energia a considerar no IEE_S e no IEE_T [10].

Consumos no IEE _S	Consumos no IEE _T
<ul style="list-style-type: none"> • Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humidificação e desumidificação • Ventilação e bombagem em sistemas de climatização • Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas • Iluminação interior • Elevadores, escadas, tapetes rolantes e iluminação exterior • Iluminação exterior 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica • Equipamentos de frio • Iluminação de utilização pontual • Restantes equipamentos não incluídos em IEE_S.

- 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.

$$IEE_{ren} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{ren,i} \cdot F_{pu,i})$$

Em que:

$E_{ren,i}$ - Produção de energia por fonte de energia i a partir de fontes de origem renovável para consumo [kWh/ano];

A_p - Área interior útil de pavimento [m^2];

$F_{pu,i}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária [kWh_{EP}/kWh].

Para efeitos de aplicação da presente portaria e visando edifícios de comércio e serviços, distinguem-se, os seguintes tipos de indicador de eficiência energética:

- IEE previsto (IEE_{pr}), o qual procura traduzir o 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 (IEE_{ef}), o qual traduz o consumo anual de energia do edifício, obtido com base no histórico de faturas de energia, e/ou alternativamente considerando os resultados de uma avaliação energética realizado numa base de tempo anual, bem como os dados provenientes de um sistema de gestão de energia;
- IEE de referência (IEE_{ref}), o qual procura traduzir o consumo anual de energia do edifício, caso este fosse dotado de soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e para alguns dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as demais características do edifício.

Para a determinação dos diferentes IEE de um edifício de comércio e serviços utilizam-se diferentes métodos, tal como está explicitado na Tabela 3-2:

- Método de previsão do IEE_{pr} por simulação dinâmica multizona;
- Método de previsão do IEE_{pr} por cálculo dinâmico simplificado;
- Método de determinação do IEE_{ef} por consumo efetivo.

Tabela 3-2 Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio e serviços de acordo com o tipo de edifício e a sua situação [10].

Tipo de edifício	Método	Novo	Existente	Grande intervenção
Pequeno edifício de comércio e serviços (PES)	Base	Simulação dinâmica multizona	Consumo efetivo	Simulação dinâmica multizona
	Alternativo	Cálculo dinâmico simplificado	Simulação dinâmica multizona ou cálculo dinâmico simplificado	Cálculo dinâmico simplificado
Grande edifício de comércio e serviços (GES)	Base	Simulação dinâmica multizona	Consumo efetivo	Simulação dinâmica multizona
	Alternativo	Não aplicável	Simulação dinâmica multizona	Não aplicável

3.2. Simulação Dinâmica Multizona

A determinação do IEE com base no método de simulação dinâmica multizona deve ser realizada por programa acreditado pela norma ASHRAE 140, o qual deve ter, no mínimo, capacidade para modelar [10]:

- Mais do que uma zona térmica;
- Com um incremento de tempo horário e por um período de um ano civil, contabilizado em 8760 horas;
- A variação horária das cargas internas, diferenciadas em ocupação, iluminação e equipamentos;

- Os pontos de ajuste dos termóstatos das zonas térmicas e a operação dos sistema de climatização, permitindo a respetiva parametrização, de forma independente, para dias da semana e fins de semana;
- A recuperação de calor do ar de rejeição;
- O efeito da massa térmica do edifício.

3.3. Cálculo dinâmico simplificado

O método de Cálculo Dinâmico Simplificado deve determinar o IEE_{pr} tendo por base o balanço de energia numa base horária para a estimativa das necessidades de energia em aquecimento e arrefecimento. Esse balanço é obtido tendo em consideração algumas simplificações metodológicas e pressupostos tais como [10]:

- O cálculo das necessidades de energias para aquecimento e arrefecimento por zona térmica;
- Introdução de perfis de utilização em hora solar;
- A utilização de dispositivos de sombreamento sempre que a radiação solar incidente na fachada exceda os 300 W/m^2 ;
- Fator solar, fatores de obstrução, fração envidraçada, coeficiente de redução de perdas de espaços complementares (apenas quando superior a 0,7) e edifícios adjacentes, coeficiente de absorção à radiação solar da envolvente opaca e pontes térmicas planas, quando consideradas, coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior, interior e em contacto com o solo.

3.4. Consumo efetivo

No método do consumo efetivo, o IEE_{ef} é calculado a partir do consumo médio anual de energia final (E_f), por fonte de energia (i), expresso em kWh, e tendo em conta o respetivo fator de conversão para energia primária (F_{pi}), e a área interior útil de pavimento do edifício.

$$IEE_{ef} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{fi} \cdot F_{pi})$$

Para a determinação do consumo médio anual de energia final por fonte de energia e de consumo anual desagregado por tipos de utilização, considera-se as seguintes formas ou fontes de informação [10]:

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

3.5. Classificação Energética

Após a determinação do IEE aplicável ao caso em estudo e de acordo com os métodos mencionados é possível calcular a classe energética de um edifício. Para tal o Despacho nº 15793-J/2013 [11] apresenta a fórmula a utilizar para a determinação da classe energética de um edifício de comércio e serviços:

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

Em que:

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

Tabela 3-3 Forma de cálculo do IEE_s , para efeitos de classificação energética de Pequenos Edifícios de Comércio e Serviços (PES) e de Grandes Edifícios de Comércio e Serviços (GES) [11].

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 3-4 para os pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços.

Tabela 3-4 Intervalos de valor de R_{IEE} para a determinação da classe energética em pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços [11].

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

Este trabalho incidirá especificamente sobre parte do procedimento associado à vertente da energia, correspondente à simulação dinâmica do edifício, mais especificamente à simulação em condições reais.

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 [9].

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.

4.1. O EnergyPlus e o DesignBuilder

O EnergyPlus é um software de simulação de energia em edifícios que permite desenvolver estudos de eficiência energética existentes ou em fase de projeto. Com a utilização do EnergyPlus pretende-se que o programa gere um modelo baseado na informação da envolvente do edifício, nas funcionalidades interiores do edifício, nas taxas de utilização dos sistemas de climatização e nos dados climáticos originando dessa forma simulações horárias de modo a estimar a temperatura interior bem como os consumos energéticos dos sistemas de climatização e iluminação. Além das simulações horárias o programa possibilita a obtenção de simulações em intervalos de tempo inferiores à hora, permitindo ao utilizador obter resultados do comportamento térmico do edifício ao longo do dia e ao longo dos meses da estação de aquecimento ou arrefecimento [12].

Contudo, o EnergyPlus apresenta uma interface complexa, o que dificulta a introdução de dados no programa. No entanto este programa permite o desenvolvimento independente de outras ferramentas, o que resulta na adoção do DesignBuilder como uma interface de maior facilidade de utilização.

O DesignBuilder é um software especificamente desenvolvido em torno do programa EnergyPlus, que permite definir modelos de construção de uma forma mais simples, utilizando no final o EnergyPlus como motor de simulação.

Este programa permite construir o modelo do edifício, caracterizá-lo a si e aos seus sistemas energéticos e realizar simulações para a determinação dos consumos energéticos e das potências de climatização, bem como testar estratégias de otimização energética. Com a utilização do DesignBuilder, é possível [13]:

- Gerar simulações para o modelo utilizando informação climática horária para verificar como o edifício se irá comportar durante a operação;
- Verificar efeitos das alternativas do projeto no desempenho do edifício, permitindo a avaliação de parâmetros como o consumo anual de energia, ganhos solares, emissões de CO₂, etc.

O DesignBuilder apresenta-nos uma interface de abertura que apresenta uma lista dos arquivos mais recentes salvos pelo utilizador e uma listagem de templates com modelos prontos que exemplificam diferentes abordagens.

Uma característica importante do DesignBuilder é a janela de ajuda, que aparece do lado direito, e que fornece dicas ajudando o utilizador através da criação do modelo. Isto é especialmente útil para os utilizadores inexperientes, ajudando a entender melhor os conceitos da modelação. Além disso, o software inclui tutoriais em vídeo com aulas curtas sobre recursos específicos do programa.

O fluxo de trabalho do DesignBuilder começa com a seleção de um local e o clima correspondente através de um arquivo com dados climáticos (neste caso em formato epw), seguido pela criação de geometria do modelo de construção. Esta geometria é necessária para a simulação de desempenho térmico do edifício.

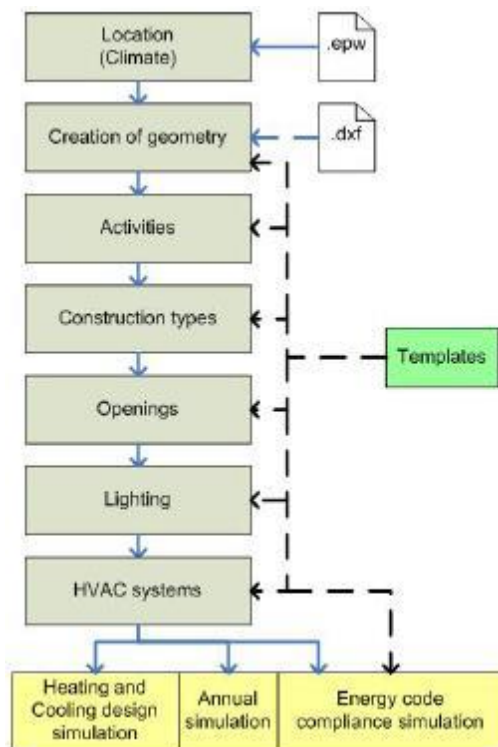


Figura 4-1 Fluxo de trabalho do DesignBuilder [14].

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

Na Figura 4-2, apresenta-se o separador Location onde serão inseridas todas as informações referentes à localização do edifício e tipo de terreno onde se insere, tais como:

- Coordenadas geográficas;
- Concelho;
- Ficheiro climático;
- Altitude ao nível do mar;
- Distância à costa;
- Temperaturas mensais.

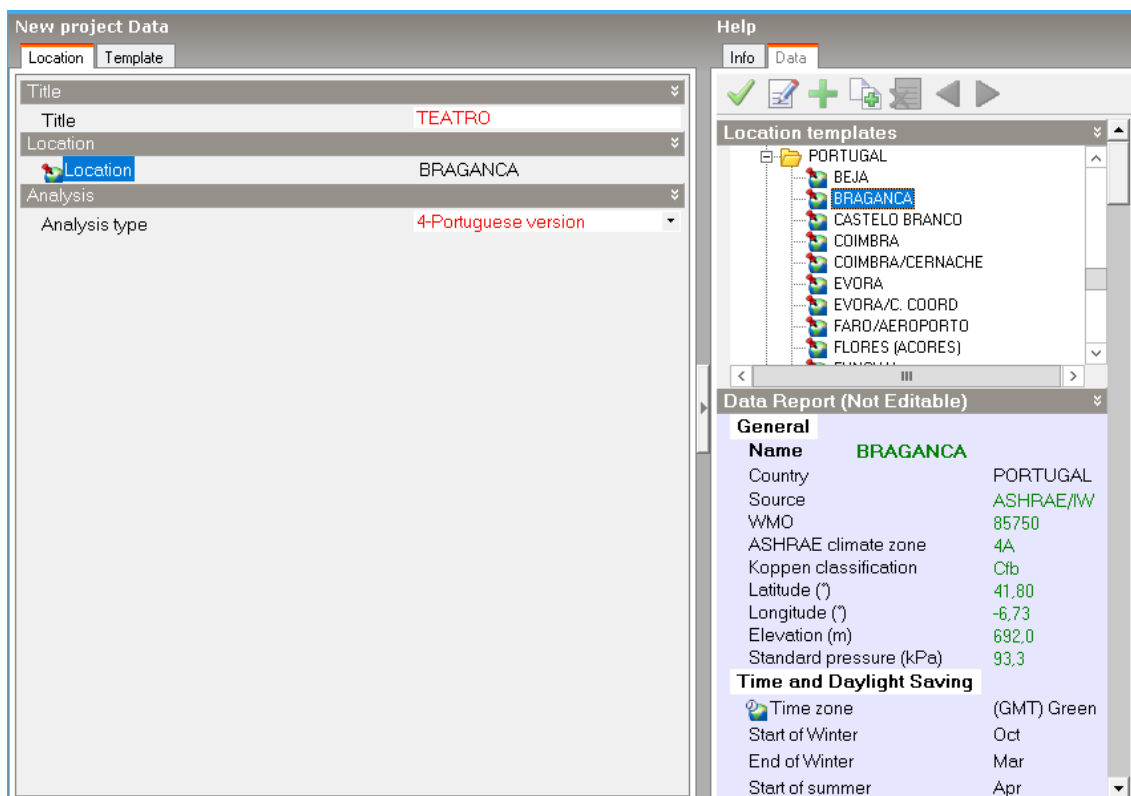


Figura 4-2 Criação de um novo projeto.

No menu pode-se abrir ou guardar um projeto, tal como exportar dados para outro programa, ou vice-versa. É importante salientar que é possível importar para o DesignBuilder ficheiros CAD, tal como foi usado neste trabalho, 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.

A introdução de dados do edifício, em geral ou de uma zona, é feita através de cinco separadores [13]:

- Activity - O tipo de dados que recai sobre activity baseia-se no fundo no tipo de ocupação e no controlo da temperatura. Em relação ao tipo de ocupação, este define o número de pessoas que ocupam o espaço em determinados períodos de tempo. Estes dados são usados nas simulações e nos cálculos de necessidades de aquecimento e arrefecimento juntamente com o output de calor proveniente do metabolismo dos ocupantes.

Naturalmente, a ocupação não é um valor constante ao longo do dia, vai-se alterando à medida que nos aproximamos das horas noturnas quando a ocupação

será zero. Para determinar a ocupação exata a cada hora do dia temos o horário (schedule). O horário atribui valores para diferentes horas do dia, podendo esse valor ser zero, por exemplo, para os fins-de-semana, feriados ou férias.

Os valores do horário, assim como outros valores padrão como o metabolismo ou os ganhos de calor através de equipamentos são definidos pelo template escolhido. Cada template, através do tipo de edifício pretendido, define todos os valores de acordo com o módulo IEE, o módulo principal da versão portuguesa do DesignBuilder, um motor de cálculo específico para resultados portugueses.

O módulo IEE permite utilizar a caracterização do edifício inerente à construção do modelo e os resultados da simulação dinâmica detalhada, para calcular diversos parâmetros relevantes.

Outro valor importante é o *Heating Setpoint Temperature*, que define a temperatura ideal no espaço, especificamente quando o aquecimento seja necessário. Já o *Cooling Setpoint Temperature* define o valor da temperatura para que o arrefecimento do espaço seja necessário.

- Construction - dados referentes ao tipo de construção e material de todas as soluções construtivas;
- Openings - Este separador permite atribuir as características dos vidros, caixilhos, protecções solares em janelas e portas interiores e exteriores;
- Lighting - Define-se além do tipo de luminária e método de fixação, o horário de utilização e as fracções de calor que são radiadas através das luminárias para os espaços onde estão inseridas;
- HVAC - por fim os dados referentes aos equipamentos de climatização, aquecimento de AQS e ventilação natural, são introduzidos neste separador.

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 4-3, permitem que se defina e altere rapidamente as características do edifício desde o nível mais geral, ao mais detalhado das partes constituintes das zonas.

Para compreender melhor o funcionamento da modelação gráfica do programa, primeiro é necessário perceber como funciona a hierarquia de dados.

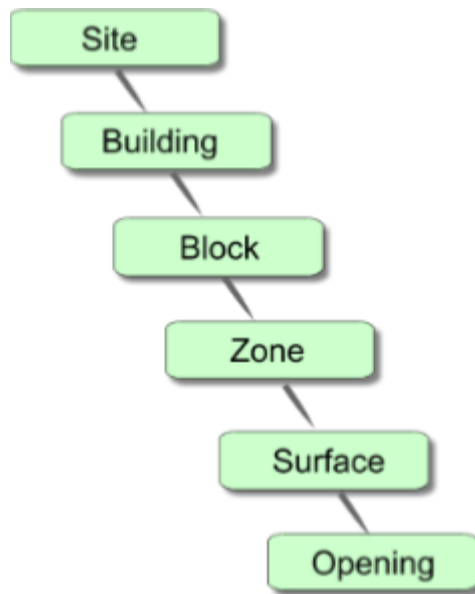


Figura 4-3 Hierarquia de dados no DesignBuilder [14].

- Site - Localização do edifício;
- Building - Consiste na construção representada pelo modelo;
- Block - Os blocos são as formas geométricas básicas do DesignBuilder e são delimitados pelas paredes externas de uma construção;
- Zone - As zonas são criadas a partir da divisão dos blocos e caracterizam ambientes com diferentes características de uso ou climatização (ex: um quarto e uma cozinha);
- Surface - São as superfícies que formam as zonas;
- Opening - As aberturas são os últimos elementos e podem ser criadas individualmente no nível da superfície.

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 sendo necessário alterar as características parede a parede.

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:

- Recolha de informação:
 - Plantas de arquitetura do edifício;
 - Alçados e mapas dos vãos envidraçados;
 - Soluções construtivas;
 - Sistemas de climatização;
 - Utilização dos espaços, equipamentos e iluminação instalada;
 - Histórico do consumo energético.
- Construção do Modelo em DesignBuilder:
 - Construção do modelo em 3D, incluindo todas as características do edifício previamente recolhidas;
- Simulação do edifício:
 - Validação do modelo de simulação, verificando os desvios entre os consumos energéticos previstos resultantes da simulação com os consumos reais registados em anos anteriores;
 - Cálculo do indicador de eficiência energética e da classe energética.

5.2. Descrição do edifício em estudo

O edifício em análise é Teatro Municipal de Bragança, um edifício público de prestação de serviço, localizado na Praça Professor Cavaleiro Ferreira, na cidade Bragança. O

edifício foi concluído em 2003 não tendo sofrido nenhuma intervenção posteriormente. Na Figura 5-1 é apresentada uma imagem da fachada principal do edifício.



Figura 5-1 Fachada principal do teatro municipal de Bragança.

A entrada principal do edifício fica orientada para Este que dá acesso ao foyer, um espaço amplo que permite o contato social antes do espetáculo. O edifício dispõe de uma segunda entrada, para os artistas, no 4º piso. Há ainda a considerar algumas portas de acesso à área circundante, nomeadamente às praças sul e norte. A sala de espetáculo tem capacidade para 400 pessoas.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto define-se como grande edifício de comércio e serviços cuja área interior útil de pavimento, descontando os espaços complementares, aquele que iguale ou ultrapasse 1000 m², ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas [9]. O Teatro Municipal de Bragança insere-se na categoria de grandes edifícios de comércio e serviços, pois possui uma área útil de 6043,33 m², com a distribuição por piso apresentada na Tabela 5-1.

Tabela 5-1 Área dos diversos pisos do teatro municipal de Bragança.

Piso	Área (m ²)
1	649,25
2	547,41
3	1280,20
4	1371,98
5	946,99
6	493,12
7	283,38
8	471,00

5.3. Caracterização construtiva

Em seguida pretende-se descrever as características construtivas do edifício na sua situação actual, referindo essencialmente as propriedades dos seus elementos constituintes, nomeadamente paredes exteriores, paredes interiores, coberturas e vãos envidraçados.

Todas as dimensões usadas, e propriedades dos elementos estruturais, foram retiradas da planta do edifício e introduzidas no programa de simulação dinâmica DesignBuilder.

A parede exterior do edifício é composta, do exterior para o interior, por um pano exterior em capoto, granito no piso 4, e um pano interior de tijolo cerâmico separados por um espaço de lã de rocha com 6 cm de espessura. A face interior da parede possui ainda uma camada de seral com 2 cm de espessura, tendo-se obtido um coeficiente de transmissão térmica de 0,253 W/m²K. Todos os coeficientes de transmissão térmica foram determinados pelo DesignBuilder.

Tabela 5-2 Elementos construtivos das paredes exteriores.

Exterior	Elemento	Espessura (m)
	Capoto/ Granito	0,05
	Tijolo 20	0,20
	Caixa de ar	0,05
	Lã de Rocha	0,06
	Tijolo 7	0,07
	Seral	0,02
Interior		

A parede no subsolo conta com uma espessura de 60 cm composta por betão normal com 30 cm de espessura, lã de rocha com 3 cm, caixa de ar com 5 cm, tijolo cerâmico furado de 20 cm, e por reboco tradicional com 2 cm de espessura. O valor do coeficiente de transmissão térmica considerado é de $0,548 \text{ W/m}^2\text{K}$.

As paredes divisórias do teatro são compostas por um pano simples de alvenaria de tijolo cerâmico com 11 cm de espessura, revestido em ambas as faces por seral de 2 cm de espessura com um coeficiente de transmissão térmica de $1,509 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ainda nas paredes divisórias do teatro, foram diferenciadas as paredes divisórias do palco e da plateia. A parede do palco é constituída por 3 cm de seral, 15 cm de betão, 3 cm de lã de rocha, 11 cm de tijolo e 2 cm de seral. A parede da plateia é constituída por 2 cm de seral, 20 cm tijolo, 8 cm de lã de rocha, 11,5 cm de caixa de ar, 20 cm de tijolo e 2 cm de seral.

A cobertura superior é constituída pelos seguintes elementos (Tabela 5-3):

Tabela 5-3 Elementos construtivos da cobertura superior.

Exterior	Elemento	Espessura (m)
	Lajetas de betão	0,05
	Caixa de ar	0,07
	Placas de poliestireno extrudido tipo ROOFMATE	0,04
	Betonilha de regularização	0,05
	Camada de forma em betão leve	0,21
	Aglomerado espuma	0,03
	Betonilha de regularização	0,05
	Laje maciça em betão armado	0,25
	Dupla placa de fibras de madeira e cimento	0,032
Interior	Placa lã mineral feltrada	0,08

5.4. Envidraçados

O vão envidraçado do edifício mais significativo é de vidros duplos de 8+12+6 mm, sem caixilharia, sendo utilizado o ar como gás de barreira térmica entre cada vidro, com um coeficiente de transmissão térmica de $2,81 \text{ W/m}^2\text{K}$. O envidraçado na zona do foyer conta com um vidro temperado com baixa emissividade e conta com um coeficiente de transmissão térmica de $2,579 \text{ W/m}^2\text{K}$. O funcionamento de um vidro com película de baixa emissividade é bastante simples. Este tipo de vidro permite a passagem da radiação com pequeno comprimento de onda e impede a passagem da radiação com grande comprimento de onda. Ou seja, a radiação solar (radiação de pequeno comprimento de onda) penetra nos compartimentos do edifício, aquecendo as superfícies e os objectos presentes no interior destas. Estes, por sua vez, ao elevarem a sua temperatura, irão emitir radiação de baixa temperatura (radiação de grande comprimento de onda), que é impedida de sair para o exterior pela película de baixa emissividade. Para além disto, o vidro com película de baixa emissividade possui um coeficiente de transmissão térmica inferior ao de um vidro normal. Assim, a utilização deste tipo de vidro durante o inverno é bastante útil, visto reter o calor no interior dos edifícios, reduzindo as necessidades de energia para aquecimento ao longo desta estação.

Tabela 5-4 Área de envidraçado por zona.

Identificação	Área (m ²)
3.1 Bombeiro	1,96
4.1 Régie	9,17
4.1 Bilheteira	0,70
5.1 Sala de trabalho	4,00
5.2 Foyer	252,62
6.1 Gabinete	5,40
6.2 Sala apoio	9,15
6.3 Gabinete reuniões	9,15
6.3 Gabinete direção cena	3,77
6.4 Gabinete produção	3,77
6.3 Corredor piso 6 norte	3,77
6.4 Corredor piso 6 sul	3,77
6.4 Sala apoio	2,90
7.1 Sala atos	14,70
7.2 Sala atos	14,70
7.3 Sala atos	13,47

5.5. Ocupação

A ocupação permanente do edifício é de cerca de 10 pessoas, sendo de 100% ao longo do horário de trabalho, isto é, entre as 9h e as 17:30h de terça a sábado, estando encerrado aos domingos e segundas, excetuando em atividades casuais. Nos dias de espetáculo a ocupação pode atingir as 450 pessoas. Em termos de ocupante por área, verificasse que a ocupação do edifício é de cerca de 0,074 ocupantes/m².

É de salientar que a construção deste perfil tem um erro associado, uma vez que tem de ser feita uma média da ocupação para os espaços e também porque este edifício tem uma área reservada para os espectadores, o que torna difícil a obtenção do número exacto de ocupantes.

5.6. Iluminação

A iluminação do edifício é garantida por uma variedade de lâmpadas destacando-se as fluorescentes tubulares de 36 W e de 58 W. Existem também alguns locais onde a iluminação é feita através de lâmpadas fluorescentes compactas e locais com lâmpadas de halogéneo de 20 W e 300 W. Para se obter estes valores foi efetuada uma visita às instalações acompanhado pelo projeto de execução.

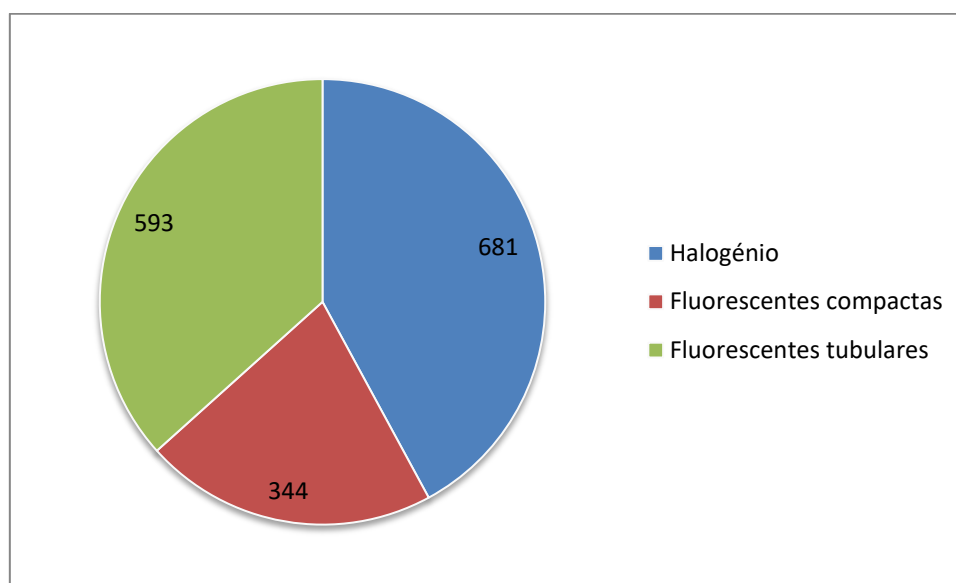


Gráfico 5-1 Tipologia e quantidade de lâmpadas utilizadas no edifício.

No edifício encontram-se instaladas 1.618 lâmpadas, com uma potência total instalada de 159.811W. Em termos estatísticos verifica-se que as lâmpadas fluorescentes tubulares são responsáveis por 36,65% (76.141,95W) da potência instalada referente à iluminação, as compactas são responsáveis por 21,26% (33.975,82W) e as de halogéneo por 42,09% (67.264.45W).

Relativamente à densidade luminosa de cada espaço verifica-se que os espaços com maior valor são as zonas sem iluminação natural, que neste edifício corresponde a todas as zonas técnicas. Nas Tabelas B-1 a B-3, do Anexo B, são apresentadas as densidades luminosas por piso e por espaço.

5.7. Equipamentos

Apesar das cargas referentes à iluminação terem uma forte influência nos consumos energéticos, estas não são, porém, as únicas consumidoras de energia elétrica existentes no edifício. Com o objetivo de construir um modelo o mais realista possível, foi realizado um levantamento de todos os equipamentos presentes no edifício. Devido à finalidade do edifício e do tipo de atividade exercida no espaço, nomeadamente espetáculos de teatro, dança ou concertos, os equipamentos mais importantes estão ligados aos serviços técnicos.

Com o levantamento efetuado é possível determinar a densidade de equipamentos por todas as zonas implementadas no modelo computacional, permitindo assim torná-lo o mais realista possível. No Anexo C-1 estão apresentadas as densidades de equipamentos por zona.

Em termos absolutos, o edifício possui um total de 245 equipamentos, totalizando uma potência 230.446W.

5.8. Sistemas de Climatização

A climatização do edifício é feita através de uma caldeira a gás natural para o aquecimento ambiente e de um chiller elétrico para o arrefecimento. O controlo da climatização é monitorizado através de um sistema de gestão centralizado, estando pré-definidos os tempos de ativação da caldeira. A climatização é feita de forma geral em todo o edifício. O edifício tem a climatização garantida através de ventiloconvectores e de UTA's que garantem a renovação de ar.

De referir que são verificados problemas de separação dos espaços, já que a mesma máquina assegura a climatização de diferentes zonas do edifício como se pode verificar na Tabela 5-5.

Tabela 5-5 Climatização por espaços.

CTA 2.1	Plateia Fosso de Orquestra	Unidade tratamento sub plateia
CTA 5.1	Palco	Subestação praça sul
CTA 5.2	Foyer Principal	
CTA 5.3	Sala de Ensaios	Subestação praça norte
CTA 5.4	Entrada artistas e cais Bilheteira Foyer Direita e Régie	
CTA 5.5	Camarins Esquerda Foyer Esquerda e Régie Sub-Palco Esquerda Corredores	
CTA 5.6	Camarins Direita Gabinetes dos Técnicos Sub-Palco Direita	Subestação praça norte

A energia térmica é transportada através de uma rede de tubagem de água até aos ventiloconvectores que fazem a climatização do edifício. Existe na componente de aquecimento coletores de retorno e ida que fazem a ligação à caldeira. O aquecimento é garantido por uma caldeira com uma potência térmica útil nominal de 500 kW, com um queimador da marca Blowtherm com uma potência de 406-754 kW alimentada a gás natural (Figura 5-2). Em termos de horário de funcionamento, a caldeira é posta em funcionamento entre as 9h e as 24h, de 2ª a sábado, sendo controlada para um fluido de circulação de 80°C.



Figura 5-2 Caldeira e queimador instalados.

O arrefecimento ambiente seria garantido por um chiller (Figura 5-3) da CIAT de 129 kW de potência térmica, mas que, devido ao facto de grande parte do edifício estar implantado no subsolo, não é habitual pô-lo em funcionamento, até porque o mesmo encontra-se avariado.



Figura 5-3 Chiller elétrico localizado na praça norte.

5.9. Infraestruturas Energéticas

O edifício consome dois tipos de energia para conseguir funcionar de forma correta:

- Energia elétrica para a iluminação, equipamentos, como os projetores, e arrefecimento ambiente;
- Gás Natural para o aquecimento ambiente e para o aquecimento de água quente sanitária.

Assim torna-se importante para o estudo do edifício conhecer quais as infraestruturas que garantem o abastecimento dessas formas de energia.

A energia elétrica é fornecida ao edifício através de um posto de transformação (PT) de 800 kVA e com uma corrente nominal de 15,4A, da marca SIEMENS do ano 2003, sendo depois a distribuição de energia efetuada por ligação directa ao QGBT a baixa tensão 230/400V.

Em relação à potência contratada verificou-se que o valor foi constante durante o período em análise, relativo a uma potência igual a 372 kW.

O Gás Natural é garantido através da rede de distribuição de gás natural, comercializado pela GOLDENERGY.

5.10. Consumos Energéticos

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

Em termos de informação de consumos, apenas foi possível ter acesso aos valores anuais do consumo de gás natural relativamente a 2015 e 2016 (Tabela 5-6). O preço médio, incluindo todas as taxas de kWh de gás natural, foi de cerca 0,070€/ kWh.

Tabela 5-6 Consumo mensal de gás natural em kWh.

	2015	2016
Janeiro	146.913	108.508
Fevereiro	99.250	99.460
Março	43.043	106.476
Abril	94.238	71.810
Maio	163.147	75.761
Junho	3.675	9.642
Julho	9.185	1.696
Agosto	0	0
Setembro	59	2.396
Outubro	37.304	5.290
Novembro	91.620	71.685
Dezembro	102.831	78.984

Tabela 5-7 Consumo e faturação anual do gás natural.

	2015	2016
Consumo (m ³)	52.592	42.661
Consumo Total Anual (kWh)	781.265	631.708
Faturação (€)	56.493,05	42.577,16

A informação do consumo de eletricidade disponível data de janeiro de 2014 a dezembro de 2016. Em termos de variação de energia elétrica verifica-se que não há grandes variações no consumo total de energia ativa (Gráfico 5-2).

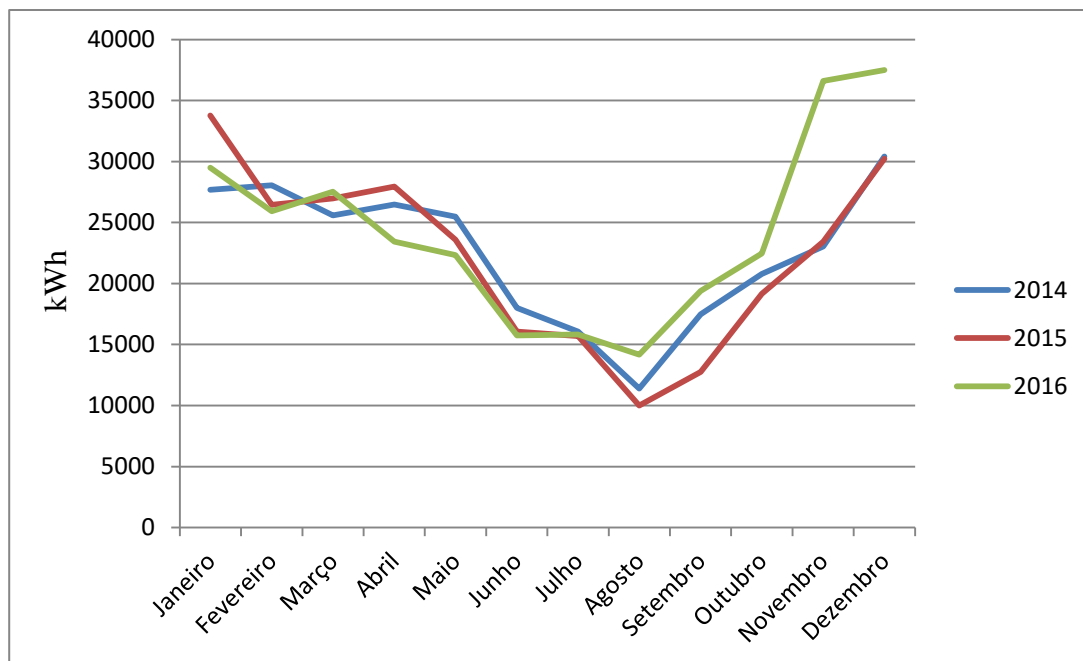


Gráfico 5-2 Variação da energia ativa entre 2014 e 2016.

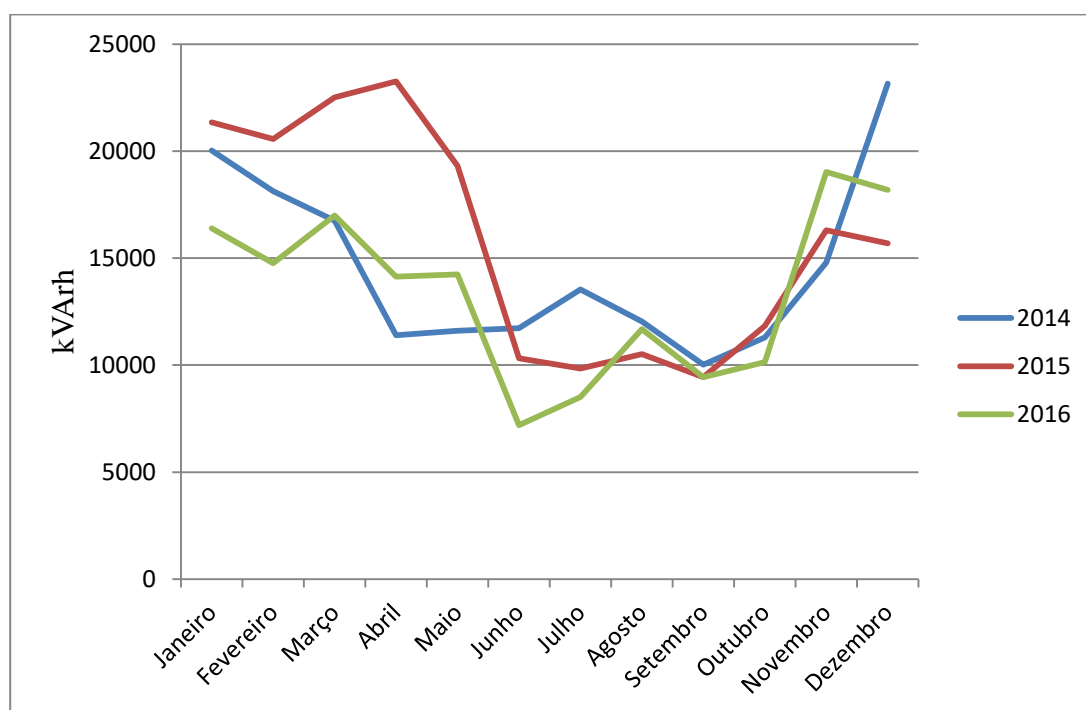


Gráfico 5-3 Variação da energia reativa consumida.

Em termos de faturação de energia elétrica (energia ativa e energia reativa) verificou-se que no ano 2014 atingiu-se o valor de 43.355,79€, no ano de 2015 atingiu os 40.306,29€ e em 2016 a despesa foi de 35.789,65€. Esta descida contínua nos gastos em

eletricidade é devido ao número de espetáculos que tem vindo a diminuir. Na Tabela 5-8 está apresentada a variação anual da faturação de energia elétrica. Em termos médios o valor do kWh de energia elétrica foi de 0,145€.

Tabela 5-8 Variação anual da faturação de energia elétrica.

Ano	Energia Ativa (kWh)	Energia Reativa Consumida (kVArh)	Total c/ IVA (€)
2014	270.432,00	174.469,8	43.355,79
2015	266.090,75	190.925,3	40.306,29
2016	290.435,75	160.684,8	35.789,65

No Gráfico 5-4 temos uma comparação dos consumos de eletricidade e gás natural, do teatro, para o ano de 2016.

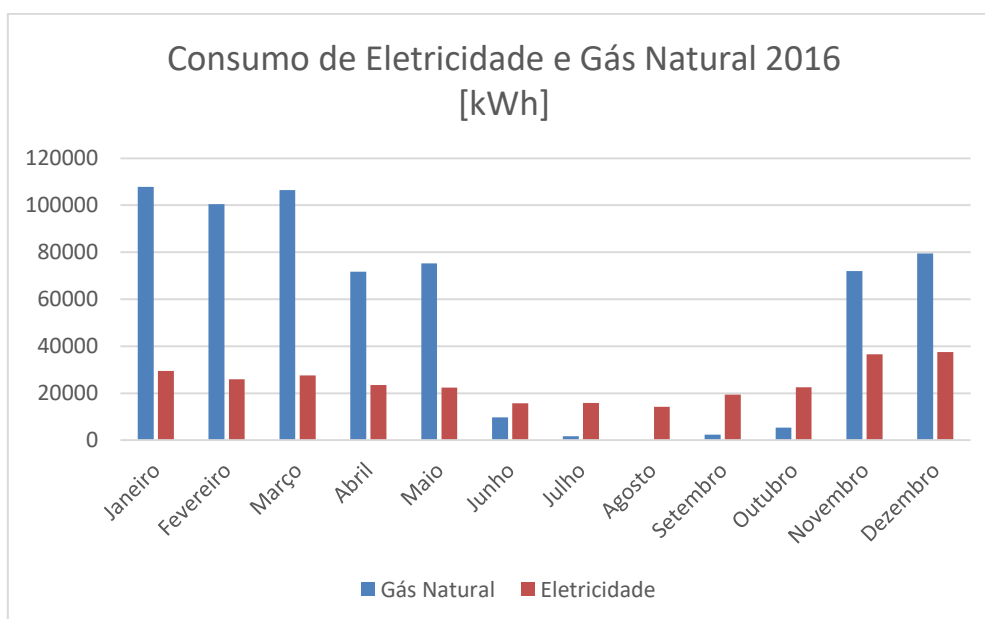


Gráfico 5-4 Consumos de eletricidade e gás natural do edifício para o ano de 2016.

5.11. Emissões de Dióxido de Carbono associadas

As emissões de gases de efeito de estufa sob o cálculo do dióxido de carbono equivalente são um indicador da influência ambiental que um edifício possui, uma vez

que representa a emissão teórica da quantidade de dióxido de carbono expelida para a atmosfera como consequência dos seus consumos. Para isso é necessário efetuar a conversão da energia final faturada (energia elétrica e gás natural) em energia primária, utilizando os fatores de conversão da Tabela 5-9.

Tabela 5-9 Fatores de conversão de energia final para energia primária [15].

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

Terminada a conversão de energia final para energia primária é possível determinar as emissões de dióxido de carbono equivalente referentes ao consumo de energia, através dos fatores de conversão apresentados na Tabela 5-10.

Tabela 5-10 Fatores de Conversão das emissões de CO_{2e} [15].

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

Ao fazer uma análise anual respetiva às emissões de dióxido de carbono verifica-se que entre 2015 e 2016 há um decréscimo de cerca de 254 toneladas para 232 toneladas, como resposta à diminuição do consumo de energia, de acordo com a Tabela 5-11.

Tabela 5-11 Emissões de dióxido de carbono de 2015 e 2016.

Ano	Energia elétrica (kWh _{EP})	Gás natural (kWh _{EP})	Total (kWh _{EP})	Emissão de dióxido de carbono (kg)
2015	665.226,87	781.265	1.446.491,87	253.608,06
2016	726.089,37	631.708	1.357.797,37	232.161,89

Em 2016 a energia elétrica representou cerca de 31,50% da energia final consumida, mas em relação às emissões de CO_{2e}, representa 45,04% das emissões do edifício.

5.12. Indicador de Eficiência Energética do Edifício

A determinação do IEE_{ef} é feita através da análise da fatura energética para os anos 2015 e 2016, seguindo o método indicado no capítulo 3, tendo-se obtido um valor de 239,35 kWh_{EP}/m².ano em 2015 e 224,68 kWh_{EP}/m².ano em 2016 de acordo com a Tabela 5-12. Após a obtenção deste valor e comparando com os valores obtidos da Simulação Dinâmica Multizona do edifício, através do software DesignBuilder, é possível determinar o R_{IEE} e assim definir a classe energética.

Tabela 5-12 Indicador de eficiência energética de 2015 e 2016.

Ano	Área (m ²)	Energia Final Adquirida		Energia Primária			IEE (kWh _{EP} /m ² .ano)
		E.E. (kWh)	G.N. (kWh)	E.E. (kWh _{EP})	G.N. (kWh _{EP})	Total (kWh _{EP})	
2015	6043,33	266.090,75	781.265	665.226,88	781.265	1.446.491,88	239,35
2016		290.435,75	631.708	726.089,38	631.708	1.357.797,38	224,68

6. Simulação Dinâmica Multizona-DesignBuilder

6.1. Construção Modelo computacional

A primeira etapa, da componente de simulação da análise energética do edifício em estudo, consistiu em construir o modelo de simulação. Foi criado um ficheiro em formato DXF das plantas do edifício em 2-D recorrendo ao programa AutoCAD, sendo este posteriormente importado pelo DesignBuilder, no qual, recorrendo às suas funcionalidades de modelação foi feito o desenho em 3-D.

Todas as características da envolvente, iluminação, ocupação, equipamentos e sistemas de climatização descritos nos capítulos anteriores foram utilizados para construir o modelo geométrico e caracterizar o edifício, com o propósito de obter um modelo o mais realista possível. O modelo geométrico em 3D é apresentado na Figura 6-1. Nessa figura pode-se observar cores distintas de acordo com funcionalidade do bloco [16]:

- Building Block, representado o cinzento, são os blocos utilizados para criar o modelo, que compreende os elementos de construção;
- Component Block, representado a lilás e a verde, são utilizados para gerar estruturas visuais e de sombreamento, blocos em contacto com o solo ou edifícios vizinhos.

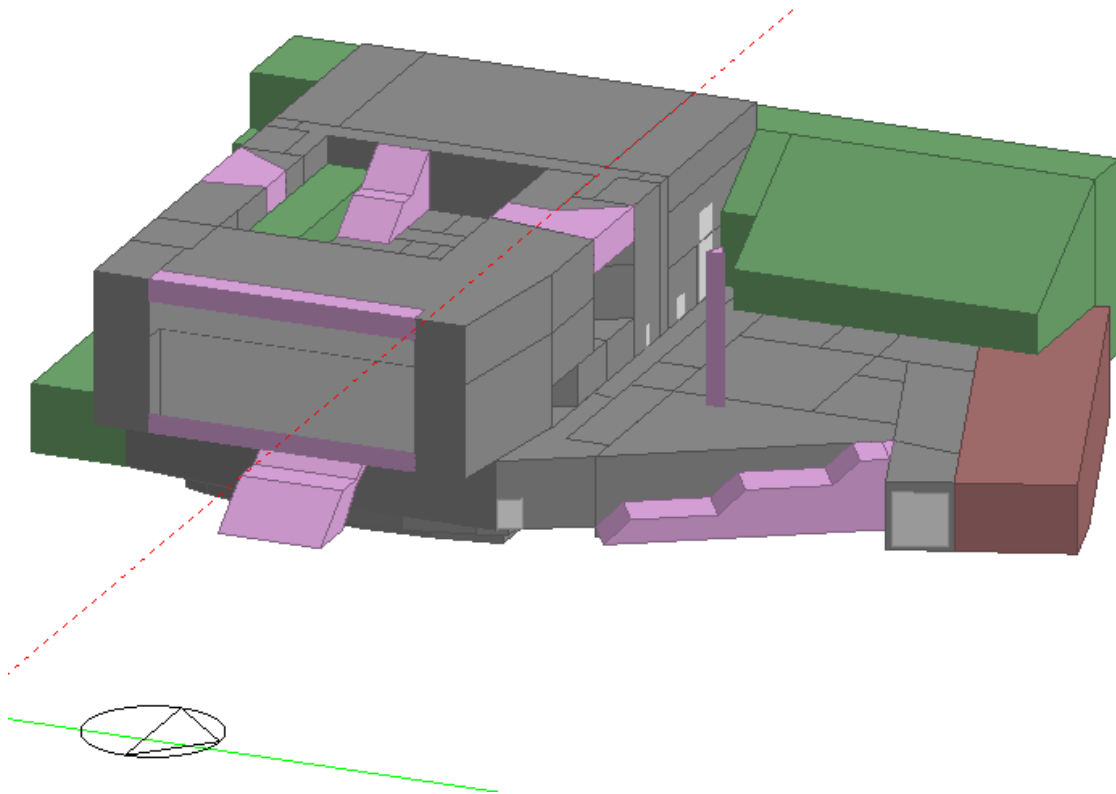


Figura 6-1 Modelo tridimensional do teatro municipal de Bragança.

É possível também verificar o diagrama solar, analisando as influências das sombras projetadas pelo edifício e dos edifícios próximos dele, como representa a Figura 6-2, e que poderão afetar substancialmente os ganhos solares do edifício em estudo, e consequentemente as necessidades de aquecimento e arrefecimento na estação de inverno e verão, respetivamente.

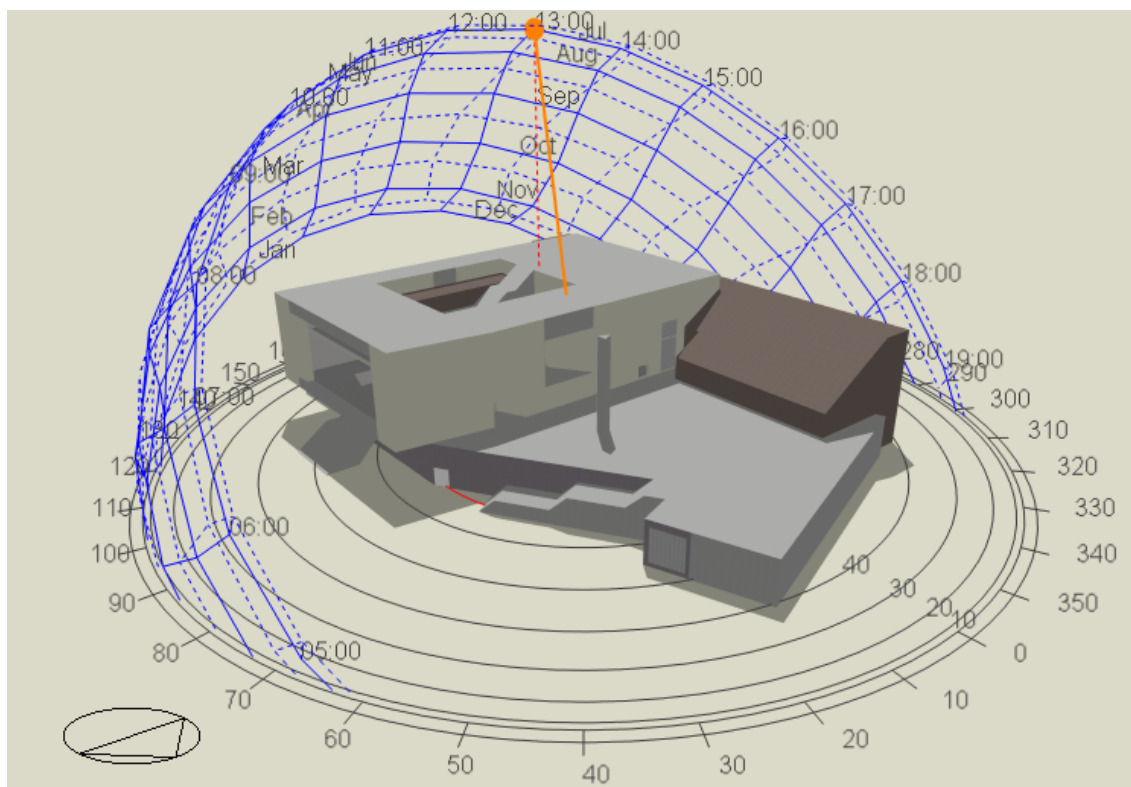


Figura 6-2 Visualização tridimensional do edifício e das sombras para o dia 15 de Julho.

6.2. Calibração do Modelo

Após a criação do modelo e introdução de todas as variáveis inerentes à simulação dinâmica do edifício, já descritas nos capítulos anteriores, foi realizada uma simulação para tentar aferir a sua validação.

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 dos registos dos consumos faturados 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 do edifício.

Um modelo é considerado calibrado se o consumo total de energia prevista na simulação, tiver uma diferença até cerca de 10% do consumo obtido nas faturas de energia, num ciclo anual.

Ao comparar as faturas de 2016 com os resultados da simulação verifica-se que a diferença global da simulação é de 1,87%, 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 de 3,12%, enquanto a diferença de gás natural é de apenas 1,13%.

Tabela 6-1 Consumos globais faturados e consumos globais previstos pela simulação.

	Faturas (kWh)	Simulação (kWh)	Diferença (%)
Eletricidade	290.435,75	299.803,98	3,12
Gás Natural	631.708,00	639.939,74	1,13
Total	922.143,75	939.743,72	1,87

No Gráfico 6-1, apresenta-se os resultados relativos à utilização de energia de gás natural referente ao aquecimento e às águas quentes sanitárias.

Como se pode verificar a utilização de gás natural mensal faturado e simulado é muito idêntica, à excepção do mês de outubro, provavelmente por causa de um outubro atípico com temperaturas superiores ao normal.

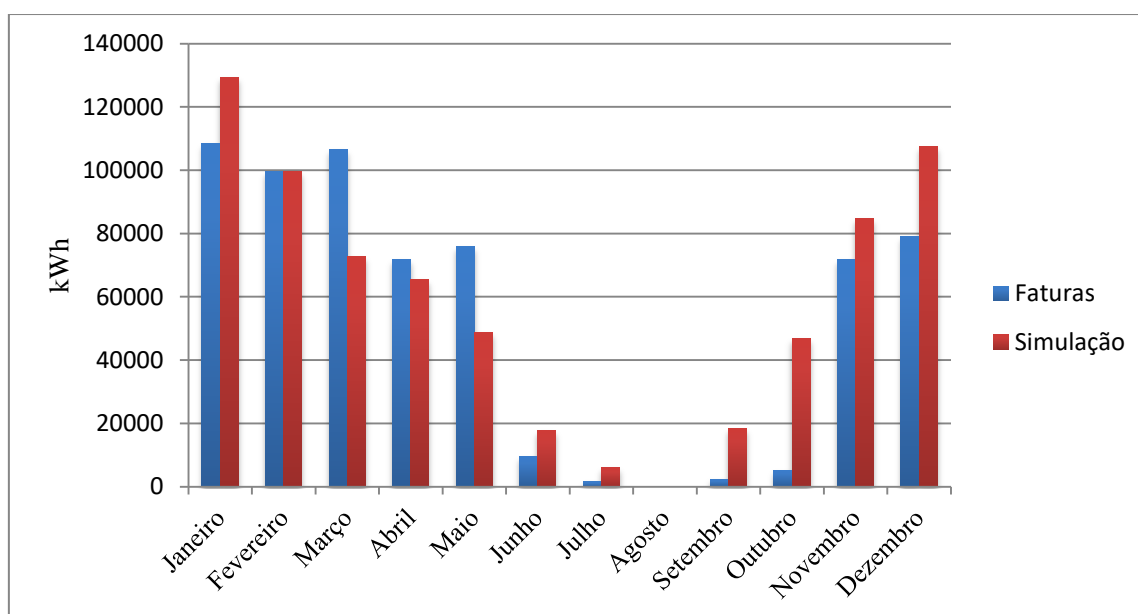


Gráfico 6-1 Comparação, entre faturas e simulação, dos gastos de gás natural para o ano de 2016.

No Gráfico 6-2, apresenta-se os resultados relativos à utilização de eletricidade referente à iluminação e equipamentos.

De salientar as obras de manutenção que existiram no mês de agosto, enquanto o teatro esteve fechado, e que não foram tidas em conta na simulação.

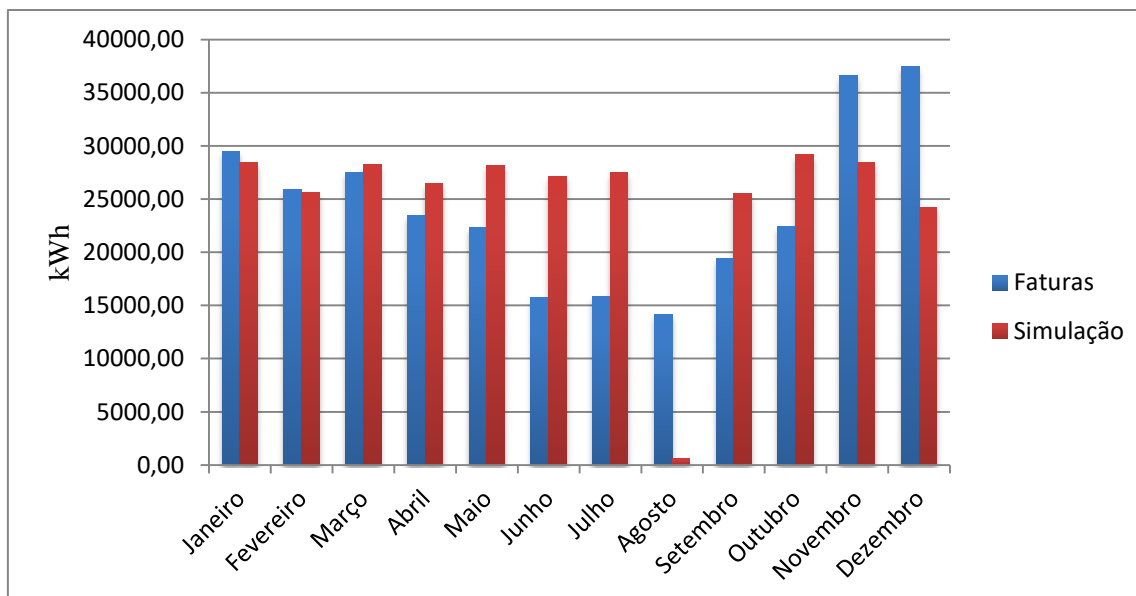


Gráfico 6-2 Comparação, entre faturas e simulação, dos gastos de eletricidade para o ano de 2016.

6.3. Necessidades de Aquecimento

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

A simulação de aquecimento (Heating Design) com base nos cálculos do EnergyPlus tem as seguintes características [17]:

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

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 16,01 °C enquanto a temperatura radiante é de 15,46 °C, a temperatura operativa é resultante da média da temperatura do ar interno com a temperatura resultante, neste caso é de 15,74 °C, de acordo com Gráfico 6-3. Por último a temperatura exterior é de -3,8°C.

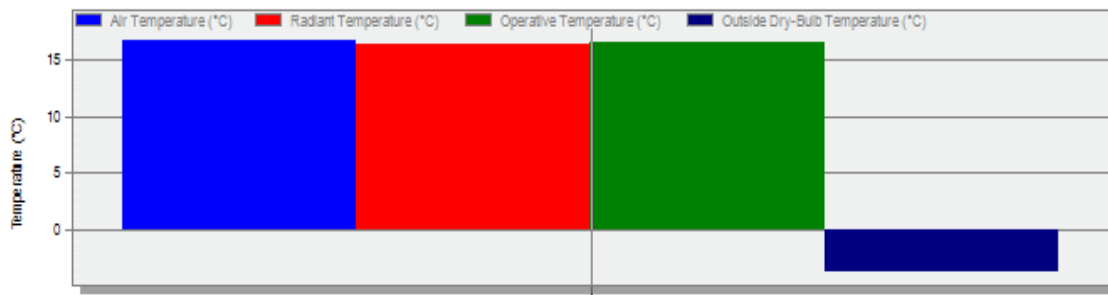


Gráfico 6-3 Temperatura do ar interno, radiante e operativa para o edifício em estudo para o dia com condições climatéricas extremas.

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

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

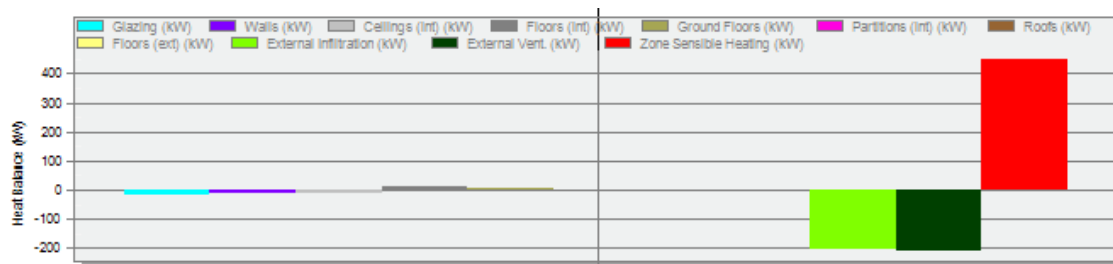


Gráfico 6-4 Transferência de energia de todo o edifício.

Tabela 6-2 - Balanços energéticos das necessidades de aquecimento do teatro.

Temperatura Ambiente (°C)	16,01
Temperatura Radiante (°C)	15,46
Temperatura Operativa (°C)	15,74
Temperatura Externa Bolbo Seco (°C)	-3,80
Envidraçados (kW)	-17,70
Paredes (kW)	-12,93
Tetos (kW)	-3,91
Pisos Internos (kW)	3,56
Pisos Térreos (kW)	4,74
Partições Internas (kW)	-2,50
Coberturas (kW)	-4,98
Pisos Externos (kW)	-1,84
Infiltração Externa (kW)	-198,30
Ventilação Externa (kW)	-199,56

Por quase todo o edifício verifica-se a existência de perdas de calor. Relativamente às maiores perdas de energia, estas são devidas às infiltrações externas não desejadas (-198,30 kW) e à ventilação (-199,56 kW), seguidos pelos vãos envidraçados (-17,70 kW). Com a determinação das perdas e ganhos energéticos é possível obter os gastos totais para o aquecimento, representado no Gráfico 6-4 pela barra a vermelho, sendo neste caso do valor de 433,38 kW. A potência de aquecimento instalada no teatro excede 13,32% o valor necessário para manter as condições de conforto, já que a caldeira tem uma potência nominal de 500 kW, dado que as necessidades de aquecimento ao longo do ano se situam abaixo das necessidades nominais.

De salientar que a simulação não tem em consideração os ganhos internos do edifício, quando na realidade as necessidades energéticas para o aquecimento são inferiores devido ao calor libertado pelas cargas e utilizadores nas diversas zonas. Isto está em concordância com a legislação, já que os ganhos internos e solares não devem ser contabilizados na estação de aquecimento.

6.3.1. 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 software faz a simulação tendo em conta todas as características do sistema HVAC e as restantes cargas presentes no edifício, nomeadamente iluminação, equipamentos, ganhos solares e ocupação.

Verifica-se que à 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.

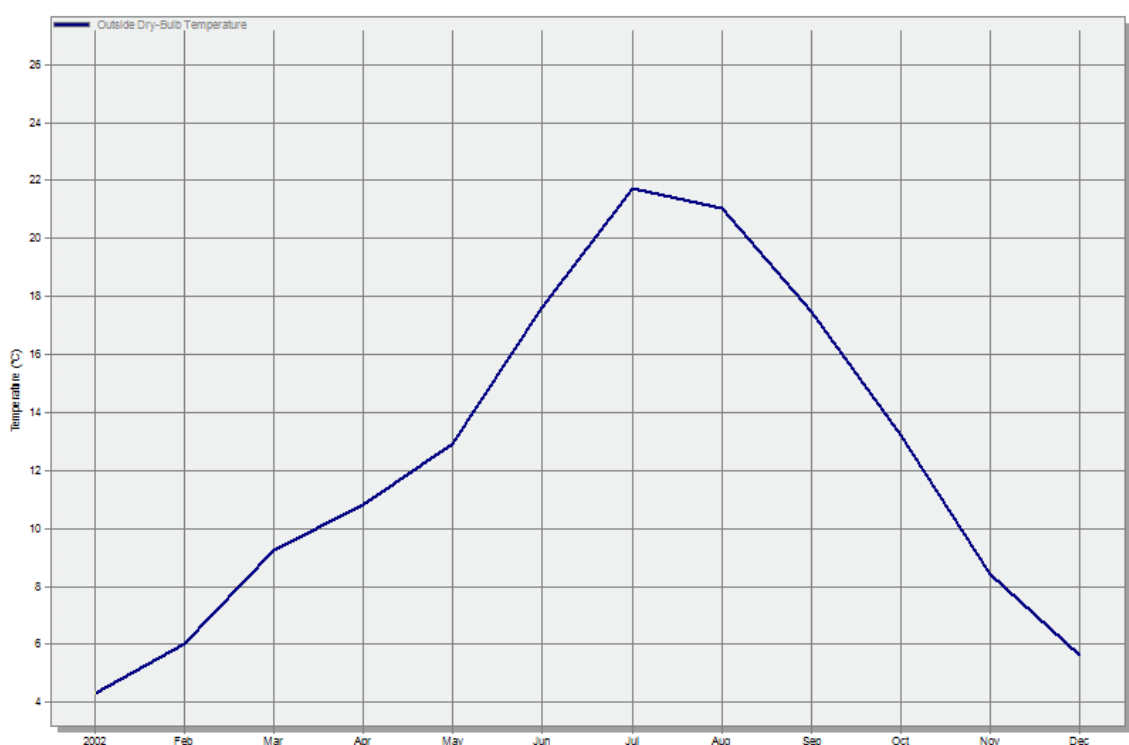


Gráfico 6-5 Variação mensal da temperatura do bolbo seco.

No Gráfico 6-6 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.

Anualmente o consumo de energia para suprimir as necessidades energéticas respetivas ao aquecimento do edifício é de sensivelmente 605 MWh.

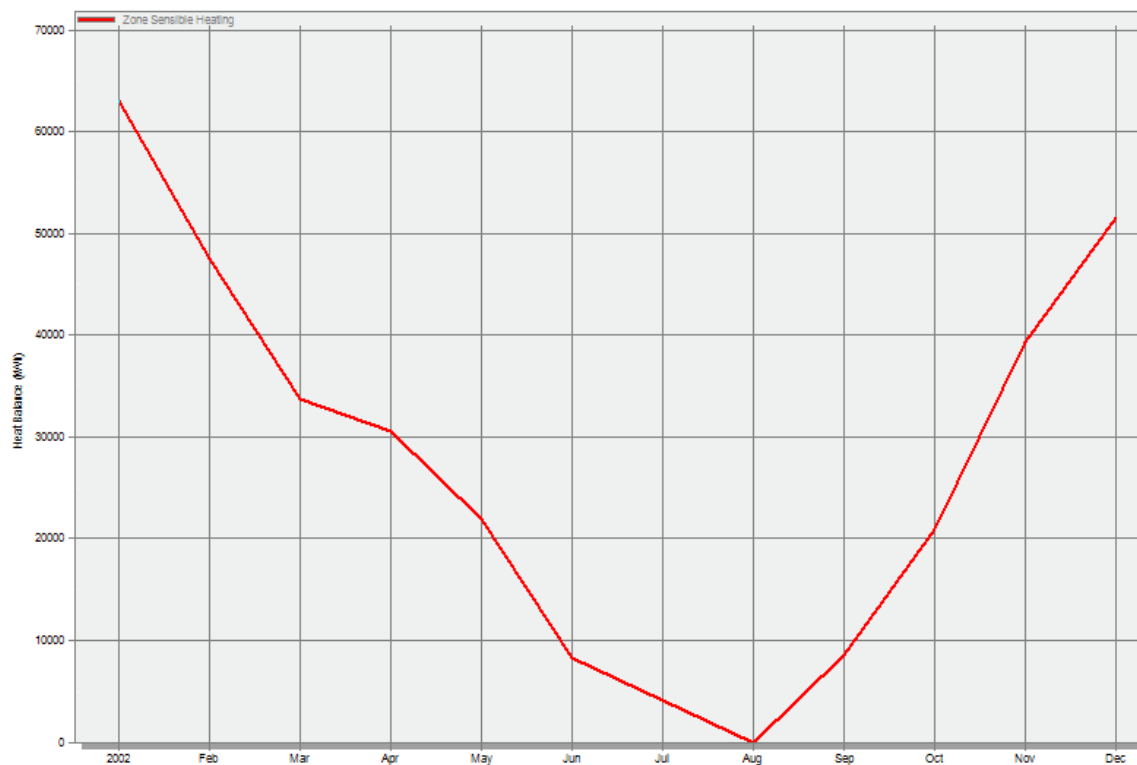


Gráfico 6-6 Necessidades mensais de aquecimento.

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 6-7 verifica-se que há uma constante necessidade de aquecimento de outubro a maio e que depois apenas existe consumos reduzidos. Verifica-se também que as necessidades de aquecimento ao domingo são nulas, devido à caldeira estar desligada nesse dia.

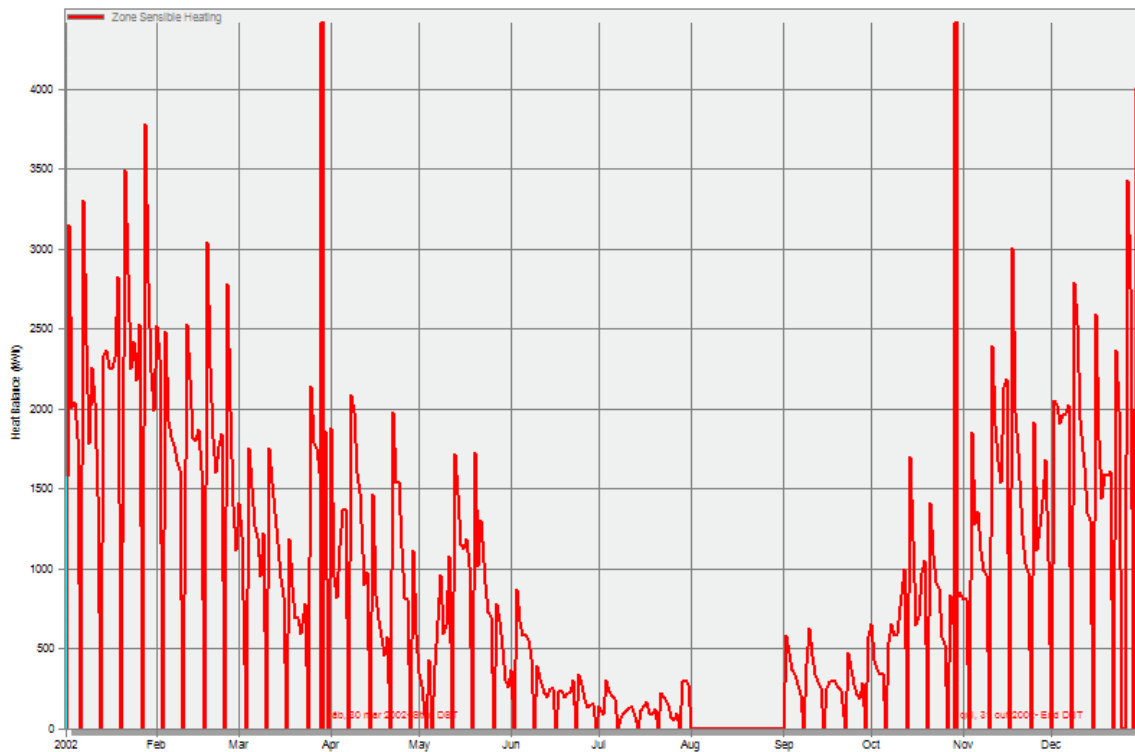


Gráfico 6-7 Necessidades diárias de aquecimento.

6.4. Necessidades de arrefecimento

Relativamente às necessidades de arrefecimento, o DesignBuilder faz a simulação para dia 15 de julho, que é considerado como sendo o dia com as condições mais extremas para o período de verão.

Esta simulação tem como objectivo determinar a capacidade do equipamento de refrigeração necessária para manter as condições de conforto térmico de todas as zonas de área útil. Tem em conta todos os ganhos de calor do edifício (solares e internos), assumindo condições dinâmicas. Variação de temperatura dinâmica significa que o armazenamento de calor que ocorre na envolvente do edifício e elementos interiores são contabilizados.

A simulação de arrefecimento (Cooling Design) com base nos cálculos do EnergyPlus tem as seguintes características [18]:

- Condições dinâmicas de temperatura externa. Temperatura máxima que ocorre durante o dia e temperatura mínima durante a noite, com períodos de simulação

de meia hora. O perfil de temperatura diária é representado por valores máximos e mínimos usando uma curva sinusoidal;

- Sem vento;
- Inclui ganhos solares através dos envidraçados;
- Inclui ventilação mecânica + ventilação natural + infiltrações;
- Inclui ganhos internos por ocupantes, iluminação e equipamentos;
- Considera a condução e convecção de calor entre zonas a diferentes temperaturas.

Mais uma vez, como resultado da simulação obteve-se variação da temperatura interior do ar, a temperatura radiante, a temperatura operacional e a temperatura externa de bolbo seco como se pode verificar no Gráfico 6-8.

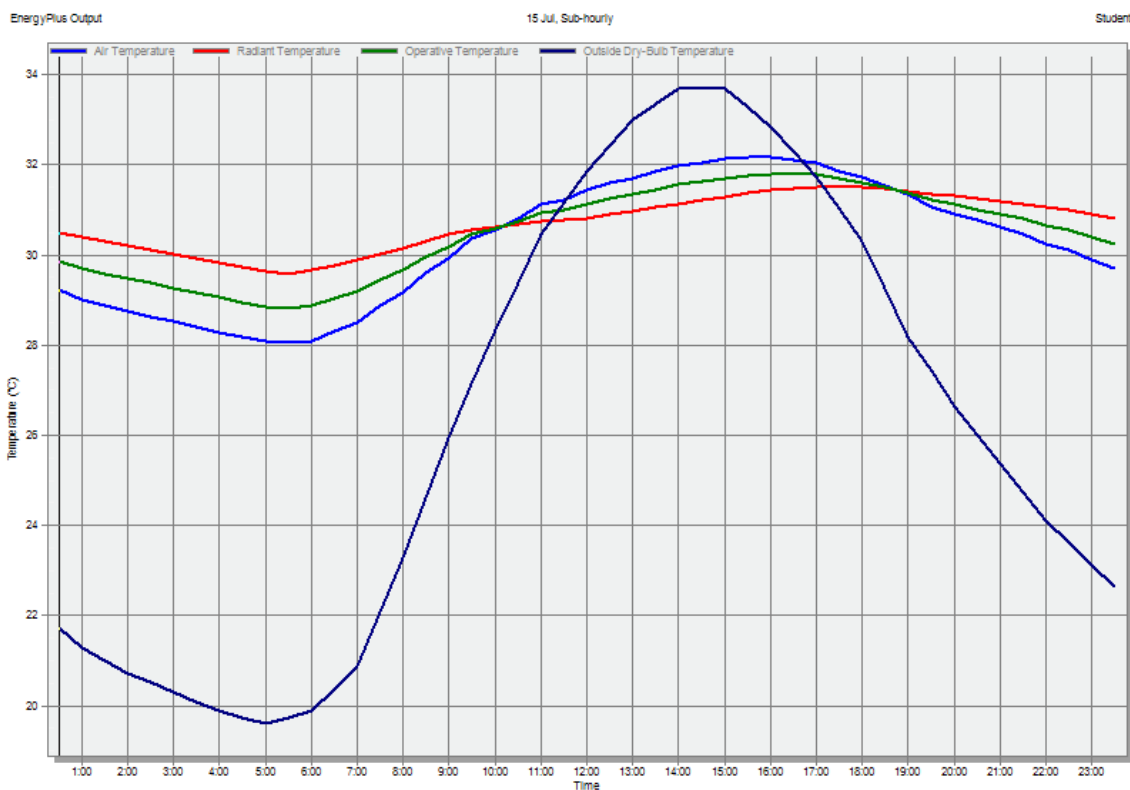


Gráfico 6-8 Variação horária das temperaturas interna do ar, radiante, operativa e externa do bolbo seco.

Contudo as necessidades de arrefecimento são inexistentes, pois os cálculos são realizados tendo em conta os sistema HVAC presentes no edifício e, apesar de o teatro ter disponível um chiller, o mesmo não se encontra em funcionamento.

6.5. Balanço Energético do Edifício

6.5.1. Envolvente

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

Verificou-se que o edifício possui um balanço energético negativo relativamente à envolvente na ordem dos -132 MWh, havendo perdas anuais de cerca de -34 MWh nos vãos envidraçados e de -52 MWh para as paredes, como se verifica no Gráfico 6-9.

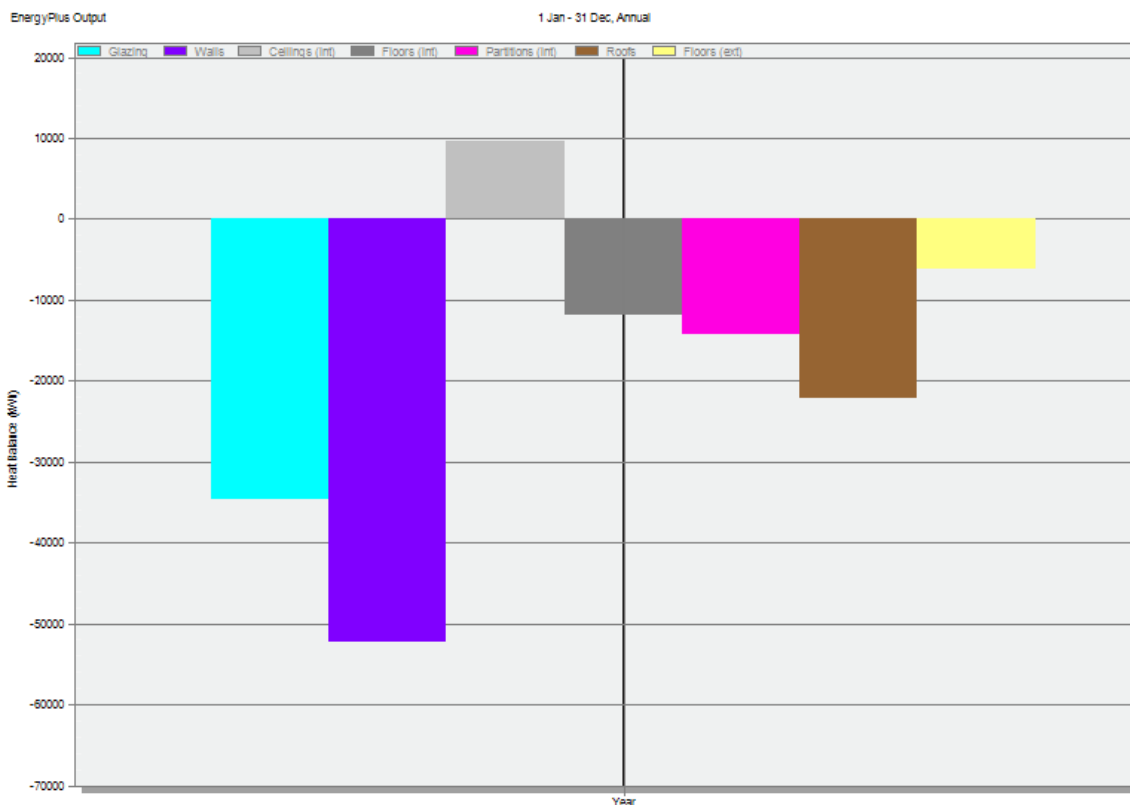


Gráfico 6-9 Balanço Energético anual da envolvente do edifício.

Tabela 6-3 Balanço Energético anual da envolvente do edifício.

Envidraçados (kWh)	-34.647,14
Paredes (kWh)	-52.315,72
Tetos Internos (kWh)	9.607,69
Pisos Internos (kWh)	-11.884,94
Partições Internas (kWh)	-14.215,48
Cobertura (kWh)	-22.212,87
Pisos Externos (kWh)	-6.199,15

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 quase todo o ano este elemento assume um valor positivo. O valor é positivo pois as coberturas absorvem calor devido à grande área exposta à radiação solar.

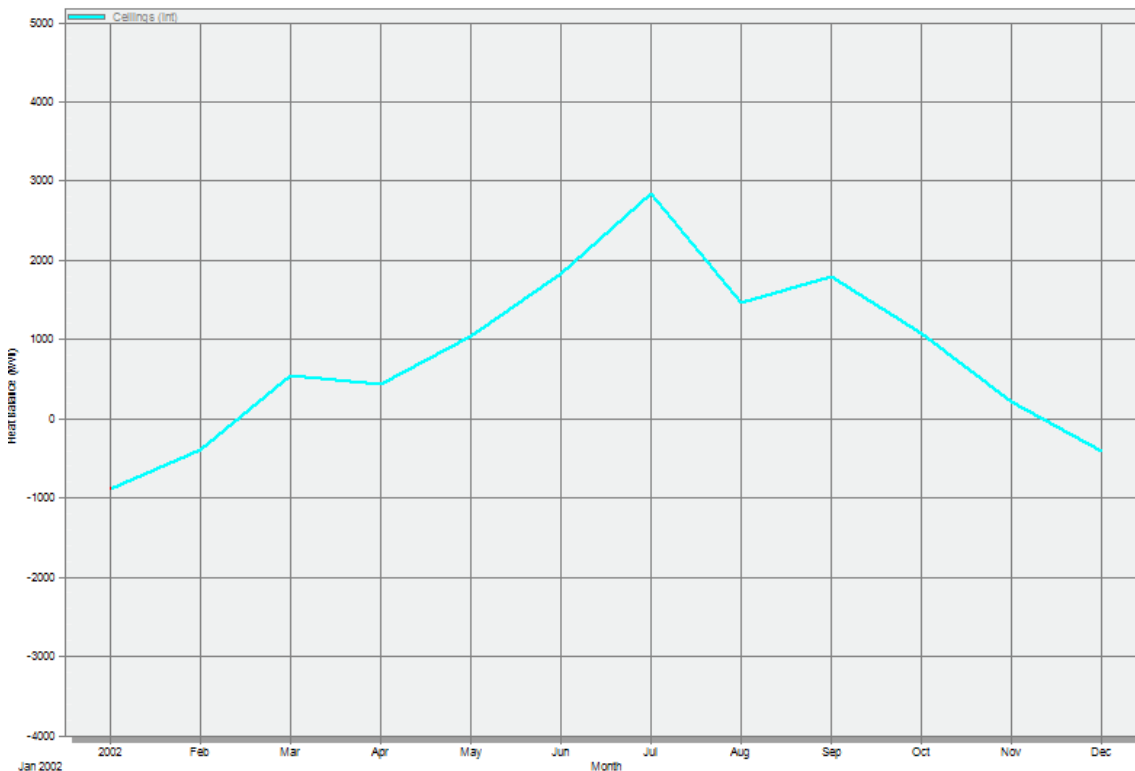


Gráfico 6-10 Balanço energético mensal da cobertura.

6.5.2. Ganhos Internos

Os ganhos internos, isto é, o ganho de energia devido à iluminação, equipamentos, e ocupação de todo o edifício estão presentes no Gráfico 6-11. Verifica-se que a iluminação é o responsável pela maior parte dos ganhos internos, com cerca de 223,15 MWh de um total de 411,80MWh.

Tabela 6-4 Ganhos internos anuais.

Iluminação (MWh)	223,15
Equipamentos (MWh)	76,40
Ocupação (MWh)	112,25

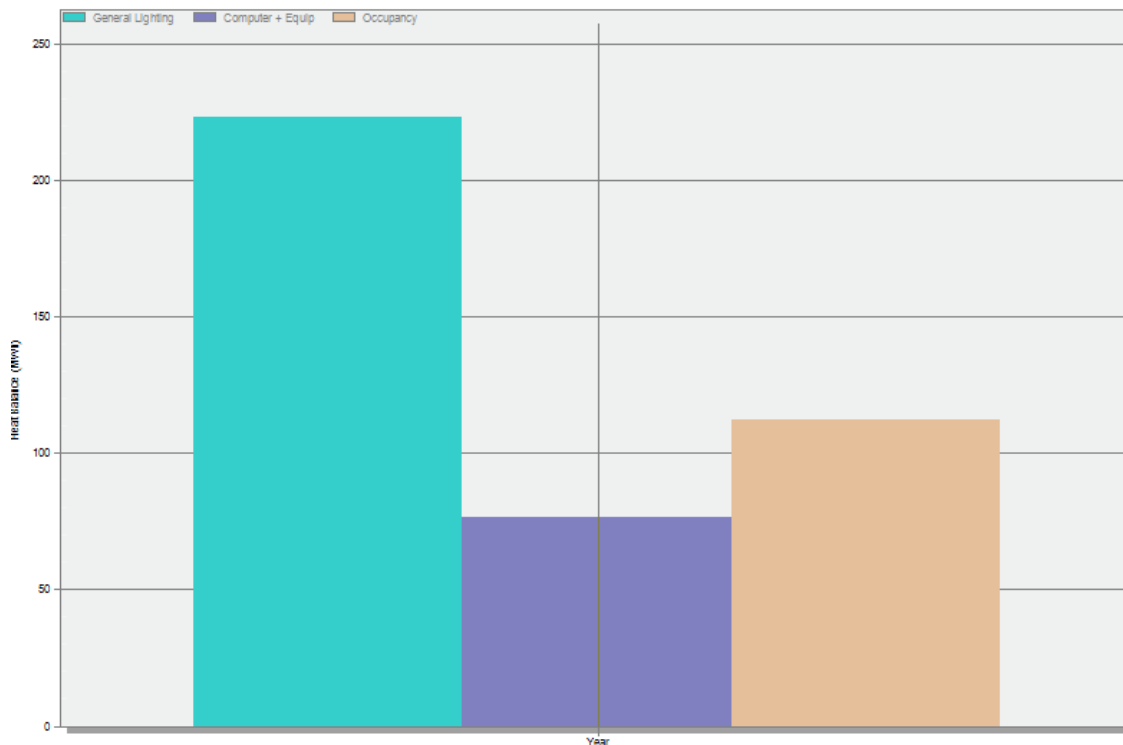


Gráfico 6-11 Ganhos internos anuais.

6.5.3. 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 os ganhos solares podem influenciar o consumo energético do edifício e por sua vez a fatura energética.

Os ganhos solares obtidos pela simulação são elevados, na ordem dos 62,25 MWh, dos quais 60,3 MWh são recebidos através das janelas exteriores e os restantes 1,95 MWh pelos envidraçados interiores, de acordo com Gráfico 6-12. Os meses em que há um maior ganho solar são coincidentes com os meses de verão, comportamento que já era esperado devido à menor declinação solar, pois neste período os raios solares incidem mais perpendicularmente sobre o território português, ou seja, os raios solares atingem Bragança com maior inclinação, logo há um maior ganho de calor por área. Aliado a este facto os dias neste período têm maior duração, logo há um maior ganho de energia solar.

Verifica-se no Gráfico 6-12 que o máximo ganho pelo edifício corresponde ao mês de Julho, com ganhos na ordem dos 8,52 MW considerando os ganhos solares dos envidraçados interiores e exteriores, enquanto o ganho mínimo coincide com os meses de dezembro (1,91 MWh) e janeiro (2,19 MWh), sendo estes os períodos com maiores necessidades de aquecimento.

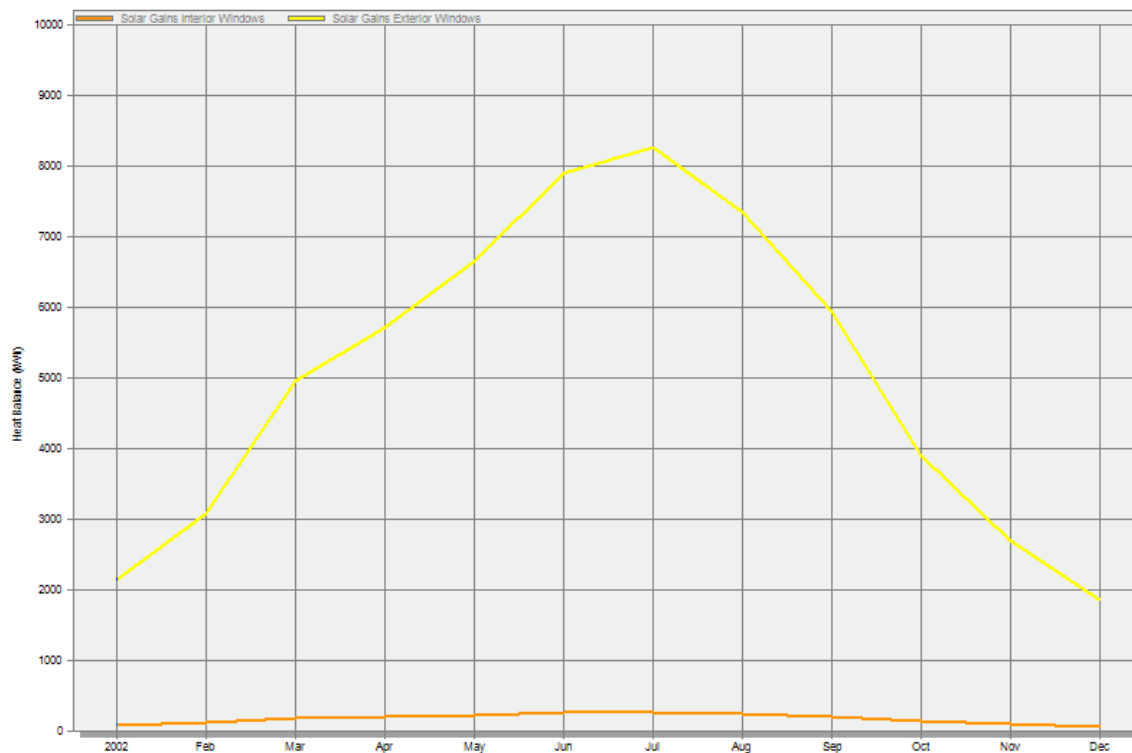


Gráfico 6-12 Ganhos solares mensais dos envidraçados interiores e exteriores.

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 exposição solar. Por sua vez as vertentes voltadas a norte têm mais horas de sombra, isto é, uma menor exposição.

Devido à maior área de envidraçado, que se encontra no foyer, se encontrar voltado a este, os ganhos solares através dos envidraçados exteriores são maiores da parte da manhã como se pode verificar no Gráfico 6-13.

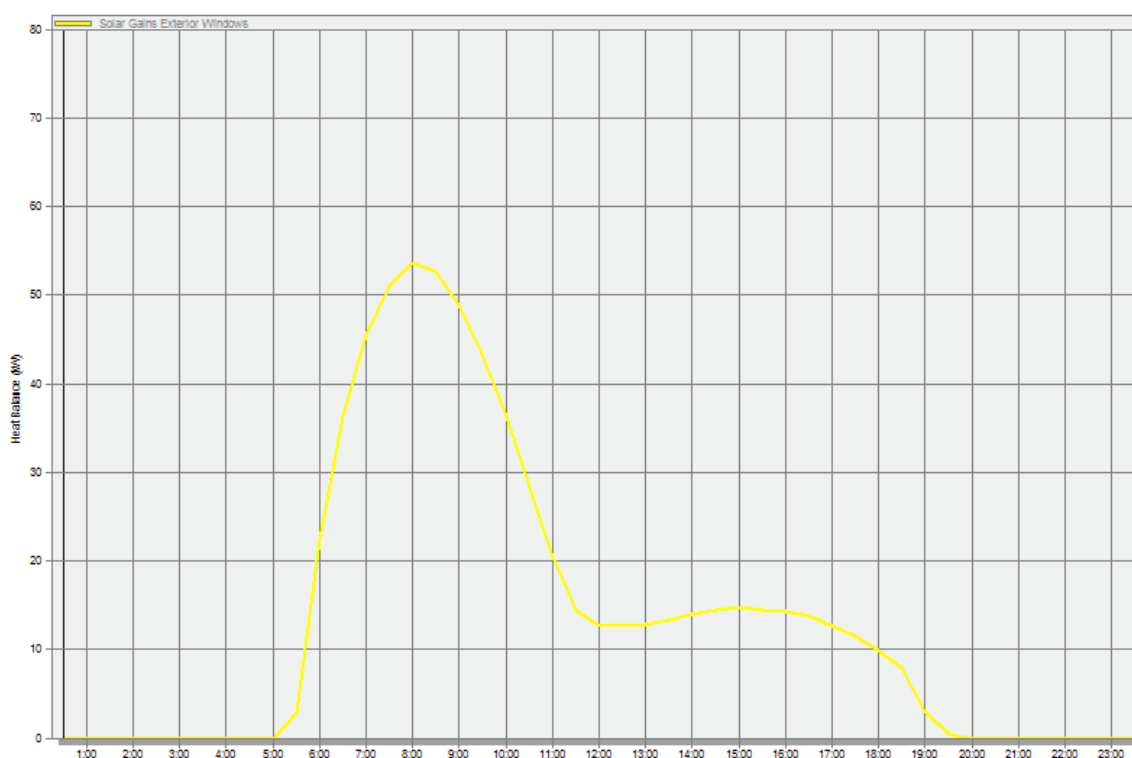


Gráfico 6-13 Variação horária dos ganhos solares através dos envidraçados exteriores.

6.5.4. Consumos Energia Elétrica e Gás Natural

O edifício em estudo possui um maior consumo de gás natural em relação à energia elétrica, isto é, 639,94 e 299,80 MWh respetivamente.

Tabela 6-5 Consumos obtidos com a simulação de energia elétrica e de gás natural.

Eletricidade (MWh)	299,80
Gás Natural (MWh)	639,94

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.

Em relação ao gás natural verifica-se que é utilizado apenas para duas aplicações: o aquecimento ambiente (605,23 MWh), e de águas quentes sanitárias (34,71 MWh), em que na sua totalidade são responsáveis por 68,9% do consumo energético do edifício, dos quais cerca de 94,6% do gás natural utilizado é para o aquecimento ambiente e os restantes 5,4% para o aquecimento de águas quentes.

6.6. Emissões estimadas de dióxido de carbono

Em relação às emissões de dióxido de carbono equivalente o DesignBuilder estima que anualmente sejam emitidos 320.141,9 kg, valor superior ao estimando anteriormente que era de cerca de 232.161,89 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, respetivamente.

Apesar dessa diferença o comportamento mensal das emissões de CO₂ são os esperados, como se pode verificar no Gráfico 6-14, o mês com menores emissões é agosto, pois é o período em que o teatro não é utilizado.

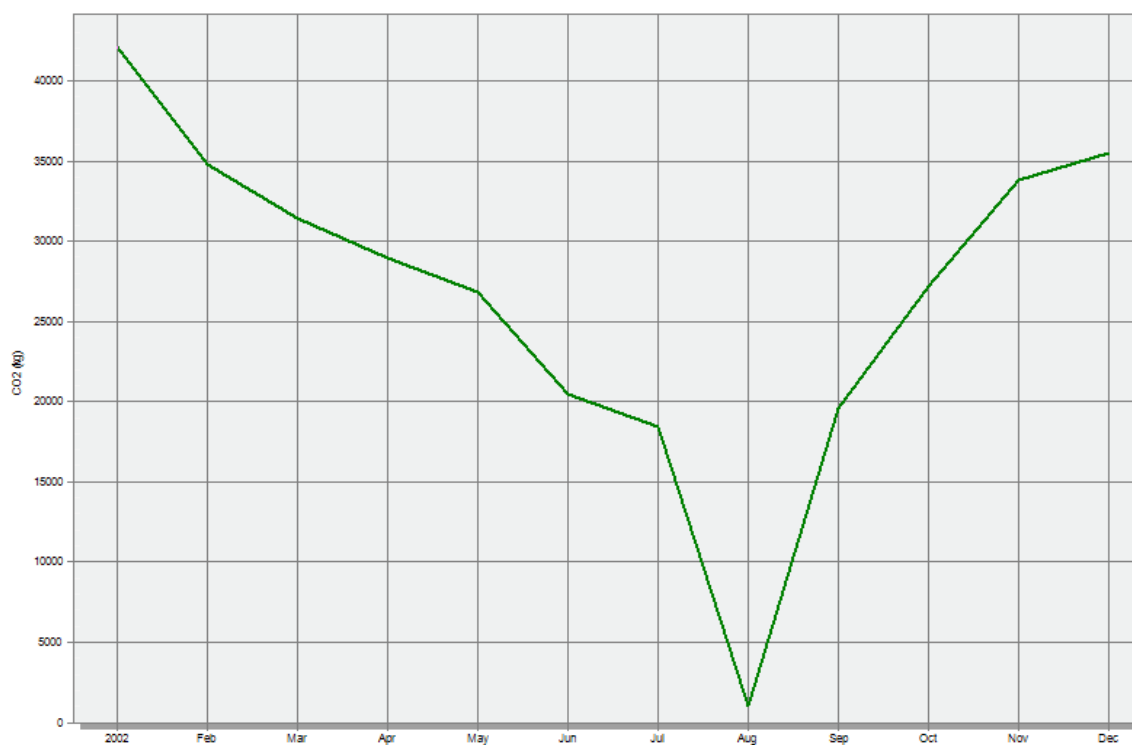


Gráfico 6-14 Emissões mensais de dióxido de carbono (kg).

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.

6.7. Classe Energética

Considerando os consumos energéticos de 2016 e os consumos obtidos na simulação é possível efetuar a determinação da Classe Energética do edifício.

Tabela 6-6 Rácio de classe energética.

IEE_{pr}	IEE_{ef}	R_{IEE}	Classe Energética
229,91	224,68	1,02	C

Mediante a informação apresentada na Tabela 6-6, verifica-se que o edifício possui uma classificação energética de C. É de referir que a classificação energética está dentro do exigido pela legislação (Classificação C) [19].

7. Medida de melhoramento de desempenho energético

Após o término da análise apresentada anteriormente, foi possível identificar uma oportunidade de melhoria do desempenho energético do edifício, nomeadamente na área da climatização. Foi também efetuado um estudo com o objetivo de efetuar o dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico.

7.1. Alteração no sistema de climatização

Nesta medida foi considerado desligar o aquecimento na zona do sub-palco, uma vez que não fazia muito sentido estar a realizar o aquecimento numa área que praticamente não é usada.

Após realizar a simulação com a inserção da medida no modelo dinâmico, verificou-se uma redução no consumo de gás natural em cerca de 28,47 MWh como se pode verificar na Tabela 7-1.

Tabela 7-1 Consumos obtidos com a simulação de energia elétrica e de gás natural.

	Consumos Energéticos Simulados (MWh)	Consumo Energético com Medida (MWh)	Poupança (MWh)	Poupança (%)
Gás Natural (MWh)	639,94	611,47	28,47	4,66

7.2. Sistema solar fotovoltaico para autoconsumo

A mais recente legislação, o Decreto-Lei nº153/2014, de 20 de Outubro, vem potencializar os sistemas fotovoltaicos ligados à rede, num novo regime geral da produção distribuída, destacando-se a produção de energia descentralizada e o conceito de produtor em autoconsumo.

Segundo a referida legislação, uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC) produz energia preferencialmente, para satisfazer as necessidades de consumo, assim

sendo, a energia elétrica produzida deve ser instantaneamente injetada na instalação de consumo e eventuais excedentes de produção instantânea poderão ser injetados na rede elétrica de serviço público (RESP), a fim de evitar qualquer desperdício de energia [20]. Um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo típico é apresentado na Figura 7-1.

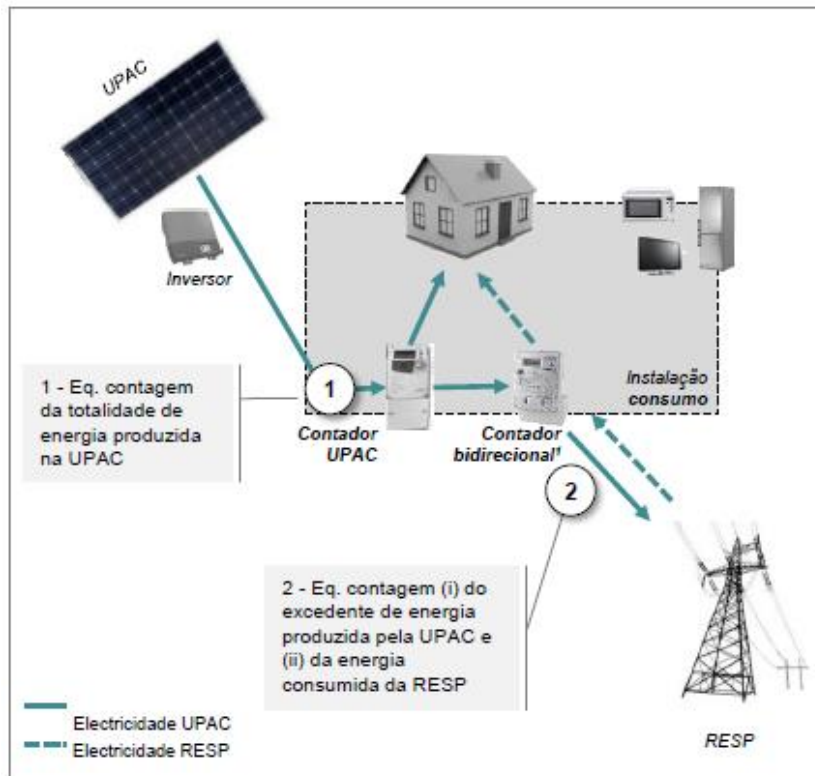


Figura 7-1 Modelo de funcionamento de uma UPAC (de potência > 1,5 kW) [21].

Entre os módulos e a rede existem equipamentos de regulação e interface que otimizam as condições de geração e adaptam-nas às condições de recepção impostas pela rede.

7.2.1. Descrição do sistema

O local foi escolhido devido à sua orientação que potencia o aproveitamento da radiação solar no local, isenção total da ocorrência de efeito sombra sobre os módulos, fácil acesso para operações de instalação e de manutenção, não prejudicando a vista que o topo do teatro proporciona.

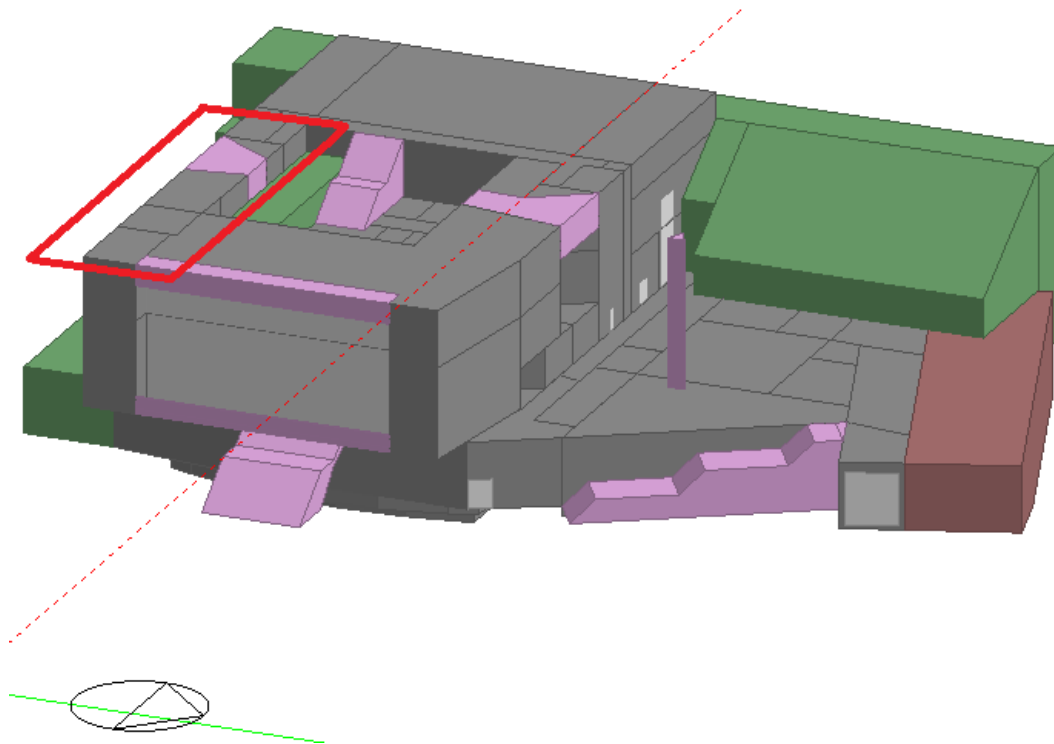


Figura 7-2 Local de instalação do sistema solar fotovoltaico.

Após uma análise às plantas do teatro, através do programa AutoCAD, calculou-se que a zona da cobertura escolhida tem um comprimento de 32 m e uma largura de 3,5 m, perfazendo uma área total de 112 m². Assim, atendendo às dimensões da cobertura e que os módulos escolhidos têm 1,50 m de comprimento e 0,99 de largura, é possível determinar o número de módulos que é possível instalar na estrutura, dependendo da orientação dos módulos (horizontal ou vertical).

O sistema proposto é constituído por 30 módulos fotovoltaicos, orientados a sul (0°) e com uma inclinação de 38°, o que totaliza uma potência instalada de 6,6 kWp.

O módulo escolhido foi o modelo KD205GX-LPU de potência de pico de 205Wp, da Kyocera, sendo as características elétricas apresentadas na Tabela 7-2.

Tabela 7-2 Características do módulo KD205GX-LPU, nas condições STC.

Potência de pico (Wp)	205 W
Tensão no ponto de potência máxima (Vmpp)	26,60 V
Corrente no ponto de potência máxima (Impp)	7,71 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	33,20 V
Corrente de curto circuito (Isc)	8,36 A
Coeficiente de variação com a temperatura	5,0m A/°C
Coeficiente de variação com a temperatura	-0.13 V/°C

O sistema foi dimensionado com o recurso ao software PVsyst, que para além de nos permitir o correto dimensionamento do sistema, indica também uma estimativa de energia produzida. De salientar que o SCE permite a utilização de programas adequados para estimar a produção de energia de origem renovável.

O PVsyst disponibiliza o valor correto dos extremos de temperatura para os módulos, a considerar no dimensionamento do projeto (-10 °C e 60 °C) neste local, e dentro da sua vasta base de dados é possível encontrar o modelo do módulo escolhido para o projeto. Relativamente ao inversor, o escolhido foi o modelo Sunny Mini Central 6000 TL, da marca SMA, sendo as características elétricas apresentadas na Tabela 7-3.

Tabela 7-3 Características do inversor Sunny Mini Central 6000 TL.

Potência máxima DC	6 kWp
Tensão máxima DC	700 V
Gama de tensão MPP	333-500 V
Corrente máxima de entrada	27 A
Potência nominal AC	6 kW

7.2.2. Produção de energia

Após a introdução de todos os dados referentes aos módulos fotovoltaicos e ao inversor, o PVsyst efetua o cálculo de uma estimativa da produção anual de energia, que, segundo a informação resultante da simulação efetuada, e apresentada na Tabela 7-4, é de 9.048kWh anuais.

Tabela 7-4 Produção estimada de energia do sistema solar fotovoltaico.

	Energia Produzida (kWh)
Janeiro	534
Fevereiro	580
Março	875
Abril	778
Maio	877
Junho	924
Julho	1014
Agosto	1009
Setembro	887
Outubro	704
Novembro	487
Dezembro	380
Total	9.048

7.2.3. Análise do Investimento

Assumindo o preço de compra da eletricidade 0,145€, verificou-se que o retorno do investimento seria obtido ao fim de 6 anos e 8 meses (Tabela 7-5).

Tabela 7-5 Análise de investimento do sistema solar fotovoltaico.

Análise do Investimento	
Preço inversor	921,27 €
Preço módulo	263,25 €
Investimento Inicial	8.818,77 €
Preço unitário da energia	0,145 €
Energia produzida pela UPAC	9.048 kWh
Poupança da UPAC	1.311,96 €
Retorno	6,72 Anos

7.3. Classificação energética

Após a análise da medida proposta de alteração no edifício, e da análise técnico-económica do sistema solar fotovoltaico dimensionado, é possível determinar qual a influência que a implementação da medida e do sistema fotovoltaico teriam na classificação energética do edifício. Na Tabela 7-6 é apresentada a nova classe energética do edifício.

Tabela 7-6 Rácio de classe energética.

IEE_{pr}	IEE_{ren}	IEE_{ef}	R_{IEE}	Classe Energética
221,23	3,74	224,68	0,97	B-

8. Conclusão

Dado que o setor dos edifícios é responsável por cerca de 30% do consumo de energia final em Portugal, 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.

Foi essencial averiguar as leis, internacionais e nacionais, que vigoram no âmbito da eficiência energética dos edifícios para a perceção das imposições e incentivos na área da remodelação e construção de edifícios energeticamente eficientes, com o objetivo de perceber as limitações que cada projeto compreende.

Procedeu-se então a um estudo de caracterização do edifício, analisando a sua envolvente, a ocupação, os equipamentos, a iluminação, os horários de funcionamento e a faturação dos consumos, com o objetivo de construir um modelo o mais aproximado possível do edifício real, para que fosse possível simular o seu desempenho energético com fiabilidade. A construção do modelo para a simulação energética foi realizada através do software DesignBuilder com a ajuda do AutoCAD.

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 foi de 1,87%.

Verificou-se que o edifício tem um elevado consumo energético, que se justifica pela elevada potência instalada em termos de sistemas de iluminação e equipamentos, e devido ao edifício se situar numa zona climática fria.

Relativamente à classificação energética do edifício, verificou-se que esta é razoável, possuindo neste momento uma classificação de C

Foi então sugerido e estudado uma medida de eficiência energética recorrendo-se ao modelo computacional criado, de modo a permitir prever quais os efeitos dessas medidas em termos de consumos energéticos.

Tendo em conta a análise estrutural do edifício e o espaço disponível nas coberturas, tornou-se interessante efetuar um estudo da instalação de um sistema solar fotovoltaico. Assim dimensionou-se um sistema direcionado para autoconsumo, permitindo assim reduzir a faturação do consumo referente à energia elétrica.

O sistema proposto teria uma potência instalada de 6,6 kWp, sendo constituído por 30 módulos fotovoltaicos de potência unitária de 205Wp e 1 inversor fotovoltaico de 6 kW, estimando-se uma produção anual de cerca de 9 MWh de energia elétrica.

Com a instalação do sistema solar fotovoltaico conjugado com a medida de alteração na climatização do sub-palco foi possível obter uma melhoria da classificação energética de C para B-.

Bibliografia

- [1] APREN - Associação de Energias Renováveis. Energia em Portugal 2015, consultado em Junho de 2017. <http://apren.pt/pt/dados-tecnicos/publicacoes/nacionais/>
- [2] DGEG - As políticas e prioridades para a Eficiência Energética e para as Energias Renováveis em Portugal, consultado em Junho de 2017. http://www.gppq.fct.pt/h2020/_docs/eventos/5632_apresentacao-dgeg.pdf
- [3] ASHRAE - ASHRAE standards research technology., consultado em Junho de 2017. <https://www.ashrae.org/>.
- [4] ADENE - Directiva 2002/91/CE do parlamento europeu e do conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios. http://www.adene.pt/sites/default/files/1_00120030104pt00650071.pdf
- [5] Ministério da Economia e da Inovação. Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril. Diário da República n.º67/2006.
- [6] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril. Diário da República n.º67/2006.
- [7] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Diário da República n.º67/2006.
- [8] Diretiva 2010/31/UE do parlamento europeu e do conselho de 19 de maio de 2010. Jornal Oficial da União Europeia.
- [9] Ministério da Economia e do Emprego. Decreto-Lei n.º118/2013 de 20 de Agosto. Diário da República n.º159 20 de Agosto de 2013.

[10] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Portaria 349-D/2013 de 2 de Dezembro. Diário da República n.º 233.

[11] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Despacho n.º15793-J/2013. Diário da República n.º 234.

[12] EnergyPlus. Getting started with EnergyPlus, consultado em Maio de 2017.

https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs_v8.3.0/GettingStarted.pdf

[13] DesignBuilder. Welcome to DesignBuilder v5, consultado em Maio de 2017.

<http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0>

[14] DesignBuilder. Model Data Hierarchy & Data Inheritance, consultado em Maio de 2017.

http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0/#_Model_data_hierarchy_and_data_inheritance.htm?Highlight=datahierarchy

[15] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Despacho (extrato) n.º15793-D/2013. Diário da República n.º234.

[16] DesignBuilder. Component Block, consultado em Maio de 2017.

http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0/#Component_Block.htm?Highlight=componentblocks

[17] DesignBuilder. Heating Design Calculation, consultado em Setembro de 2017.

http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0/#_Heating_design_simulation.htm?Highlight=heatingdesign

[18] DesignBuilder. Cooling Design Calculation, consultado em Setembro de 2017.

http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0/#_Cooling_design_simulation.htm?Highlight=coolingdesign

[19] Ministério do Trabalho, Solidariedade, Segurança Social e Economia. Portaria n.º17-A/2016 de 4 de Fevereiro. Diário da República n.º 24 de 4 de Fevereiro de 2016.

[20] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de Outubro. Diário da República n.º202 de 20 de Outubro de 2014.

[21] Power-Sun, Principais Características do Novo Regime Autoconsumo e Pequena Produção, consultado em Outubro de 2017.

http://power-sun.com/pt/author/transmed_ps/

Anexo A – Plantas dos Pisos

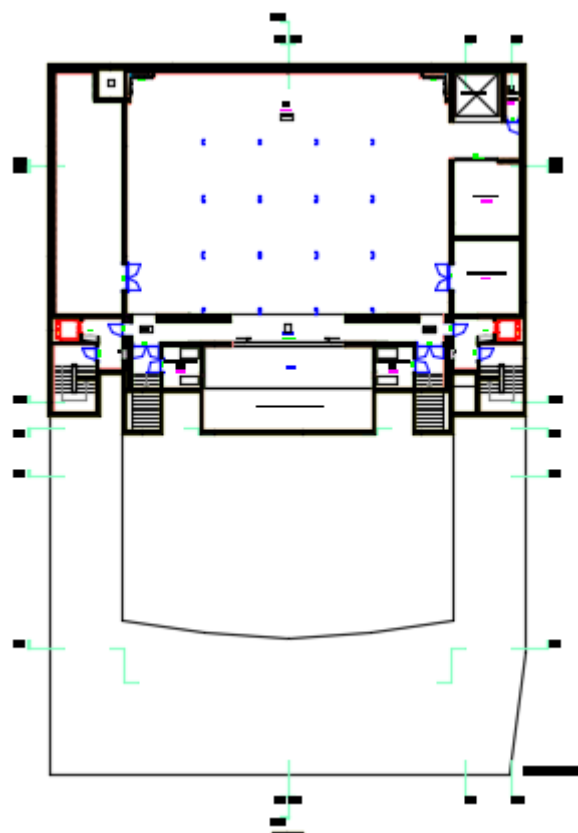


Figura A-1 Planta piso 1.

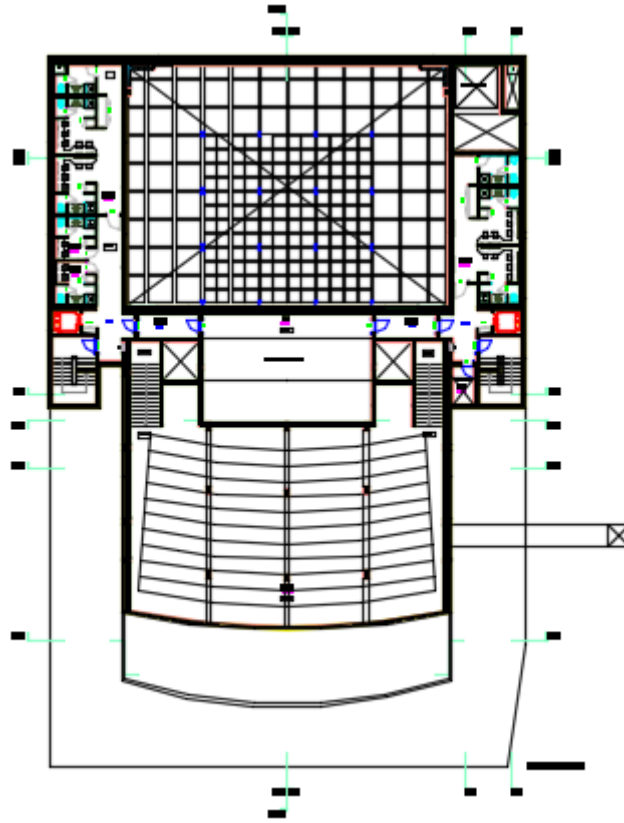


Figura A-2 Planta piso 2.

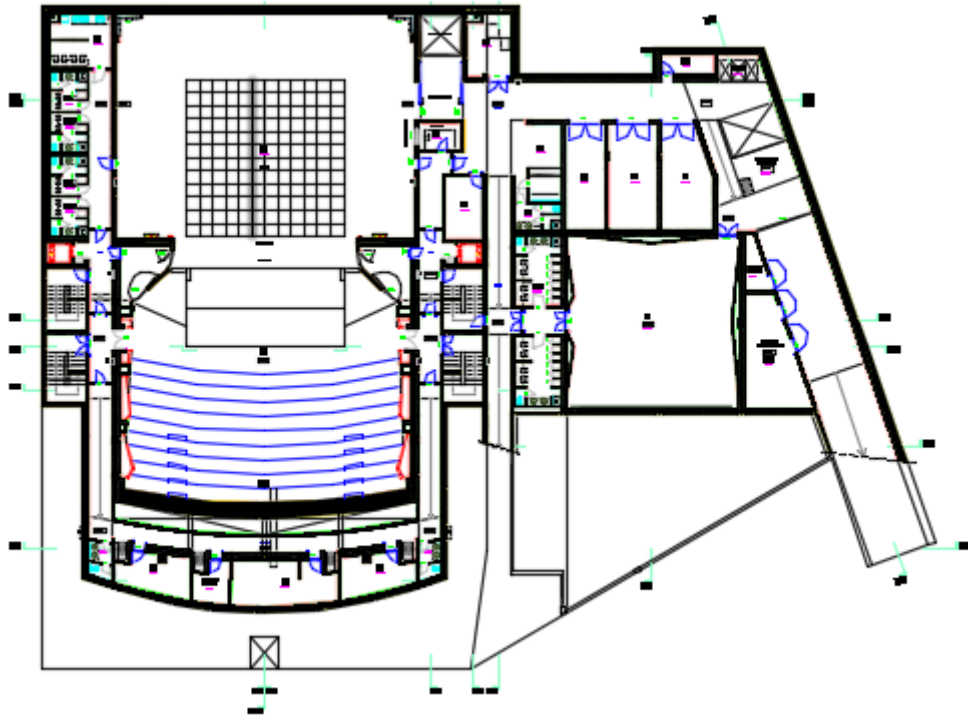


Figura A-3 Planta piso 3.

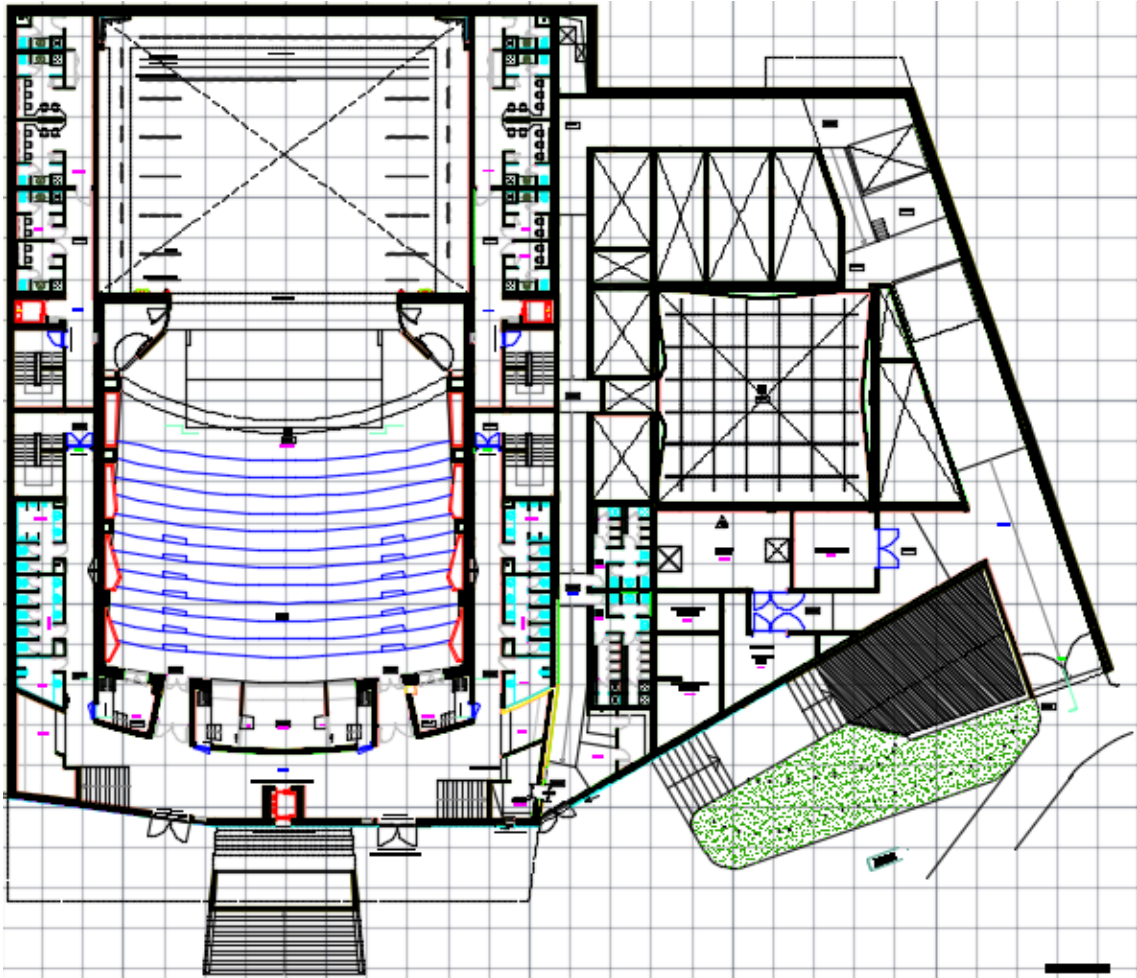


Figura A-4 Planta piso 4.

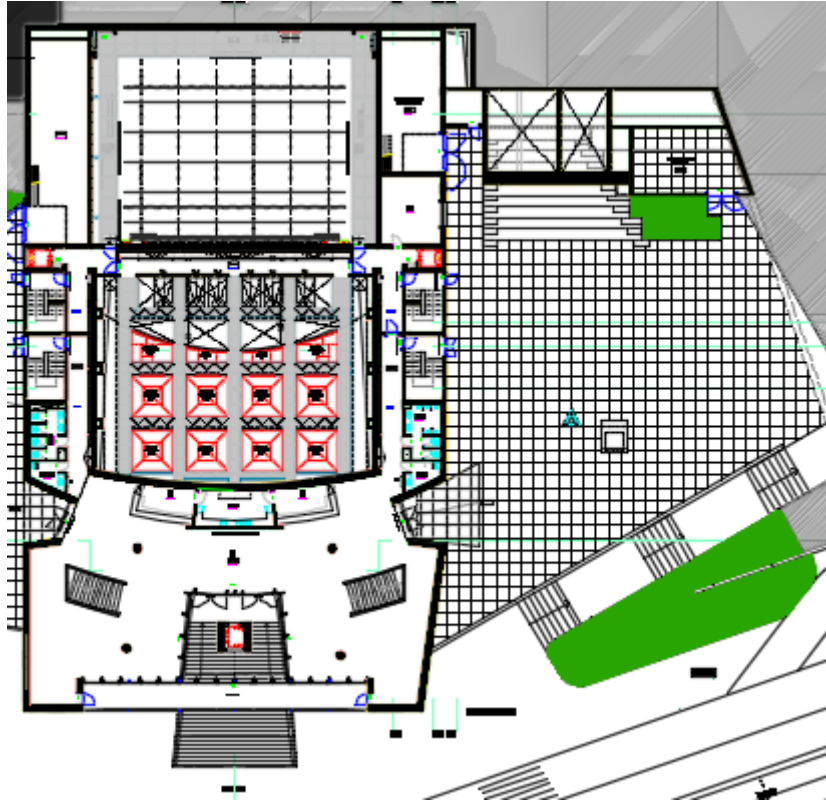


Figura A-5 Planta piso 5

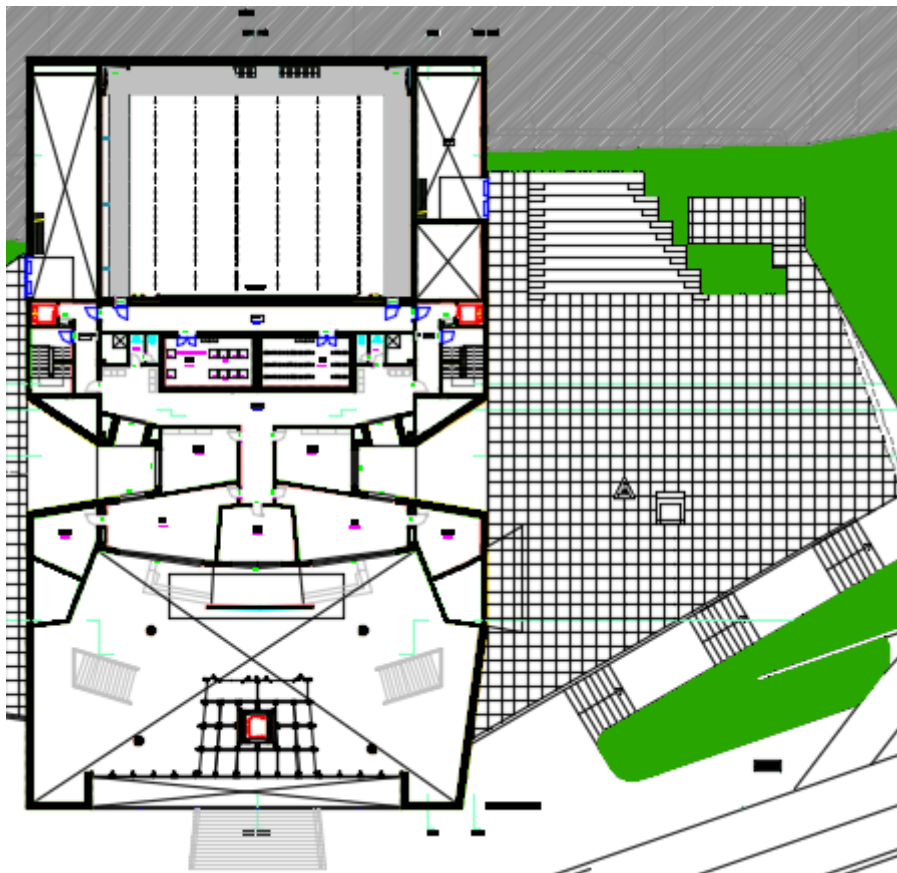


Figura A-6 Planta piso 6.

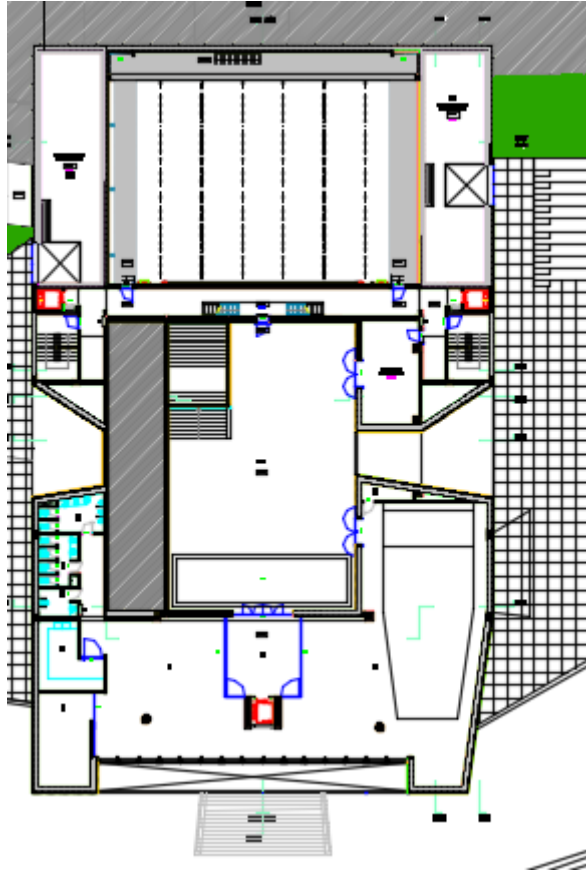


Figura A-7 Planta piso 7.

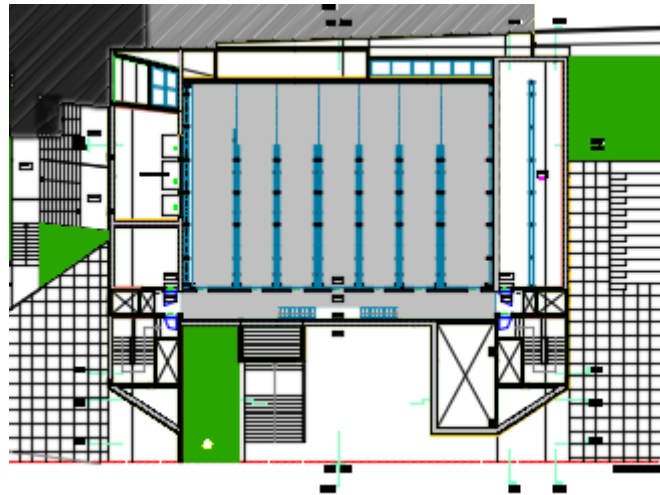


Figura A-8 Planta piso 8.

Anexo B – Densidade Sistemas de Iluminação

Tabela B-1 Densidade luminosa dos diferentes espaços nos pisos 1, 2 e 3.

Piso 1	W/m ²
Sub-Palco	7,32
Oficina Geral	6,74
Sala dos Pianos	5,74
Salas das cadeiras	5,67
Casa das Máquinas Elevador Esq.	4,41
Casa das Máquinas Elevador Dir.	4,41
Monta Cargas	8,07
Caixa de Escadas	12,8
Caixa de Escadas	12,8

Piso 2	W/m ²
Casa Máquinas	3,83
Camarins Colectivos Esq.	73,3
Camarins colectivos Dir.	71,1
Fosso Orquestra	21,9
Bombagem	11,2
Caixa de Escadas	2,46
Caixa de Escadas	2,46

Piso 3	W/m ²
Camarim de Continuidade	90,4
Camarim Individual	121
Camarim Individual	121
Camarim Individual	121
Camarim Individual	121
Corredor Esq.	37,5
Cx. Escadas Esq.	32
Corredor gabinetes	6,65
WC Técnicos	11,2
Gab. Iluminação	14,1
Casa das Máquinas	7,37
Gab. Audiovisuais	12,9
Gab. Maquinaria	14,2
Corredor Dir.	28,3
Caixa Escadas Dir	52,1
Armazém dos Cabos	17,9
Sala do Bombeiro	15,2
Monta-Cargas	10,9
Armazém Áudio	7,47
Mini Bar	45,1
WC Mini Bar	32,3
Camarins Esq. Sala Ensaio	103
Camarins Dir.	103
Depósitos Lixos	8,29
Palco	524,04

Tabela B-2 Densidade luminosa dos diferentes espaços nos pisos 4, 5 e 6.

Piso 4	W/m ²	Piso 5	W/m ²	Piso 6	W/m ²
Camarins Colectivos Esq.	133,55	Casa das Máquinas Praça Sul	4,48	Luz Serviço Técnica	26,1
Corredor Esq.	10,08	Corredor Esq.	6,53	Caixa de Escadas Esq.	11,32
Caixa de Escadas Esq.	42,30	Caixa de Escadas Esq.	11,5	Corredor Centrais Técnicas	4,09
WC Publico Esq.	31,79	WC Publico Esq.	29,4	CTAV	19,97
Corredor WC Esq.	118,79	Corredor WC Esq	43,4	CTIC	19,97
Bengaleiro	17,40	Corredor WC Dir.	42,4	Corredor Gabinetes Direcção	2,13
Corredor Técnico	15,30	WC Publico Dir.	29,4	WC Direcção Esq.	23,68
Régie	21,39	Corredor Dir.	5,38	Gabinete 1	28,83
Monta Cargas	16,04	Iluminação do Auditório	5,52	Gabinete Reuniões	25,83
Plateia	8,18	Iluminação do Bar do Foyer	7,89	Gabinete Produção	32,17
Sala do PT	20,10	Caixa de Escadas Dir.	11,49	Gabinete Direcção	25,83
Cabine Follow Spot Dir.	22,88	Sala de Trabalho Equipas Visitantes	17,65	Gabinete Gráfico	28,83
WC Publico Dir.	31,78	Casa das Máquinas Praça Norte	4,65	Iluminação Foyer	43,41
Corredor WC Publico	118,79	Luz Serviço Técnica	33,06		
Bilheteira	31,00				
Caixa de Escadas	42,30				
Camarins Colectivos Dir.	99,74				
Entrada de Artistas	5,18				
Balneários Técnicos	4,65				
Central Térmica	15,96				
Central Bombagem	5,88				
Grupo Gerador	11,05				
Sala de Ensaios	9,63				
Armazém de luz 1 2 3	11,32				

Tabela B-3 Densidade luminosa dos diferentes espaços nos pisos 7 e 8.

Piso 7	W/m ²
Sala das Máquinas	6,48
Caixa de Escadas	2,46
Corredor Técnico	6,31
Sala das Máquinas	7,16
Caixa de Escadas	2,46
Luz de Serviço Técnica	24,58
Sala dos Pesos	2,49
Sala de Actos	16,76

Piso 8	W/m ²
Caixa de Escadas	3,68
Luz de Serviço Técnica	10,8
Caixa de Escadas	3,68
Sala dos Motores	9,90

Anexo C – Densidade de Equipamentos

Tabela C-1 Densidade de equipamentos dos diferentes espaços do edifício.

Piso 1	W/m ²
Oficina Geral	54,07


Piso 3	W/m ²
Camarim Continuidade	328,81
Mini-Bar	402,08
Gabinete Iluminação	60,98
Gabinete Audio-Visuais	36,97
Gabinete Mecânica Cena	30,53
Direcção de Cena	3,85
Palco	474,82

Piso 4	W/m ²
Régie	18,38
Bilheteira	75,41
Entrada Artistas	8,07

Piso 6	W/m ²
Gabinete Direcção	9,28
Gabinete Produção	23,12
Gabinete Publicidade	20,71
Gabinete	12,43
CTAV	67,37

Piso 7	W/m ²
Sala Actos	2,12

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

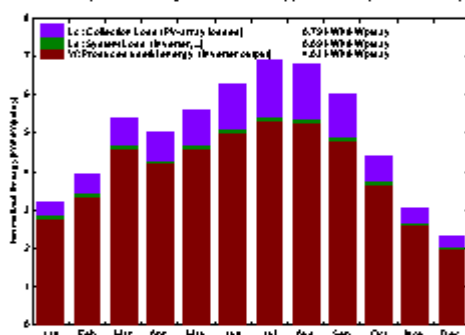
	PVSYST V5.51	29/10/17	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	TEATROu2		
Geographical Site	Braganca	Country	Portugal
Situation	Latitude 41.5°N	Longitude	6.5°W
Time defined as	Legal Time Time zone UT+1	Altitude	691 m
	Albedo	0.20	
Meteo data :	Braganca, Synthetic Hourly data		
Simulation variant :	teatro municipal de bragança 25 outubro		
	Simulation date	29/10/17 16h52	
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt	38°	Azimuth 0°
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	Si-poly	Model	KD205GX-LPU
	Manufacturer	Kyocera	
Number of PV modules	In series	15 modules	In parallel 2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	30	Unit Nom. Power 205 Wp
Array global power	Nominal (STC)	6.2 kWp	At operating cond. 5.4 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	353 V	I mpp 15 A
Total area	Module area	44.5 m²	
Inverter			
	Model	Sunny Mini Central 6000 TL	
	Manufacturer	SMA	
Characteristics	Operating Voltage	333-500 V	Unit Nom. Power 6.00 kW AC
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (wind) 0.0 W/m ² K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m ² , Tamb=20°C, Wind velocity = 1NOCT			56 °C
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	391 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 0.1 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)bo Parameter 0.05	

Project : TEATROv2
Simulation variant : teatro municipal de bragança 25 outubro

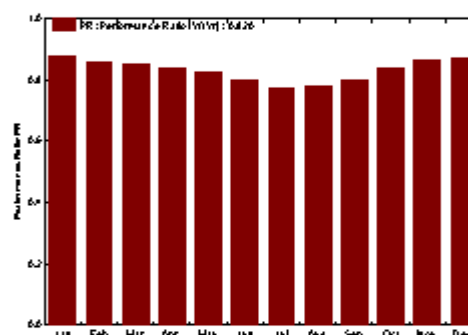
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	38°	azimuth 0°
PV modules	Model	KD205GX-LPU	Pnom 205 Wp
PV Array	Nb. of modules	30	Pnom total 6.2 kWp
Inverter	Model	Sunny Mini Central 6000 P/bom	6.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Main simulation results
System Production **Produced Energy 9048 kWh/year** Specific prod. 1471 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 82.0 %

Normalized production (per installed kWp): Nominal power 6.2 kWp



Performance Ratio PR



teatro municipal de bragança 25 outubro
Balances and main results

	Glob Hor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	Glob Eff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	57.0	4.50	96.0	96.4	547	534	12.40	12.11
February	75.0	5.50	110.5	107.6	593	580	12.06	11.78
March	130.0	8.00	167.7	163.3	856	875	11.97	11.71
April	143.0	10.00	151.0	146.3	796	778	11.84	11.57
May	183.0	13.40	173.4	167.8	858	877	11.62	11.35
June	212.0	17.70	188.9	182.6	946	924	11.23	10.97
July	234.0	21.10	213.6	206.8	1038	1014	10.91	10.66
August	205.0	20.80	210.2	204.2	1032	1009	11.02	10.78
September	149.0	18.30	181.0	175.9	907	887	11.25	11.00
October	97.0	13.10	136.9	133.3	720	704	11.80	11.54
November	57.0	8.00	91.9	89.6	488	487	12.16	11.88
December	42.0	5.00	71.3	69.4	360	360	12.25	11.97
Year	1584.0	12.19	1796.3	1743.3	9259	9048	11.88	11.31

Legends: Glob Hor Horizontal global irradiation EArray Effective energy at the output of the array
T_Amb Ambient Temperature E_Grid Energy injected into grid
GlobInc Global incident in coll. plane EffArrR Eff. of array / rough area
Glob Eff Effective Global, corr. for IAM and shadings EffSysR Eff. of system / rough area