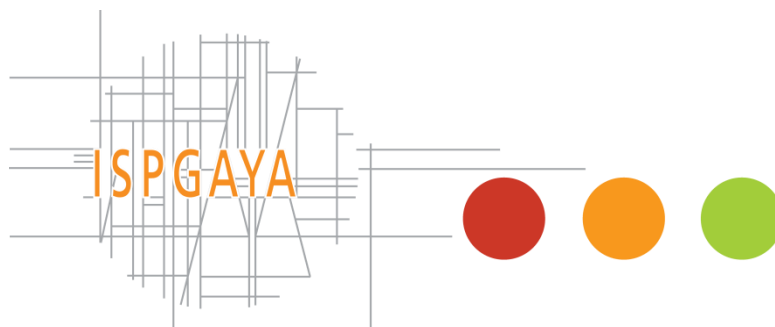


INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO GAYA



**MESTRADO EM GESTÃO DE ENERGIA E EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**

**“NET ZERO BUILDINGS” – APLICAÇÃO DO
CONCEITO A UM EDIFÍCIO EXISTENTE**

David Soares Laborda

Orientadores: **Prof. Doutor Delmar Ferreira Jorge**
Mestre Ricardo Lopes

Dissertação apresentada no Instituto Superior Politécnico Gaya com vista a aprovação à Unidade Curricular de Projeto do Curso de Mestrado em Gestão de Energia e Eficiência Energética

Setembro de 2015

Sumário

Os edifícios de balanço energético nulo (NZEB - *Net-Zero Energy Building*) e/ou quase nulo (nZEB), têm vindo a ganhar crescente atenção desde a publicação da diretiva europeia 2010/31/EU [34].

Em Portugal, com a introdução do Decreto-Lei n.º118/2013, dá o primeiro passo para os edifícios com necessidades quase nulas de energia. Os novos edifícios licenciados após 31 dezembro de 2020, ou após 31 de dezembro de 2018 no caso de edifícios públicos, serão edifícios com necessidades quase nulas de energia.

O objetivo do trabalho consiste na aplicação do conceito “*Net Zero Energy Building*”, ao edifício existente do Instituto Superior Politécnico Gaya (ISPGaya), em Vila Nova de Gaia, com o intuito de analisar a viabilidade de otimização de energia e a metodologia deste conceito ao edifício, com recurso a ferramentas de simulação.

A dissertação está organizada em sete partes, começando por uma breve introdução, na segunda parte analisamos o estado da arte e recolha bibliográfica sobre o conceito em análise. Na terceira parte, é efetuado uma caracterização do edifício, com o levantamento das necessidades e consumos energéticos do edifício. Será efetuado uma simulação energética do edifício, através do DesignBuilder®, que servirá como termo de comparação para outras simulações. Na quarta e quinta partes, serão delineadas as especificações a implementar no edifício por forma a ser considerado *Net Zero Energy Building*, com alterações na simulação do mesmo de acordo com as novas especificações. Na sexta parte será feita a análise técnica e financeira das medidas preconizadas na quarta e quinta parte. Por último, será feita a comparação técnica, financeira e ambiental da solução NZEB encontrada com a regulamentação e práticas em vigor.

Através das várias simulações energéticas ao edifício, conclui-se que é possível baixar as necessidades energéticas do edifício através de medidas de eficiência energética, em especial na iluminação e que os resultados obtidos, apesar de ser viável a implementação do conceito *Net Zero Energy Building*, traduzem um esforço financeiro e algumas condicionantes para a sua concretização.

Abstract

Net zero or nearly zero energy buildings have received increasing attention since the publication of the new Directive on the Energy Performance of Building 2010/31/EU [34].

In Portugal, with the introduction of Decree-Law n.º118 / 2013 takes the first step for buildings with nearly zero-energy. The new building permits after December 31, 2020, or after December 31, 2018 in the case of public buildings, buildings will be nearly zero-energy.

The objective is the application of the concept "Net Zero Energy Building", the existing building ISPGaya, in Vila Nova de Gaia, in order to analyze the energy optimization feasibility and methodology of this concept the building, using simulation tools.

The dissertation is organized into seven parts, beginning with a brief introduction, the second part we analyze the state of the art and literature collection on the concept in question. In the third part, a characterization of the building is made, with the statement of requirements and energy consumption of the building. An energy simulation of the building, through the DesignBuilder®, which will serve as a benchmark for other simulations will be made. In the fourth and fifth parts, the specifications will be outlined to implement the building in order to be considered Net Zero Energy Building, with changes in the simulation of the same according to the new specifications. In the sixth part will be the technical and financial analysis of the measures advocated in the fourth and fifth. Finally, the technical, financial and environmental comparison of NZEB solution found with the regulations and practices in force will be made.

Through the various energy simulations of the building, it is concluded that it is possible to lower the building's energy needs through energy efficiency measures, especially in lighting and that the results obtained, despite being feasible to implement the concept Net Zero Energy Building, translate a financial effort and some conditions for their implementation.

Agradecimentos

Agradeço ao Mestre Ricardo Lopes, pela disponibilidade e partilha de conhecimento demonstrado ao longo de todo o trabalho, essencial para o desenvolvimento e conclusão desta dissertação.

Ao professor Doutor Delmar Jorge, igualmente pela atenção dispensada, apoio, motivação e esclarecimentos essenciais na elaboração deste trabalho, nomeadamente no tratamento de fontes bibliográficas.

Aos meus colegas, Joaquim Alves, José Soares, Jorge Branco e Manuel Moreira, pelo convívio e partilha de conhecimento ao longo deste período.

À minha mãe, esposa, filho e Murphy pelo constante incentivo, apoio, paciência e amor demonstrado ao longo deste caminho.

Índice:

Sumário	ii
Abstract	iv
Agradecimentos	vi
Abreviaturas e Símbolos	xvi
1 Introdução	1
1.1 Objetivos do trabalho	2
1.2 Estrutura do relatório	3
2 Estado da Arte	4
2.1 Consumo de energia no mundo	4
2.2 Situação energética em Portugal	7
2.3 Preocupações com o desenvolvimento sustentável e eficiência energética	9
2.4 Evolução legislativa relativo aos edifícios, em Portugal	11
2.5 No caminho para os edifícios NZEB	13
2.5.1 Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)	14
2.5.2 Edifício Solar XXI	16
2.5.3 Norma Passivhaus	18
2.5.4 Casas Solares Ativas	19
2.5.5 Plusenergie Haus	20
2.6 NET ZERO BUILDING - DEFINIÇÃO	21
2.7 NET ZERO BUILDING – ABORDAGEM	25
2.7.1 Exemplos de NET ZERO BUILDINGS	29
3 Caso de Estudo	32
3.1 Descrição geral do edifício	32
3.2 Modelo	32
3.3 Soluções construtivas	39
3.3.1 Envolvente vertical	39
3.3.2 Envolvente horizontal	40
3.3.3 Envidraçados	41

3.3.4	Elementos dos vãos	41
3.4	Ocupação.....	42
3.5	Iluminação.....	44
3.6	Equipamentos (computadores).....	45
3.7	AVAC	47
3.8	Ventilação	48
3.9	Caracterização do consumo energético.....	48
3.10	Produção fotovoltaica	49
3.11	Medições no “terreno”	50
3.12	Simulação em condições reais no Designbuilder.....	53
3.12.1	Padrões reais de utilização	53
4	Anteprojeto do edifício tendo como base NZEB	64
4.1	Abordagens Passivas.....	65
4.2	Medidas de eficiência energética	66
4.2.1	Iluminação.....	66
4.3	Sistema de controlo de iluminação por luz natural	69
4.4	Substituição de equipamento	69
4.5	Produção de Energias Por fonte renovável	70
5	Validação das especificações definidas em 4.....	71
5.1	Colocação de isolamento térmico	72
5.2	Substituição de lâmpadas	73
5.3	Colocação de sensores	73
5.4	Substituição de equipamento	74
5.5	Combinação de abordagens	75
5.5.1	Cenário A	75
5.5.2	Cenário B	75
5.6	Utilização de energias renováveis.....	76
5.6.1	Dimensionamento de um sistema fotovoltaico	76
5.6.2	Fachada sul do edifício.....	79
5.6.3	Fachada oeste do edifício	80

5.6.4	Fachada este do edifício	81
5.6.5	Fachada Norte do edifício	82
5.6.6	Cobertura do edifício.....	83
5.7	Balço Energético do edifício ISPGaya.....	85
6	Análise técnica e financeira	86
6.1	Viabilidade cenário A	86
6.2	Viabilidade cenário B.....	87
6.3	Viabilidade colocação de painéis fotovoltaicos.....	87
6.4	Solução a implementar para NZEB	88
6.5	Classe energética.....	88
7	Comparação com do projeto com regulamentação e prática em vigor	89
7.1	Balço NZEB VS Regulamentação	92
	Conclusões	95
	Referências Bibliográficas	98

Lista de Figuras:

Figura 1 - Evolução legislativa de edifícios em Portugal [39].....	13
Figura 2 - Fachada sul do edifício XXI [45].....	18
Figura 3 - Casa Passivhouse Ílhavo, Portugal [10].	19
Figura 4 - Casa solar ativa Lorenz na Alemanha, 2003 [75].	20
Figura 5 – Residência Heliotrope em Freiburg [73].	21
Figura 6 - Necessidades energéticas vs. Produção de energia (Adaptada de [43]).	26
Figura 7 -Edifício Home for Life - Dinamarca [12].	30
Figura 8 – Edifício Pixel na Austrália [41].	30
Figura 9 – Edifício SunnyWatt na Suíça [53].	31
Figura 10 - Edifício Lucia – Valladolid [81].	31
Figura 11- Modelo geométrico ISPGaya (Real), vista sul [21].	33
Figura 12 - Modelo geométrico ISPGaya (Real), vista Norte [21].	34
Figura 13 - Zonas térmicas, Piso 1 [21].	36
Figura 14 - Zonas térmicas, Piso 2 [21].	36
Figura 15 - Zonas térmicas, Piso 3 [21].	37
Figura 16 – Zonas térmicas, Piso 4 [21].	37
Figura 17 – Zonas térmicas, Piso 5 [21].	38
Figura 18 – Zonas térmicas, Piso 6 [21].	38
Figura 19 - Zonas térmicas, Cobertura [21].	39
Figura 20 - Painéis fotovoltaicos instalados no ISPGaya.	49
Figura 21- Ligação do analisador de rede ao quadro elétrico do ISPGaya.	51
Figura 22 - Localização dos painéis fotovoltaicos na fachada sul.	79
Figura 23 - Localização dos painéis fotovoltaicos na fachada oeste.	80
Figura 24 - Localização dos painéis fotovoltaicos na fachada este.	81
Figura 25 - Localização dos painéis fotovoltaicos na fachada norte.	83
Figura 26 - Localização dos painéis fotovoltaicos na cobertura.	84

Lista de Tabelas:

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens de cada definição apresentada (adaptado de [80] [18]).	23
Tabela 2 – Princípios nZEB [adaptado de [14]].	25
Tabela 3 - Dados climáticos.	32
Tabela 4 - Zonas térmicas e simplificações do modelo.	35
Tabela 5 - Propriedades termofísicas dos elementos verticais.	40
Tabela 6 - Propriedades termofísicas dos elementos horizontais.	40
Tabela 7 - Propriedades termofísicas dos envidraçados.	41
Tabela 8 – Propriedades termofísicas dos elementos dos vãos.	41
Tabela 9 - Densidades de ocupação por zona térmica.	43
Tabela 10 - Distribuição da iluminação por zona térmica.	44
Tabela 11 – Distribuição de equipamento, por zona térmica.	46
Tabela 12 – Distribuição do equipamento de climatização por cada zona térmica.	47
Tabela 13 - Infiltrações ISPGaya.	48
Tabela 14 - Novos valores de U, com isolamento térmico de 10 cm.	66
Tabela 15 - Lâmpadas alvo de substituição.	67
Tabela 16 - Densidade por zona térmica, com lâmpadas de tecnologia LED.	68
Tabela 17 - monitores a substituir.	70
Tabela 18 – Unidades de climatização a substituir.	70
Tabela 19 - Produção anual fotovoltaica do edifício ISPGaya com alterações.	85
Tabela 20 - Análise técnica e financeira (cenário A).	86
Tabela 21 - Análise técnica e financeiro cenário B.	87
Tabela 22 - Análise técnica e financeira na colocação dos painéis fotovoltaicos.	87
Tabela 23 - Solução NZEB edifício ISPGaya.	88
Tabela 24 - Classe energética edifício existente e abordagem NZEB.	89
Tabela 25 - Comparação de U referencia e NZEB [64].	90
Tabela 26 - Comparação da classe de eficiência, EER e COP na abordagem NZEB e regulamentação [64].	90
Tabela 27 - Valores DPI regulamentares e abordagem NZEB [64].	91
Tabela 28 - Comparação de U’s em diferentes situações.	92
Tabela 29 - Número de unidades de climatização a alterar.	93

Tabela 30 - Balanço técnico, financeiro e ambiental da abordagem NZEB e a regulamentar. 94

Lista de Gráficos:

Gráfico 1 - Evolução do consumo mundial por energia [47].	4
Gráfico 2 - Evolução do consumo mundial por região [47].	5
Gráfico 3 – Projeção de consumo de energia até 2040 (quadrilhões Btu) [48].	5
Gráfico 4 – Projeção do consumo de energia para os Estados Unidos, Índia e China (quadrilhões Btu) [48].	6
Gráfico 5 - Dependência energética em percentagem [27].	7
Gráfico 6 - Consumo de energia primária em Portugal [27].	7
Gráfico 7 - Consumo de energia por setor, em 2012 (adaptado de [29]).	8
Gráfico 8 – Rumo ao nZEB [38].	16
Gráfico 9 - Abordagem NZEB [36].	27
Gráfico 10 - Abordagem NET ZEB (Adaptado de [4]).	28
Gráfico 11 - Desafio para uma NET ZERO ENERGY BUILDING (adaptado de [42]).	29
Gráfico 12 - Distribuição das potências de iluminação pelos pisos dos edifícios.	45
Gráfico 13 - Distribuição do tipo de iluminação pelo edifício.	45
Gráfico 14 - Desagregação dos consumos elétricos por períodos tarifários.	48
Gráfico 15 - Consumo elétrico por período tarifário.	49
Gráfico 16 - Produção energia elétrica dos Painéis fotovoltaicos, por mês.	50
Gráfico 17 - Perfil de consumo energia elétrica, em 15/04, do quadro geral.	51
Gráfico 18- Perfil de consumo elétrico do elevador.	52
Gráfico 19 - Perfil de consumo elétrico do quadro AVAC.	52
Gráfico 20 – Perfil real ocupação ISPGaya (Dias úteis) [21].	53
Gráfico 21 - Perfil real ocupação ISPGaya (Sábado) [21].	54
Gráfico 22 - Perfil real ocupação ISPGaya (Exames) [21].	54
Gráfico 23 - Perfil real ocupação ISPGaya (Domingos) [21].	54
Gráfico 24 - Perfil ocupação [Agosto] [21].	55
Gráfico 25 - Perfil real Ocupação [Secretaria e Logística] [21].	55
Gráfico 26 - Perfil real ocupação ISPGaya Auditório (Dias úteis) [21].	55
Gráfico 27 - Perfil real ocupação Biblioteca (Dias úteis) [21].	56
Gráfico 28 - Perfil real equipamentos ISPGaya (Dias úteis) [21].	56

Gráfico 29 - Perfil real equipamentos ISPGaya (Sábados) [21].	57
Gráfico 30 - Equipamentos ISPGaya [Exames] [21].	57
Gráfico 31 - Equipamento ISPGaya [Secretaria e Logística] [21].	57
Gráfico 32 - Perfil real equipamentos (Domingos) [21].	58
Gráfico 33 - Equipamentos [Agosto] [21].	58
Gráfico 34 - Perfil real iluminação ISPGaya (Dias úteis) [21].	59
Gráfico 35 - Perfil real iluminação ISPGaya (Sábado) [21].	59
Gráfico 36 - Perfil Iluminação [Exames] [21].	59
Gráfico 37 - Perfil real iluminação (Domingos) [21].	60
Gráfico 38 - Perfil real elevador ISPGaya (Sábado e Agosto) [21].	61
Gráfico 39 - Perfil real Catering ISPGaya (Dias úteis) [21].	61
Gráfico 40 - Perfil real cozinha ISPGaya (Exames) [21].	62
Gráfico 41 - Consumo mensal ISPGaya [adaptado de 21].	63
Gráfico 42 – Energia consumida mensal simulado Vs Fatura.	64
Gráfico 43 - Consumos de energia por utilização obtidos por simulação real do ISPGaya.	64
Gráfico 44 - Consumo com colocação de isolamento térmico (adaptado de [21]).	72
Gráfico 45- Substituição de lâmpadas para tecnologia LED (adaptado de [21]).	73
Gráfico 46 - Abordagem colocação sensores (adaptado de [21]).	74
Gráfico 47 - Abordagem substituição de equipamentos (adaptado de [21]).	74
Gráfico 48 - Abordagem cenário A (adaptado de [21]).	75
Gráfico 49 - Abordagem cenário B (adaptado de [21]).	76
Gráfico 50 - Produção de energia na fachada sul.	80
Gráfico 51 - Produção de energia na fachada Oeste.	81
Gráfico 52 - Produção de energia na fachada este.	82
Gráfico 53 - Produção de energia na fachada norte.	83
Gráfico 54- Produção de energia na cobertura.	84
Gráfico 55- Comparação cenário A Vs cenário B.	85
Gráfico 56 - Comparação no consumo energia, Combinação regulamentar e NZEB. ...	93

Abreviaturas e Símbolos

- AQS – Aquecimento de Águas Sanitárias
- BPIE - Instituto Europeu do Desempenho dos Edifícios
- COP – *Coefficient Of Performance*
- DOE - *Department of Energy*
- DPI - Densidade de potência
- EER - *Energy Efficiency Ratio*
- EES - Sistemas de energia eficientes
- E.I.A - Agência Internacional de Energia
- EPA - *US Environmental Protection Agency*
- EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*
- EPS – Poliestireno expandido moldado
- EU – União Europeia
- GEE – Gases do efeito de estufa
- IEEP - *Intelligent Energy Europe Programme*
- INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
- IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*
- LED – Díodo Emissor de Luz
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- nZEB – *Nearly-Zero Energy Buildings*
- NZEB - *Net Zero Energy Building*
- OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
- PA - Abordagem passiva
- PHI - *Passive House Institut*
- PIB – Produto Interno Bruto
- PNAEE – Plano Nacional de ação para a Eficiência Energética
- PRIME - Programa de Incentivo às microempresas
- PVGIS - *Photovoltaic Geographical Information System*
- RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
- RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
- REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RES - Sistemas de energia renovável

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização

SCE – Sistema Certificação Energética dos Edifícios

tep – Tonelada equivalente de petróleo

UNEP - *United Nations Environment Programme*

WMO - *World Meteorological Organization*

XPS – Poliestireno expandido extrudido

NOTAÇÕES ESCALARES LATINAS

E – Irradiância (W/m^2)

E_{dia_inv} – Energia diária produzida pelo painel (Wh)

Ht – Radiação global diária no plano do painel ($Wh/m^2/d$)

I_{m_max} - Corrente máxima do painel (A)

IEE_s - Indicador de eficiência energética

$IEE_{ref,s}$ - Indicador de eficiência energética de referência

IEE_{REN} - Indicador de eficiência energética renovável

$NOCT$ - Temperatura nominal de funcionamento da célula

P – Potência ativa (W)

R_{si} – Resistência térmica superficial interior ($m^2\text{°C/W}$)

R_j – Resistência térmica da camada ($m^2\text{°C/W}$)

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior ($m^2\text{°C/W}$)

R_{ph} - Renovações por hora (h-1)

R_{IEE} - Rácio de classe energética

T_c - Temperatura de ajuste da célula

T_a – Temperatura ambiente

U – Coeficiente global de transferência de calor ($W/m^2\text{.°C}$)

V_{m_max} - Tensão máxima do painel

NOTAÇÕES ESCALARES GREGAS

$\eta_{sistema}$ - Rendimento do sistema

α – Coeficiente de temperatura

β - Coeficiente de temperatura

1 Introdução

Desde 1971 até 2011, o consumo de energia primária a nível mundial tem vindo a aumentar [47]. Portugal, apresenta uma elevada dependência energética. Mais de 75% da energia primária é importada [27].

O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% para o caso de Portugal. Porém, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ – quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto [14] [30].

Com a introdução da diretiva 2002/91/CE, posteriormente reformulada pela diretiva 2010/31/EU, os edifícios começaram a ter um melhor desempenho energético, diminuindo as necessidades de consumo energéticas [33] [34].

Em 2005/2006, o conceito Net Zeb ainda era muito genérico e não havia um entendimento harmonizado sobre Net Zero Energy Building. Diferentes definições podem ser possíveis, dependendo dos objetivos do projeto, da equipa que projeta e do dono de obra [80].

A EPBD¹ (2010) define nZEB como “as necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis”.

A partir de 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos deverão ter necessidades quase nulas de energia (nZEB), e, após 31 de dezembro de 2018, os edifícios novos do estado deverão começar a dar o exemplo [34].

Para alcançar as NZEB é necessário dois passos fundamentais. O primeiro passo é reduzir as necessidades energéticas do edifício e segundo a produção de energia ser feita através de fontes renováveis [40]. Existe um conjunto de estratégias relevantes para alcançar as NZEB. As combinações de abordagens passivas, sistemas de energia eficientes e sistemas de energia renovável são os mais propensos a ter sucesso para alcançar as ZEB NET [4].

Num estudo de oito casos de construção, em edifícios educacionais e prédios de escritórios, o consumo de energia, em grande parte, é impulsionada pelas cargas internas

¹ Diretiva 2010/31/EU

do edifício. Estes edifícios deverão ter em conta a eficiência energética dos sistemas AVAC, iluminação e outros equipamentos [4].

Face à conjuntura económica de Portugal, o setor da construção encontra-se em forte depressão, com o número de fogos colocados no mercado sofrido um retrocesso nos últimos anos, a reabilitação urbana surge com uma forte fonte de esperança para a revitalização do setor.

Esta dissertação pretende dar um contributo, para o melhoramento de soluções construtivas e de eficiência energética nos edifícios, através de casos práticos utilizados no edifício em estudo e, por outro lado, criar uma metodologia para o caminho dos edifícios de balanço energético nulo (NZEB).

1.1 Objetivos do trabalho

Esta dissertação tem como principais objetivos:

1. Análise da viabilidade técnica e financeira na aplicação do conceito “*Net Zero Energy Building*” (NZEB) ao parque edificado existente, com as suas dificuldades e virtudes na implementação do mesmo.
2. Avaliar o impacto no consumo do edifício, de diferentes padrões de utilização, medidas passivas e de eficiência energética.
3. Comparação técnica, financeira e ambiental de um edifício com uma solução com base na regulamentação e práticas em vigor e um edifício com uma solução NZEB.

1.2 Estrutura do relatório

A presente dissertação está organizada em sete partes. Na primeira parte surge uma pequena introdução ao tema “*Net Zero Energy Building*” – Aplicação do conceito ao edifício ISPGaya, onde apresentamos os principais objetivos da dissertação.

Na segunda parte, analisamos o estado da arte e é desenvolvida a pesquisa bibliográfica, com uma caracterização do consumo de energia no mundo e a situação energética em Portugal, evolução legislativa relativo aos edifícios e uma abordagem geral dos edifícios NZEB, que vai desde a sua definição, conceito e exemplos de *Net Zero Energy Building*.

Na terceira parte, são apresentadas, em detalhe, as características do edifício em estudo, nomeadamente as soluções construtivas, ocupação, iluminação, equipamentos, unidades de climatização, ventilação e produção de energia fotovoltaica. No final desta parte, será feita uma simulação em condições reais no DesignBuilder.

Na quarta parte, é elaborado um anteprojecto do edifício tendo como base *Net Zero Energy Building*. Para o efeito, vão ser criadas abordagens passivas e medidas de eficiência energética para reduzir as necessidades energéticas do edifício e produção de energia renovável, através de sistemas fotovoltaicos.

Na quinta parte, é feita a validação das medidas preconizadas na quarta parte, através da simulação energética com o DesignBuilder.

Na sexta parte, é feita a análise técnica e financeira das medidas validadas na quinta parte e da viabilidade de colocação painéis solares fotovoltaicos. É, também, calculada a classe energética do edifício existente e do edifício com as medidas validadas para ser NZEB.

Na sétima parte, é efetuada uma comparação entre as medidas preconizadas para validar o edifício com NZEB e a regulamentação e prática em vigor.

Finalmente, na oitava e última parte, apresentamos as principais conclusões e indicamos pistas para a execução de um trabalho futuro, no sentido de dar uma maior profundidade a esta dissertação.

2 Estado da Arte

2.1 Consumo de energia no mundo

Ao longo da história, o Homem desenvolveu sucessivas atividades que permitiram ter acesso a quantidades de energia cada vez maiores.

Com o desenvolvimento socioeconómico da humanidade, tem existido uma tendência crescente para o uso de reservas naturais como o petróleo, carvão ou o gás natural, colocando-as em risco para as futuras gerações.

Em meados do século XVIII, com o início da revolução industrial, em Inglaterra, a pressão sobre o consumo de reservas naturais aumentou exponencialmente, perdurando até aos dias de hoje, sem dar mostras de abrandamento a curto prazo.

O consumo de energia primária a nível mundial, de 1971 até 2011, tem vindo a aumentar, como se pode verificar no gráfico 1.

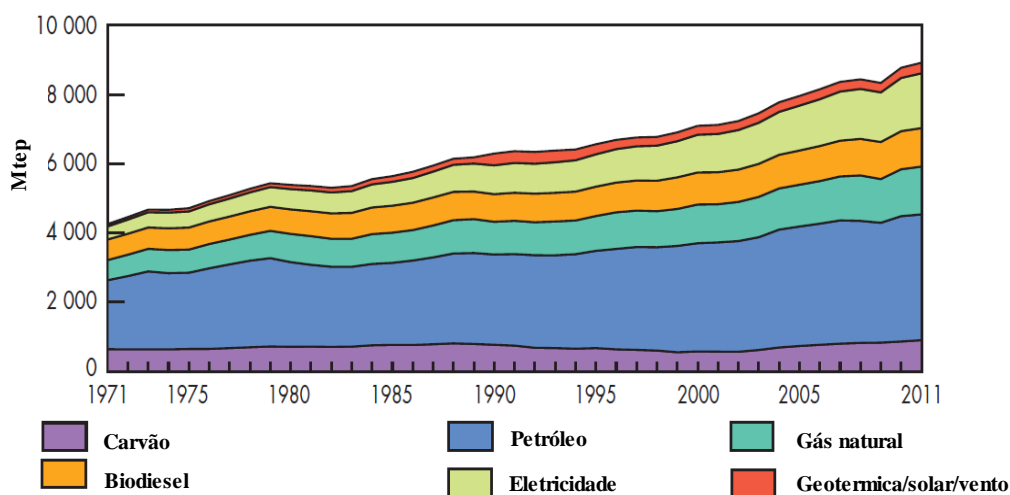


Gráfico 1 - Evolução do consumo mundial por energia [47].

Os países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico), nomeadamente os países mais importantes da Europa e os Estados Unidos, são os responsáveis por uma grande parte do consumo de energia.

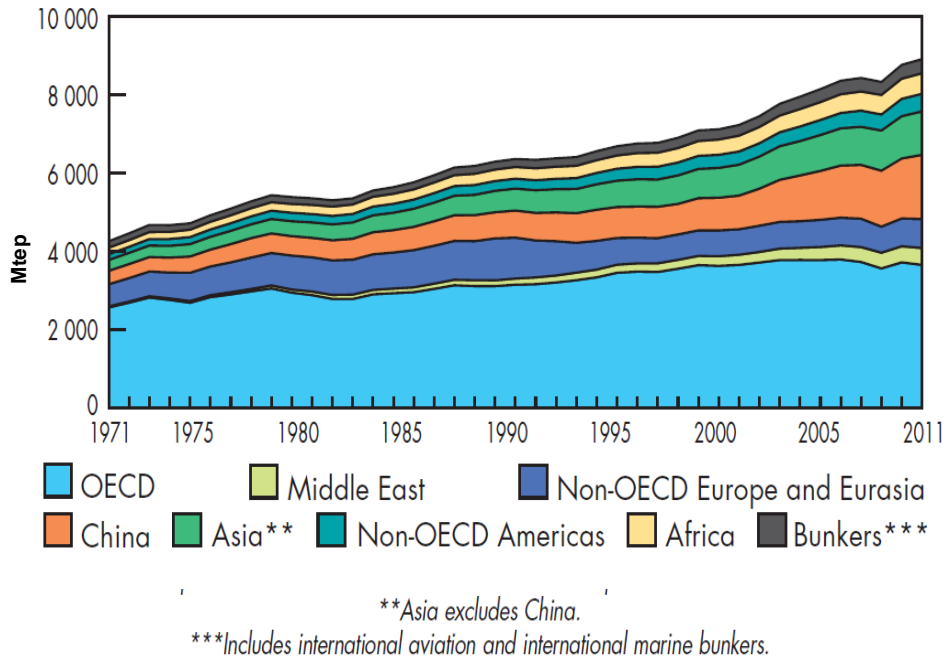


Gráfico 2 - Evolução do consumo mundial por região [47].

No entanto, nos últimos anos, tem-se assistido a uma estabilização dos consumos desses países, enquanto nos países emergentes tem-se verificado um aumento de consumos assinalável, conforme nos mostra o gráfico 3.

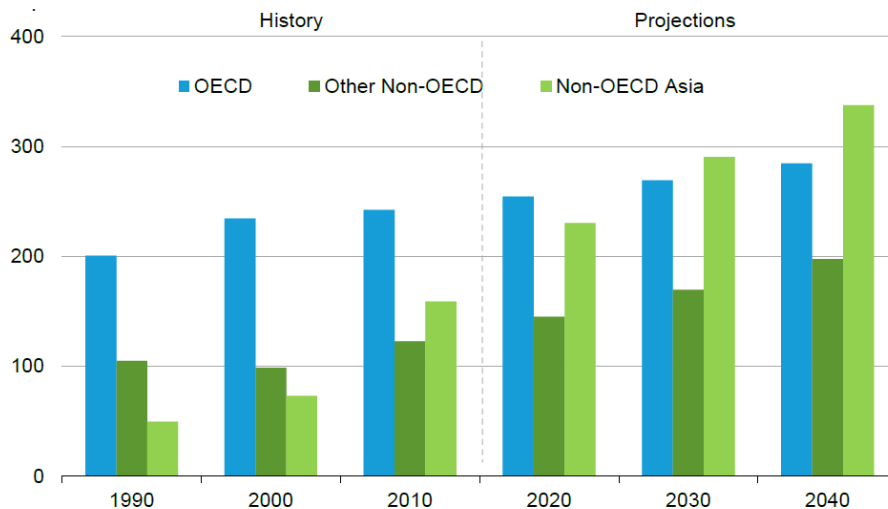


Gráfico 3 - Projeção de consumo de energia até 2040 (quadrilhões Btu) [48].

O consumo mundial de energia vai crescer 56 por cento entre 2010 e 2040 [48]. Metade do aumento é atribuída à China e Índia [48]. Em 2040, o consumo de energia da China será o dobro do nível dos EUA. A Índia consome um pouco mais da metade, apesar de seu crescimento mais rápido do PIB [48].

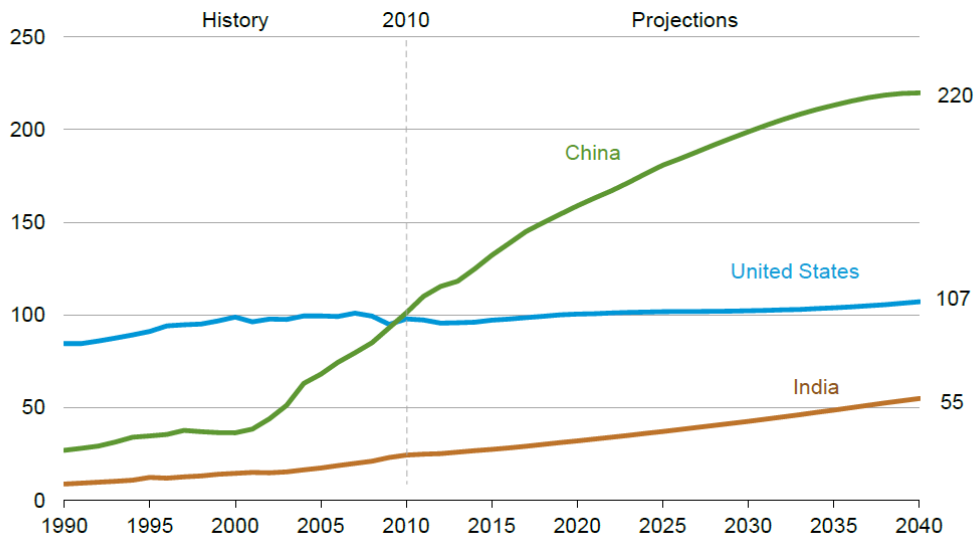


Gráfico 4 – Projeção do consumo de energia para os Estados Unidos, Índia e China (quadrilhões Btu) [48].

Com as políticas e regulamentações atuais, as emissões de dióxido de carbono relacionadas com a energia em todo o mundo deverão aumentar 46% em 2040, atingindo 45 bilhões de toneladas em 2040 [48].

2.2 Situação energética em Portugal

Portugal apresenta uma elevada dependência energética. Mais de 75% da energia primária é importada. Em 2010, a sua dependência energética apresentou o seu valor mais baixo de 76,7 %. No entanto, se olharmos para a última década, este indicador tem melhorado ligeiramente, como nos mostra o gráfico 5.

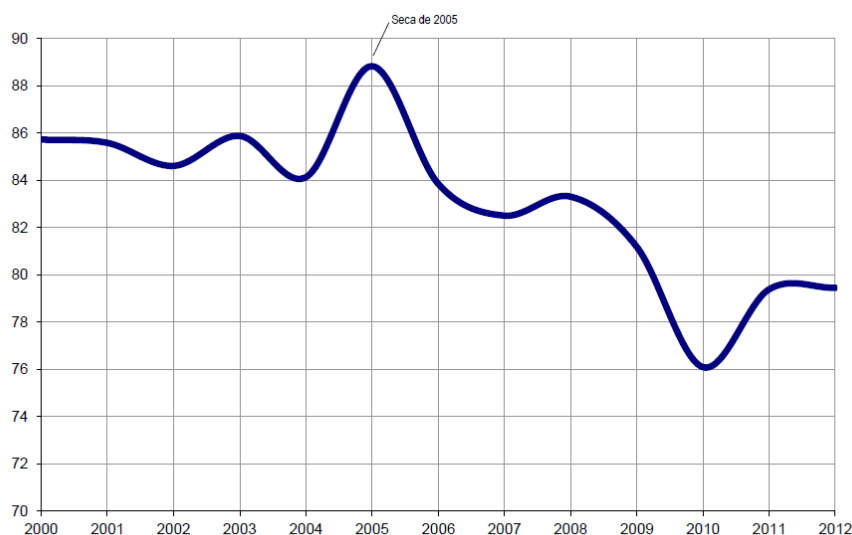


Gráfico 5 - Dependência energética em percentagem [27].

O maior recurso energético consumido em Portugal é o petróleo. No entanto, desde 2005, regista-se uma diminuição do consumo desta energia primária e um ligeiro aumento do gás natural, como nos mostra o gráfico 6.

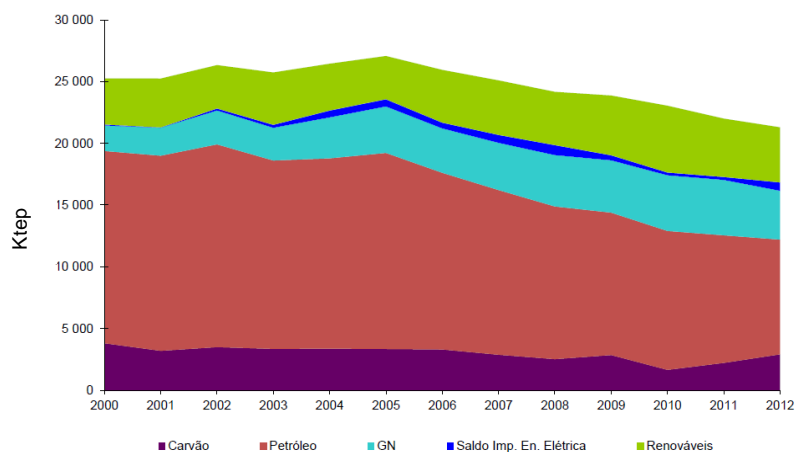


Gráfico 6 - Consumo de energia primária em Portugal [27].

Em 2012, em Portugal, o peso do consumo de energia dos principais sectores de

atividade económica relativamente ao consumo total de energia, foi de 32,5% na Indústria, 35,7% nos Transportes, 17% no Doméstico, 12% nos Serviços e 2,6% na Agricultura e Pescas [29].

Constata-se assim uma forte incidência dos setores de Indústria e Transportes no consumo de energia final, como nos mostra o gráfico 7.

Em 2012 há-que realçar o seguinte indicador energético: consumo de energia final per capita de 1,5 tep / hab. [29].

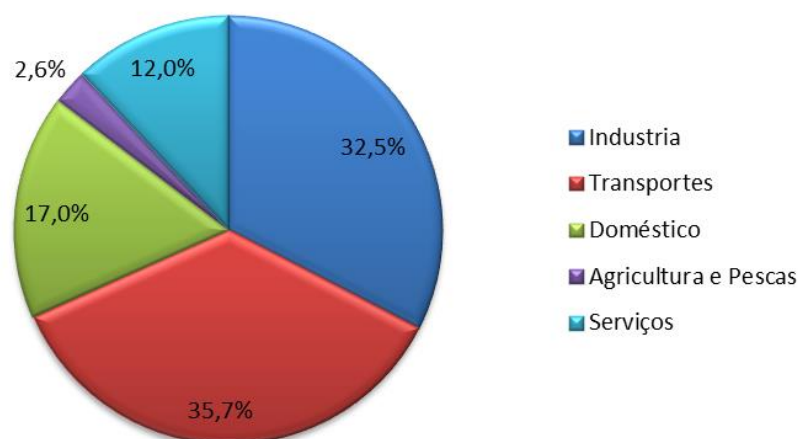


Gráfico 7 - Consumo de energia por setor, em 2012 (adaptado de [29]).

2.3 Preocupações com o desenvolvimento sustentável e eficiência energética

No século XX, o consumo de energia aumentou exponencialmente, devido à existência de combustíveis fósseis disponíveis a preços reduzidos, nomeadamente o carvão, gás natural e petróleo. Este consumo brutal de energias fósseis, tem forçado o aparecimento de alterações climáticas, traduzindo-se numa das ameaças mais severas para a sociedade, economia e para o ambiente. Para combater estas alterações climáticas, foram criadas várias organizações, nos anos setenta, o *United Nations Environment Programme* (UNEP) e juntamente com a *World Meteorological Organization* (WMO) criaram o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) em 1989, responsável pela avaliação de dados científicos, impacto ambiental e socioeconómico, sobre alterações climáticas e recomendações para a redução das mesmas [50].

Em 1973, com a primeira crise internacional do petróleo, deparou-se com aumento significativo do custo de energia e da constatação de um modelo de consumo excessivo de energia, levando ao esgotamento dos recursos fósseis e de um impacto ambiental irreversível.

A partir desse momento, foram criadas diversas iniciativas e medidas para estimular o desenvolvimento sustentável e a eficiência energética, com diversos países a produzir medidas legais e regulamentares para fomentar a diminuição do consumo de energia, nomeadamente:

- Em 1972, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, conhecida por Declaração de Estocolmo, abordaram-se muitos aspetos relativos à pressão sobre os meios naturais provocados pelo crescimento económico e pela poluição industrial, provocado pelos países industrializados e à necessidade de critérios e de princípios comuns que ofereçam aos povos do mundo inspiração e guia para preservar e melhorar o meio ambiente humano [6].
- Em 1987, o Relatório Brundtland – *Our Common Future* colocou o conceito de “desenvolvimento sustentável” na agenda política. Este protocolo pode considerar-se como ponto de partida para a necessidade atualmente aceite de um desenvolvimento sustentável, em que é necessária uma proteção do ambiente a longo prazo para que este, por sua vez, permita por si próprio, desenvolvimento económico [7].

- Em 1992, a Conferência das Nações Unidas do Rio, conhecida por Declaração do Rio, adotou um Plano de ação para o desenvolvimento sustentável, que elabora estratégias e um programa de medidas integradas para parar e inverter os efeitos da degradação ambiental e para promover um desenvolvimento compatível com o meio ambiente e sustentável em todos os países. Este plano de Ação, que cobre temas económicos, sociais e culturais de proteção do meio ambiente, foi aceite por 150 países, é conhecido atualmente pelo nome de Agenda 21 [8].
- Em 2002, a Convenção de Joanesburgo gerou dois documentos importantes: a Declaração de Joanesburgo em Desenvolvimento Sustentável e o Plano de Implementação (PI). O primeiro assume diversos desafios associados ao desenvolvimento sustentável e especifica vários compromissos gerais como a promoção do poder das mulheres e uma melhor participação democrática nas políticas de desenvolvimento sustentável. O segundo identifica várias metas como a erradicação da pobreza, a alteração de padrões de consumo e de produção e a proteção dos recursos naturais [8].
- Em 2006, na Europa, a Diretiva n.º 2006/32/CE é introduzida e consiste em incrementar a relação custo-eficácia da melhoria da eficiência na utilização final de energia nos Estados Membros [20].
- Em 2009, é apresentada a Diretiva Europeia n.º 2009/28/EU relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis [2].

Em Portugal, em 1971, foi criada a Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica a Comissão Nacional do Ambiente, a qual tinha como objetivo preparar a missão e a intervenção de Portugal na Conferência de Estocolmo do ano seguinte, nomeadamente o Relatório de Portugal a apresentar à Cimeira de Estocolmo.

Em 1987, foi publicada a Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º11/87), definindo o quadro das linhas de intervenção de Política de Ambiente, assumindo o conceito de ambiente como "*conjunto de sistemas físicos, químicos, biológicos e suas relações, e dos factores económicos, sociais e culturais com efeitos*" [59].

O PNAEE surge como a transposição da Diretiva n.º 2006/32/CE, que prevê que cada Estado Membro deve reduzir o consumo de energia em pelo menos 1% ao ano até 2016, reduzindo-se o consumo de energia primária e as emissões de GEE, prevenindo-se as alterações climáticas perigosas.

Para reforçar a importância do aumento da eficiência energética como parte integrante da diminuição das emissões de GEE, é aprovado o Plano Nacional de ação para a Eficiência Energética (PNAEE) pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 [2].

E, por último a Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, Aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013-2016 e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013-2020 [2].

2.4 Evolução legislativa relativo aos edifícios, em Portugal

Em Portugal, antes de 1990 não existiam quaisquer requisitos térmicos na edificação. No início de 1991, entrou em vigor o Decreto-Lei n.º 40/90, denominado RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (foi o primeiro instrumento legal). O objetivo deste regulamento era dar melhores condições de conforto no interior de edifícios sem um gasto excessivo de energia [22].

Com a assinatura do Protocolo de Quioto, a União Europeia e os estados membros foram obrigados a definir metas na utilização racional dos recursos energéticos, no sentido de reduzir a emissão dos gases de dióxido de carbono para a atmosfera. Sendo o sector residencial responsável por mais de 40% do consumo final de energia da EU, em 2002 [33], surgiu a diretiva europeia 2002/91/CE “*Energy Performance of Buildings Directive*” relativo ao desempenho energéticos dos edifícios, estabelecendo requisitos mínimos para o projeto de novos edifícios, mas também para os edifícios existentes, sujeitos a grandes obras de renovação e à obrigatoriedade de implementação da certificação energética [33].

A diretiva apontava para todos os estados membros e as suas exigências regulamentares deveriam ser implementadas até janeiro de 2006. Nesse sentido, Portugal, surge em 2006 com:

- A revisão do RCCTE - Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 80/2006), que assenta no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios vêm a ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Verão quer no Inverno, e impõe limites aos consumos que decorrem dos seus potenciais existência e uso [63];

- O RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização (Decreto Lei n.º 79/2006), que procurava introduzir algumas medidas de racionalização, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício para, sobretudo, evitar o seu sobredimensionamento, conforme a prática do mercado mostrava ser comum, contribuindo assim para a sua eficiência energética, evitando investimentos desnecessários [65];
- SCE, Sistema Nacional de certificação Energética e da qualidade do ar interior de edifícios (Decreto-Lei n.º 78/2006), para assegurar a aplicação regulamentar do RCCTE e RSECE, bem como, certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios [70].

A aplicação desta diretiva impulsionou as medidas passivas, traduzindo-se numa melhoria de conforto térmico e energético dos edifícios.

A beneficiação do isolamento térmico nos edifícios, potenciou um melhoramento de trocas de calor entre o interior e exterior, levando a uma redução de consumo de energia para aquecimento e arrefecimento.

Posteriormente, através da reformulação da Diretiva 2002/91/CE, foi publicada a Diretiva 2010/31/EU, que define metas para os estados membros relativo aos novos edifícios, os quais são denominados como edifícios de consumo quase zero de energia (*Nearly-Zero Energy Buildings*). Todos estes edifícios devem ter desempenhos energéticos muito elevados e as suas necessidades de energia quase nulas deverão ser cobertas por fontes de energia renováveis [34].

Esta diretiva, ao sublinhar que os edifícios têm que ter um desempenho energético muito elevado, impossibilita um consumo excessivo compensado por produção de energias alternativas, conseguindo por esta via atingir um balanço energético nulo ou quase nulo. Parece, assim, consensual que a convergência passa obrigatoriamente por redução de consumos [34].

Portugal, com a publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013, assegura não só a transposição da diretiva em referência, mas também uma revisão da legislação nacional. Num único diploma, integra o REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (antigo RCCTE) e o RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (antigo RSECE), no sentido de assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE) [23].

O artigo décimo sexto do Decreto-Lei n.º 118/2013 dá o primeiro passo, em Portugal, para as nZEB, Edifícios com necessidades quase nulas de energia [23].

Os edifícios novos licenciados após 31 de dezembro de 2020, ou após 31 de dezembro de 2018 no caso de edifícios públicos, serão edifícios com necessidades quase nulas de energia. Estes edifícios têm que ter um elevado desempenho energético e as suas satisfações das necessidades de energia resulte em grande medida de energia proveniente de fontes renováveis, produzida no local ou nas proximidades [23].

Desde 1990 até 2013, Portugal tem sofrido grandes alterações legislativas, no que diz respeito aos edifícios, como nos mostra a figura 1.

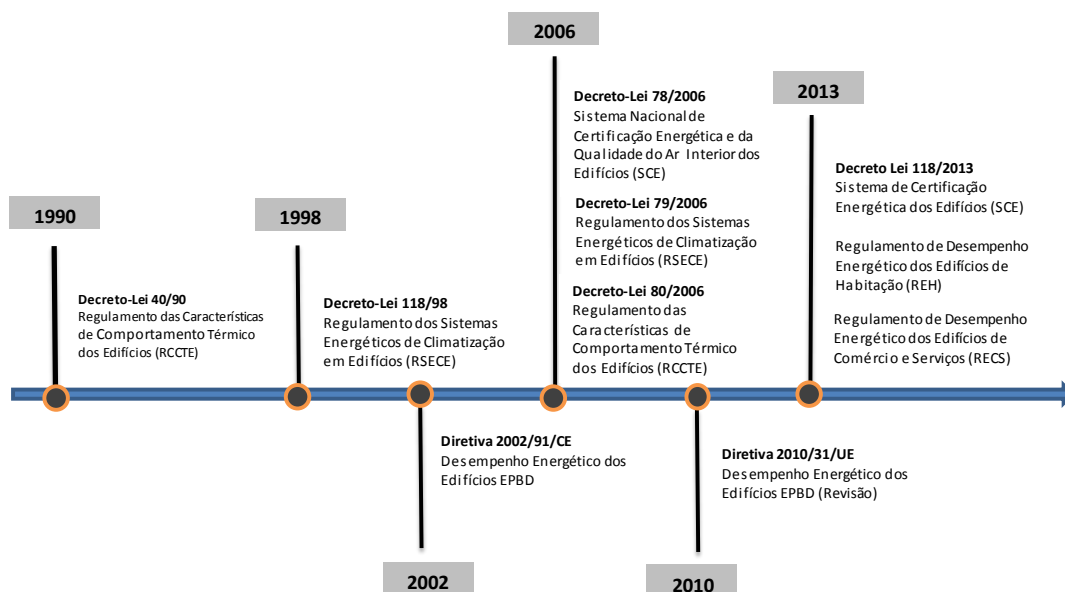


Figura 1 - Evolução legislativa de edifícios em Portugal [39].

2.5 No caminho para os edifícios NZEB

Os edifícios de serviços evidenciaram maior taxa de crescimento do consumo energético entre 1990 e 1999 (7,1% de crescimento médio por ano) do que os residenciais [28].

Os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo total de energia e 36% das emissões de CO₂ na Europa. A redução do consumo de energia e da utilização de energia proveniente de fontes renováveis no setor dos edifícios constituem, portanto, medidas importantes que são necessárias para reduzir dependência energética e as emissões de gases de efeito estufa [14].

O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% para o caso de Portugal [30].

Porém, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ – quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto [30].

Face a estes indicadores, surgiu na Europa, a partir de 2002, Diretivas relativo ao desempenho energético dos edifícios (EPBD), tornando-os mais eficientes e consequentemente com uma fatura energética menor.

Mais recentemente, em 2010, a Diretiva 2010/31/EU trouxe o conceito de edifícios de consumo quase zero de energia (*Nearly-Zero Energy Buildings*).

2.5.1 Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)

Com a introdução da Diretiva 2002/91/CE, em 2002, os edifícios começaram a ter um melhor desempenho energético estabelecendo requisitos mínimos para o projeto de

novos edifícios, mas também para os edifícios existentes, sujeitos a grandes obras de renovação e à obrigatoriedade de implementação da certificação energética.

A aplicação desta diretiva impulsionou as medidas passivas, traduzindo-se numa melhoria de conforto térmico e energético dos edifícios.

O melhoramento de trocas de calor entre o interior e exterior, devido ao aumento do isolamento, levou a uma redução de consumo de energia para aquecimento e arrefecimento.

A revisão da Diretiva EPBD (2010/31/EU), veio reformular as medidas importantes necessárias na redução da dependência energética da União Europeia e das emissões de gases com efeito de estufa e veio trazer novos aspetos, nomeadamente:

- Requisitos mínimos baseados em critérios de viabilidade económica ao longo do ciclo de vida do edifício;
- As “grandes intervenções” de edifícios existentes, constituem uma oportunidade para tomar medidas rentáveis para melhorar o desempenho energético;
- Objetivos europeu "UE 20-20-20" em 2020: Redução de 20% nas emissões de GEE; 20% de energia proveniente de fontes renováveis; aumento de 20% na eficiência energética;
- Classificação energética nos anúncios dos imóveis;
- Reforço dos requisitos dos sistemas técnicos;

A EPBD (2010) trouxe o conceito de edifícios de consumo quase zero de energia (*Nearly-Zero Energy Buildings*) e define nZEB como “As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades”. O gráfico 8 ilustra o caminho a percorrer até 2020, relativo ao binómio consumo de energia e energias renováveis.

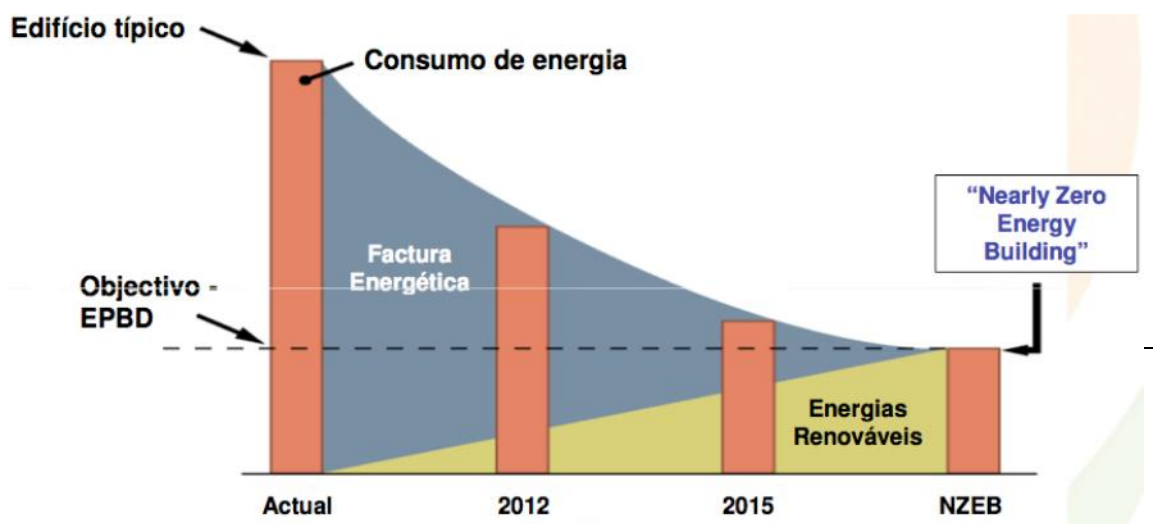


Gráfico 8 – Rumo ao nZEB [38].

A partir de 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos deverão ter necessidades quase nulas de energia (NZEB), e, após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos do estado deverão começar a dar o exemplo. [34]

Esta diretiva não é uniforme na aplicação de uma metodologia de cálculo para atingir NZEB. Cada estado membro tem características próprias de construção, de clima, necessidades e hábitos de consumo. [36]

Os edifícios devem ser concebidos com necessidades energéticas mínimas. No entanto existem dúvidas na quantificação entre a produção de energia renovável com o consumo do edifício em causa.

Estão a ser estudados casos de edifícios residenciais e não residenciais, por toda a Europa. No entanto, a Europa neste momento depara-se com uma contração económica que obviamente vai contaminar a aceleração deste processo.

2.5.2 Edifício Solar XXI

O Edifício Solar XXI foi inaugurado em 2006 e consistiu em conceber um edifício de serviços com um baixo consumo de energia, integrando tecnologias renováveis (solar térmico e fotovoltaico) e sistemas passivos para aquecimento e arrefecimento ambiente.

Este projeto resultou de um financiamento do PRIME (programa de Incentivo às microempresas) e de um projeto de investigação do INETI (Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação).

O edifício Solar XXI é um edifício com funções de serviços (salas e gabinetes de trabalho) e laboratório, com uma área total de 1500 m² dividida por três pisos, um dos quais semi-enterrado.

Esperava-se que o edifício fosse um exemplo a seguir na construção de edifícios em Portugal.

Gonçalves (2010) refere que o edifício foi construído de forma a potenciar o uso de energias renováveis, com a integração das seguintes estratégias:

- Otimização térmica da envolvente, de forma a diminuir as perdas térmicas do edifício no Inverno, com adoção de isolamento térmico adequado na sua envolvente (nas paredes, coberturas e pavimentos);
- Aumento da área de captação de ganhos solares - fachada solar a Sul, como um sistema de ganho direto para aquecimento;
- Dispositivos de sombreamento exteriores nos vãos orientados a Sul, reguláveis pelo utilizador, adequando a entrada de radiação solar e de luz para o seu espaço;
- Fachada fotovoltaica, para aproveitamento elétrico (100 m² e 12 kWp);
- Recuperação de calor por convecção natural na fachada fotovoltaica para aquecimento ambiente;
- Coletores solares para aquecimento ambiente;
- Sistema de arrefecimento passivo por tubos enterrados, que permitirá o arrefecimento do ar a ser injetado no edifício durante o Verão;
- Iluminação natural, tendo definido vários sistemas que potenciam a captação de luz natural, nomeadamente um “poço de luz” central no edifício que atravessa os seus 3 pisos e adoção de superfícies translúcidas no interior.

Cerca de 80% dos seus consumos energéticos são de origem renovável pelo que, face aos seus resultados, o Edifício Solar XXI poderá enquadrar-se num contexto do futuro como edifícios de balanço de consumo zero, como nos mostra a figura 2 [45].



Figura 2 - Fachada sul do edifício XXI [45].

2.5.3 Norma Passivhaus

No caminho para as nZEB e ao nível da redução de consumos, surge na Alemanha, na década de 90, os primeiros edifícios de abordagem passiva, pelo Investigador alemão Wolfgang Fiest, através da norma Passivhaus.

O conceito tem como base um excelente isolamento térmico, que mantém o calor desejado no interior e o indesejado no exterior, obtendo ganhos de calor passivos, não sendo preciso ser aquecido de forma ativa. Tem um sistema de ventilação que fornece ar novo constante ao interior e um sistema de recuperação de calor de elevada eficiência que permite que o calor existente no ar e que é extraído seja reutilizado.

Na Alemanha, os investigadores estabeleceram um limite de consumo energético para aquecimento de 15 kWh/m²/ano e um consumo de energia primária total do edifício (incluindo aquecimento, arrefecimento, iluminação, equipamentos e AQS) de 120 kWh/m²/ano [9] [19].

As baixas necessidades energéticas de uma Passive House podem ser facilmente supridas por fontes renováveis de energia, tornando facilmente um edifício com um balanço energético zero. Esta abordagem tem um grande potencial para os edifícios de 2020.

Por outro lado, as casas passivas têm um isolamento elevado, obtendo ganhos de calor no Inverno mas também no Verão. Para países do Sul da Europa, como Portugal, a aplicação da norma passivhaus suscita algumas dúvidas, nomeadamente no Verão, com as necessidades de arrefecimento, visto serem mais elevadas que países como a Alemanha.

No entanto, Schnieders (2009) refere que os países do Sul da Europa, como Portugal, a aplicação da norma passivhaus é possível e que:

- Os níveis de isolamento para atingir as metas do PHI² (de 15 kWh/m²/ano e os 10W/m²) são muito inferiores aos da Alemanha;
- Os vidros duplos são suficientes, podendo ser interessante de utilizar os de baixa emissividade;

² Passive House Institut

- A ventilação mecânica como recuperação é necessária, mesmo que se possa utilizar a ventilação natural em paralelo;
- As exigências para eliminar as pontes térmicas são muito inferiores às da Alemanha;
- Há zonas do clima ibérico (Casa de Sevilha) onde as soluções unicamente passivas de arrefecimento não são suficientes.

Em Portugal existem duas moradias unifamiliares, em Ílhavo, que cumprem os parâmetros internacionais do conceito *Passive House*, como nos mostra a figura 3.



Figura 3 - Casa Passivhouse Ílhavo, Portugal [10].

2.5.4 Casas Solares Ativas

Desde os anos 70 que se tem feito investigação nesta área e que se têm conseguido grandes avanços. Atualmente, os painéis solares já não têm que ser inestéticos como se via há uns anos, mas podem e devem ser integrados na fachada dos edifícios. Ter um bom isolamento térmico e grande espaço para colocação de coletores solares, assim como para um grande depósito de armazenamento de água quente. De acordo com a definição do *sonnenhaaus institut*, uma casa solar ativa deve ter um consumo máximo de energia primária de 15Kwh/m²/ano e uma cobertura solar, de pelo menos, 50% [75] [11].

A figura 4 ilustra uma casa solar passiva.



Figura 4 - Casa solar ativa Lorenz na Alemanha, 2003 [75].

2.5.5 Plusenergie Haus

Distinguem-se por produzir mais energia do que aquela que consomem. Utilizam energias renováveis, nomeadamente sistemas fotovoltaicos e solares térmicos, sendo assim neutras em termos de emissões de carbono. A energia produzida excedente poderá ser fornecida à rede [61].

Plusenergiehaus é um conceito desenvolvido por Rolf Disch, dominado por um balanço energético positivo.

Com a conclusão da sua residência privada, o Heliotrope, em 1994, Disch criou a primeira casa *PlusEnergy* no mundo [73].

O Heliotrope, em Freiburg, foi o primeiro edifício do mundo a produzir mais energia do que consome, como nos mostra a figura 5. A produção de energia é totalmente renovável e livre de emissões de CO₂. Possui uma estrutura física para controlar a rotação do sol, que lhe permite aproveitar o máximo de luz solar natural e energia do sol. Estas inovações, em combinação com o bom isolamento na residência permitiu a Heliotrope produzir entre quatro a seis vezes o seu consumo de energia, dependendo da época do ano [73].



Figura 5 – Residência Heliotrope em Freiburg [73].

2.6 NET ZERO BUILDING - DEFINIÇÃO

Algumas das primeiras tentativas documentadas para desenvolver edifícios de balanço energético nulo incluem a “*MIT Solar House I*”, que integrou um coletor solar de grandes dimensões em conjunto com armazenamento de água (Butti et al., 1980), e a “*Casa Bliss*” que utilizou coletores solares a ar em conjunto com armazenamento térmico em pedra (Bliss, 1955). Exemplos mais recentes incluem a “*Vagn Korsgaard Zero Energy House*” na Dinamarca (Esbensen e Korsgaard, 1977) e *Saskatchewan Conservation House* (Bessant et al., 1979), ambos com coletores solares e depósitos de água para armazenamento, concebidos para aquecimento ambiente e água quente sanitária. Estas tentativas iniciais, que na realidade apontavam como estratégia um balanço nulo do ponto de vista térmico e não energético, criaram as bases para o arquitetura solar passiva [5].

Em 2005/2006, o conceito Net-ZEB ainda era muito genérico e não havia um entendimento harmonizado sobre net zero building [80].

Torcellini et al. (2006) referem que um *nZEB* pode ser definido de várias formas, dependendo dos objetivos do projeto e dos proprietários de edifícios. Os proprietários preocupam-se com os custos de energia, as entidades gestoras interessam-se na redução dos valores primários de energia, enquanto os projetistas limitam-se a cumprir com a regulamentação em vigor e o ponto de entrega de energia para consumir.

Assim, *Torcellini et al.* (2006) sugeriram as seguintes quatro definições sendo estas, atualmente mais comumente utilizadas para o efeito:

- **Net zero site energy:** aplica-se a um *nZEB* que produz, pelo menos, energia renovável suficiente para colmatar a consumida localmente durante um ano;
- **Net zero source energy:** aplicável às *nZEB*’s que produzem, pelo menos, tanta energia renovável quanto a consumida num ano, sendo que o valor da energia consumida é contabilizada na fonte. *Source energy* refere-se à energia primária utilizada para gerar e distribuir a energia para o local. Para calcular a energia de um edifício-fonte, importada e exportada, esta deve ser multiplicada pelos respetivos fatores de conversão;
- **Net zero cost energy:** Produção e venda da energia produzida em quantidades suficientes para compensar custos associados da energia necessária para a utilização do edifício ao longo de um ano.
- **Net zero-energy emissions:** Produz energias renováveis livres de emissões em quantidade suficiente, para compensar a energia utilizada a partir de fontes de combustíveis convencionais anualmente.

Definição	Vantagens	Desvantagens
Site nZEB	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de implementar; • Verificável através de medições no local; • Abordagem mais conservadora para alcançar nZEB. • O desempenho não é alterado por fatores exteriores. • Fácil de compreensão e comunicação. • Incentiva projectos de construção com eficiência energética. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer mais módulos fotovoltaicos para compensar o gás natural. • Não considera todos os custos de utilização. • Alguns tipos de combustíveis não são considerados. • Não leva em conta as diferenças não energéticas entre os tipos de combustível.
Source nZEB	<ul style="list-style-type: none"> • Têm em conta todos os custos produzidos com a energia existente no local. • Tem um melhor impacto no sistema de energia. • nZEB mais fácil de alcançar 	<ul style="list-style-type: none"> • Não leva em conta as diferenças não energéticas entre os diferentes tipos de combustível. • A conversão em energia primária é feita de forma genérica. • Existe a necessidade de definição do fator de conversão fonte-local, o que exigem uma quantidade significativa de informação para definir. • Não considera todos os custos energéticos.
Cost nZEB	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de implementar e medir. • As forças de mercado resultam num bom balanço entre os tipos de combustível. • Permite o controlo da procura e oferta. • Descontos para efeitos de impostos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Talvez não reflete o impacto na procura da rede nacional. Mais painéis fotovoltaicos podem ser mais viável na redução dos consumos locais do que na venda de energia à rede. • Existe a necessidade de realizar acordos que potenciem o equilíbrio entre a energia produzida e a consumida e respetivos custos energéticos. • Tarifas energéticas elevadas dificultam o acompanhamento ao longo do tempo.
Emissions nZEB	<ul style="list-style-type: none"> • Melhor modelo para a energia verde. • Leva em conta as diferenças não energéticas entre os tipos de combustível. • ZEB mais fácil de alcançar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe a necessidade de empregar factores de emissões próprias.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens de cada definição apresentada (adaptado de [80] [18]).

A Agência Internacional de Energia (E.I.A.) por outro lado define os *nZEB*’s como sendo edifícios que não utilizam combustíveis fósseis para as suas necessidades, apenas obtêm energia proveniente de energia solar ou outras fontes renováveis [52].

Segundo Laustsen (2008) os edifícios *nZEB* podem ser classificados de acordo com as seguintes definições:

- ***Zero net energy buildings***: edifícios que durante um ano, apresentam um balanço energético nulo, ou seja, a quantidade de energia fornecida à rede é igual à energia consumida da rede. Não existe a necessidade de consumo de qualquer tipo de combustível fóssil para satisfazer as necessidades para aquecimento, arrefecimento, iluminação, equipamentos e águas quentes sanitárias (AQS), apesar de poderem utilizar energia da rede;
- ***Zero stand alone buildings***: edifícios que não requerem ligação à rede ou apenas utilizam-na em caso de falha. Os edifícios autónomos têm a capacidade de armazenar energia;
- ***Plus energy buildings***: edifícios que produzem mais energia para a rede do que a consumida por eles próprios;
- ***Zero carbon buildings***: edifícios que durante um ano, não utilizam energia que implique a emissão de dióxido de carbono para a atmosfera. Ao longo do ano, estes edifícios são neutro ou positivo em emissões de carbono, visto produzirem energia livre de CO₂ suficiente para satisfazer as suas necessidades de consumo.

O Instituto Europeu do Desempenho dos Edifícios (BPIE) criou três princípios sob os quais os conceitos ZEB devem ser definidos, abordando as três principais razões e objetivos para o sector da construção: redução das necessidades energéticas, a utilização de energias renováveis e redução das emissões de GEE associadas. Os princípios sugeridos e abordagens para a sua aplicação são descritos na tabela a seguir [14].

1º Princípio nZEB – Necessidades energéticas	2º Princípio nZEB – Utilização energias renováveis	3º Princípio nZEB – Energia primária e Emissões de CO2
No balanço energético, deve existir uma orientação clara e definida, no limite das necessidades energéticas.	Deve existir uma percentagem clara no limite de utilização na energia renovável para o funcionamento do edifício.	Deve ser definido, claramente, o limite das emissões de carbono relacionado com o funcionamento do edifício.
<p>Implementação : O limite deve ser a energia utilizada pelo edifício para aquecimento, arrefecimento, iluminação e AQS.</p> <p>Cada Estado Membro deve definir os seus limites referentes às necessidades energéticas</p> <p>Colorário : Deve ser definido um máximo permitido para as necessidades energéticas.</p>	<p>Implementação : A quota de energias renováveis elegíveis é toda a energia produzida a partir de fontes renováveis no local (incluindo a parcela renovável de bombas de calor).</p> <p>Colorário : Deve ser definido um limite mínimo na utilização de energias renováveis. Esse limite mínimo situa-se entre 50% a 90% da energia primária consumida pelo edifício.</p>	<p>Implementação : Terá de existir uma relação entre consumo de energia primária e emissões de CO₂ com o consumo de energia total do edifício.</p> <p>Colorário : Deve ser definido um limite máximo de 3 kg CO₂ / (m².ano) de emissões de carbono para a atmosfera.</p>

Tabela 2 – Princípios nZEB [adaptado de [14].

Sartori e al (2012) referem a diferença entre ZEB e ZEB líquida. O termo ZEB líquido pode ser usado para se referir aos edifícios que são ligados à infraestrutura de energia existente, enquanto o termo ZEB é mais geral e pode, também, incluir os edifícios autónomos. O texto `net` destaca o fato de que há um equilíbrio entre a energia consumida e produzida a montante das redes de energia, ao longo de um período de tempo, nominalmente, um ano.

O desenvolvimento de “redes inteligentes” (*smart grids*) vai beneficiar a eficiência na distribuição de energia, reduzindo, assim, o custo de operações, o consumo de energia primária e emissões de carbono [69].

2.7 NET ZERO BUILDING – ABORDAGEM

NET ZERO BUILDING (NZEB) – “Edifício residencial ou de serviços, em que, após aplicação de medidas de eficiência energética, a reduzida necessidade de utilização de energia, que ainda resta, é suprida por energias renováveis, produzidas no local e de baixo custo energético, económico e ambiental” [62].

‘NET’ Zero Building refere-se a edifícios com um saldo nulo do consumo de energia. O Conceito NZEB assenta no binómio, necessidades energéticas e energia produzida, resultando uma equação de balanço energético zero, como nos mostra a figura 6.

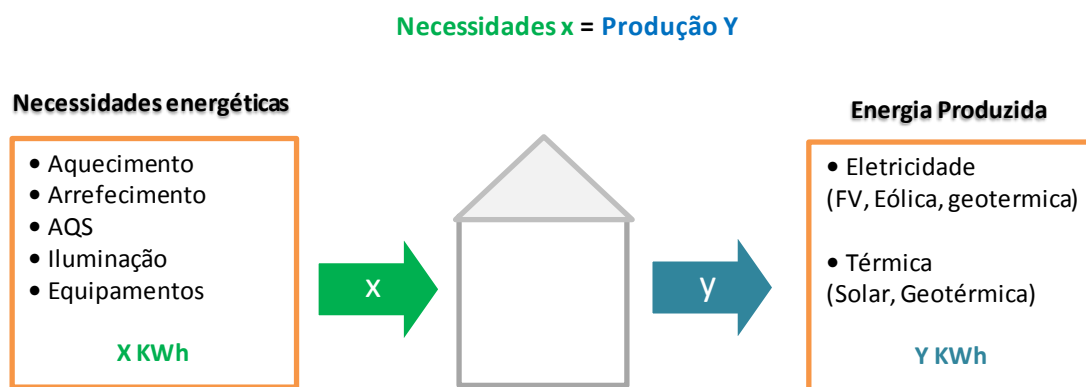


Figura 6 - Necessidades energéticas vs. Produção de energia (Adaptada de [43]).

Em 2011, Gonçalves refere que para alcançar as NZEB é necessário dois passos fundamentais:

- Reduzir as necessidades energéticas do edifício, através da otimização térmica da envolvente e dos ganhos solares, de abordagens passivas, bem como, em sistemas eficientes.
- A produção de energia ser feita através de fontes renováveis, tendo um contributo essencial para a melhoria do desempenho do edifício.

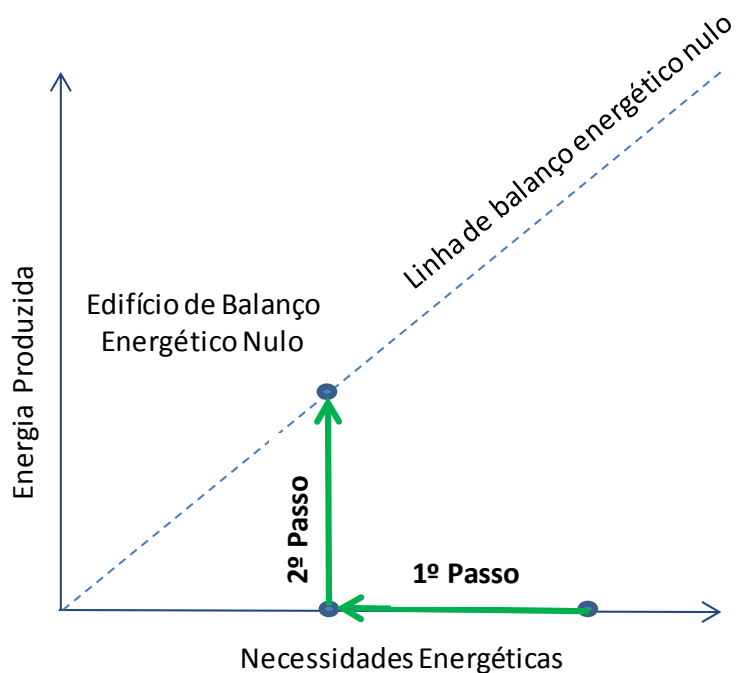


Gráfico 9 - Abordagem NZEB [36].

Existe um conjunto de estratégias relevantes para as NZEB. As combinações de abordagem passiva (PA), sistemas de energia eficiente (EES) e sistemas de energia renovável (RES), são os mais propensos a ter sucesso para alcançar as Zeb Net [4].

Aelenei et al (2013) referem num estudo de 8 casos de construção, em edifícios educacionais e prédios de escritórios, o consumo de energia, em grande parte, é impulsionada pelas cargas internas do edifício. Estes edifícios deverão ter em conta a eficiência energética dos sistemas AVAC, iluminação e outros equipamentos. Os indicadores de desempenho revelam que é possível alcançar um desempenho NZEB. No entanto, não há uma abordagem padrão para a conceção de uma NZEB e existem várias combinações possíveis de PA, EES e RES ³ capazes de atingir um desempenho zeb líquido.

³ PA – Abordagem passiva;
EES – Sistemas de energia eficientes;
RES – Sistemas de energia renovável.

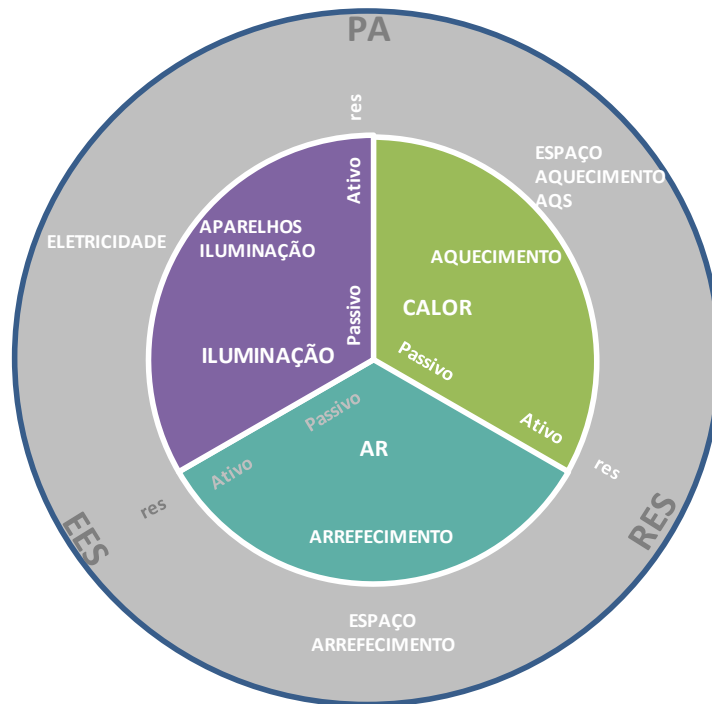


Gráfico 10 - Abordagem NET ZEB (Adaptado de [4]).

Sistemas eficientes de energia e abordagens passivas têm um papel crucial na concepção da Net Zeb, visto afetarem diretamente o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação, implicando, também, uma redução do dimensionamento dos sistemas de energia renováveis que equilibram o consumo [42].

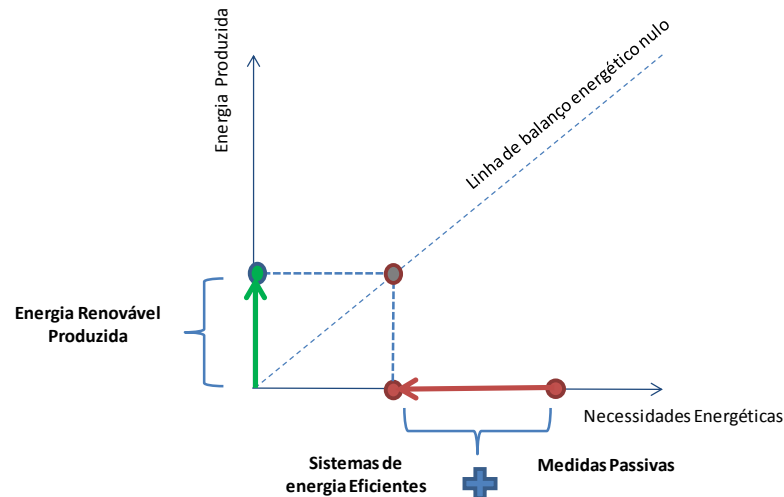


Gráfico 11 - Desafio para uma NET ZERO ENERGY BUILDING (adaptado de [42]).

F. Grade et al (2013) referem os elevadores como uma grande fonte de consumo de energia que representa entre, 5% a 10%, do toda da energia consumida. Em Zeb líquidas é necessário incentivar os ocupantes a usar as escadas, pelo menos, para chegar abaixo ou acima do piso corrente. A sensibilização dos ocupantes também é muito importante neste tipo de edifício, para garantir que eles se envolvam e compreendam os processos específicos do edifício. O objetivo é projetar edifícios passivos com ocupantes ativos, em vez de edifícios ativos e ocupantes passivos.

2.7.1 Exemplos de NET ZERO BUILDINGS

O edifício residencial, **Home for life**, Construído na **Dinamarca** em 2009, tem 191 metros quadrados, três quartos e um amplo jardim, como nos mostra a figura 7. Mas o que mais se destaca é a eficiência energética da habitação. Com um desenho que prioriza o uso de iluminação e ventilação naturais, somado a um sistema de painéis fotovoltaicos e aquecedores solar, a casa consegue produzir mais energia do que utiliza, gerando uma “sobra” que neutralizará todas as emissões da construção até 2049 [18] [12].



Figura 7 -Edifício Home for Life - Dinamarca [12].

O edifício comercial **Pixel**, na **Austrália**, foi construído em 2010 e produz energia através de turbinas eólicas e sistemas fotovoltaicos. Tem um aproveitamento de 100% de águas pluviais [18].



Figura 8 – Edifício Pixel na Austrália [41].

O edifício residencial **SunnyWatt**, construído na **Suíça** em 2010, é uma casa totalmente elétrica, produz energia através de painéis fotovoltaicos e foi a primeira ZEB do país, como nos mostra a figura 9 [18].



Figura 9 – Edifício SunnyWatt na Suíça [53].

O edifício LUCIA foi construído em Valladolid, em 2013, como nos mostra a figura 10. A energia é produzida por um sistema de trituração de biomassa que gera a eletricidade necessária para aquecimento, arrefecimento e AQS. Os sistemas fotovoltaicos também são utilizados [81].

Em relação a um edifício padrão de características semelhantes, tem economias nos custos de energia (gás e eletricidade, em particular) superiores a 60% [81].



Figura 10 - Edifício Lucia – Valladolid [81].

3 Caso de Estudo

3.1 Descrição geral do edifício

O presente caso de estudo refere-se ao edifício do ISPGaya destinado ao Ensino Superior, situado na Av. dos Descobrimentos, no concelho de Vila Nova de Gaia, Distrito do Porto e dispõe de uma área útil de pavimento (Ap) igual a 3500 m².

O edifício foi construído em 2005 e é constituído por seis pisos, um terraço e tem a fachada principal virada a Sul.

Os pisos são distribuídos da seguinte maneira:

- **Piso 1:** Constituído essencialmente por Laboratórios e um Auditório.
- **Piso 2:** Estão situados Bar/Refeitório, Associação de Estudantes e Sala de Professores. O piso dispõe de Instalações Sanitárias e Vestiários.
- **Piso 3:** Constituído pela Entrada, Secretaria, Sala de Espera e diversas Salas de Apoio à Direção. O piso dispõe de Instalações Sanitárias.
- **Piso 4:** Encontram-se Salas de Aulas e Instalações Sanitárias.
- **Piso 5:** Encontram-se Salas de Aulas
- **Piso 6:** Estão situadas a Biblioteca e Salas de Aula.
- **Cobertura:** Estão situadas a Casa das Máquinas e um Terraço.

O edifício do ISPGaya fica situado em Vila Nova de Gaia, com o seguinte zoneamento climático [23].

Zona Climática de Inverno	Nº graus dia para 20°C [Inverno]	Duração estação aquecimento [Meses]	Temperatura média exterior de Inverno [°C]	Zona Climática de Verão	Temperatura média exterior de Verão [°C]	Duração estação arrefecimento [Meses]
I1	1248	6,2	9,9	V2	20,9	4

Tabela 3 - Dados climáticos.

3.2 Modelo

O modelo geométrico e construtivo do edifício foi elaborado com base em plantas de arquitetura em formato AutoCAD®.

Para efeitos de simulação energética do edifício, foi utilizado o software DesignBuilder® versão 2.9.0.002, acreditado para o efeito, e recolha dum conjunto de informação adstrita à caracterização da utilização energética do edifício.

O DesignBuilder® é uma ferramenta de software utilizada para simulação energética dinâmica avançada, com um programa base para os cálculos, bastante robusto e rigoroso Energy Plus®.

De seguida está representado, uma visualização gráfica, do edifício em estudo.

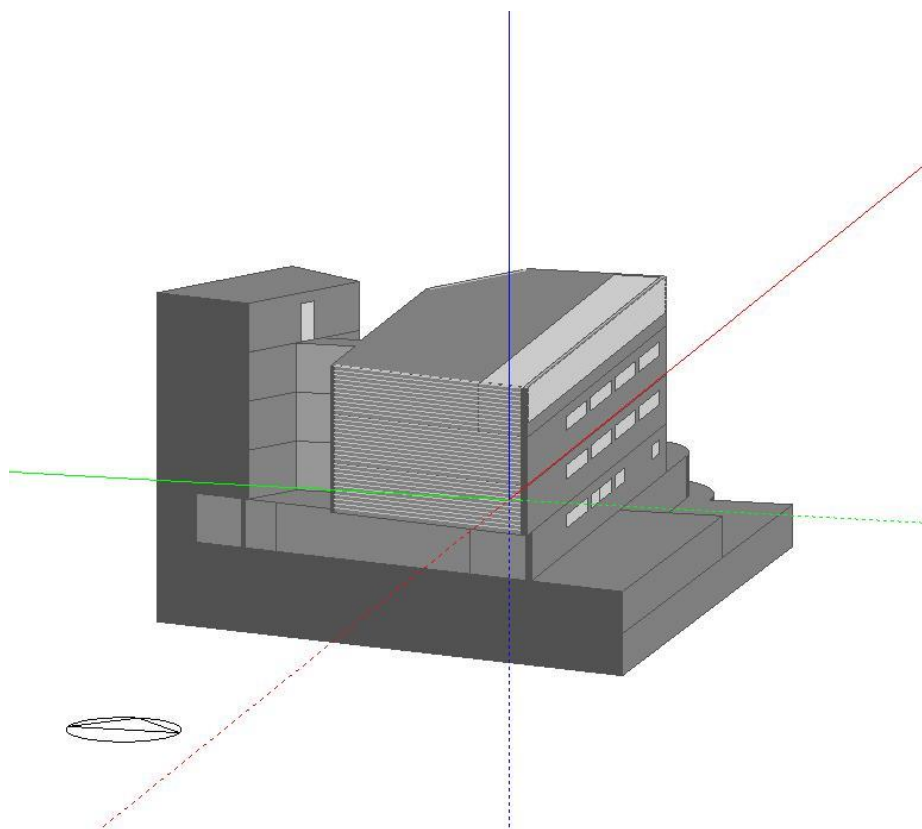


Figura 11- Modelo geométrico ISPGaya (Real), vista sul [21].

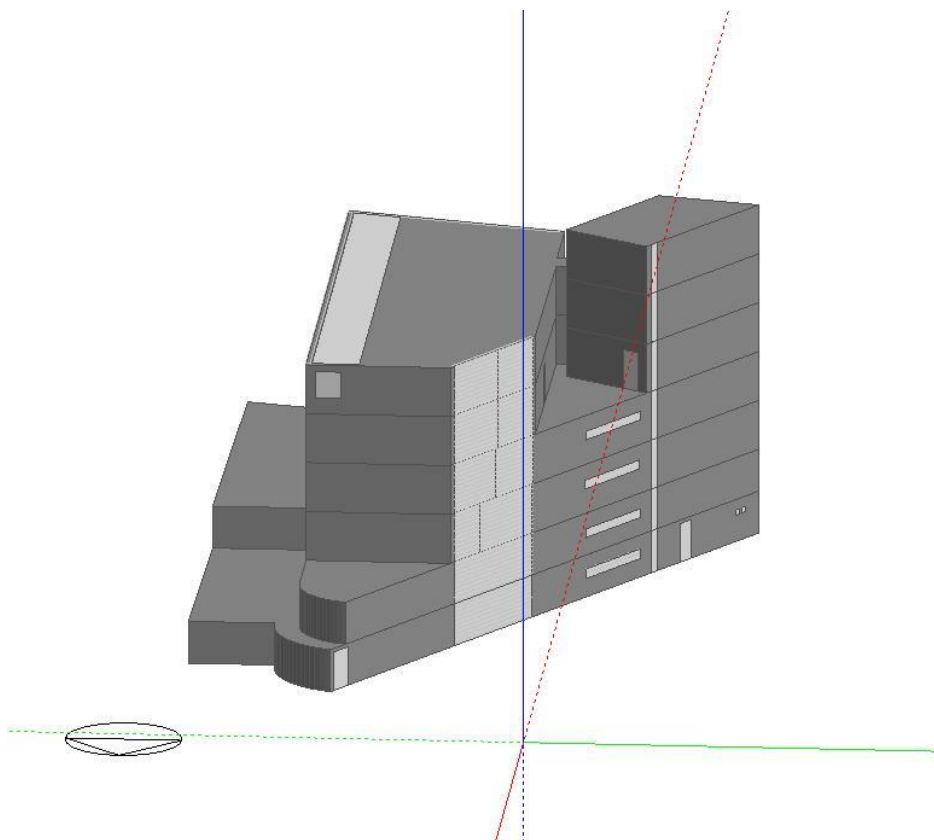


Figura 12 - Modelo geométrico ISPGaya (Real), vista Norte [21].

Na execução do modelo real, foram efetuadas simplificações na divisão das zonas de simulação, devido ao facto das características e a exposição solar serem iguais em diversos locais.

As zonas térmicas e as simplificações estão referenciadas na tabela abaixo:

Zona Térmica	Área [m ²]	Locais a simplificar	Pé direito	Piso		
Lab 1	154,46	Sala 111	2,4	1		
		Sala 112				
		Sala 113				
		Sala 109				
Lab 2	95,2	Sala 106				
		Sala 107				
		Sala 108				
Lab 3	78,17	Sala 101				
		Sala 102				
Auditório	166,21	-----				
Arrumos	19,27	-----				
Circulação 1	95,41	-----				
Circulação 2	12,23	-----				
Escadas	18,65	-----				
Área Técnica	10,80	-----				
Sala Professores	78,43	Sala Professores	2,4	2		
		Sala de reuniões				
		Sala polivalente				
Associação de estudantes	57,85	Sala de estudantes				
		Sala das Tunas				
DataCenter	57,44	-----				
Snack-Bar	160,5	Snack-Bar				
		Copa				
Armazem	42,37	Armazem				
		Vestíários				
Circulação	104,05	-----				
Sanitários	33,03	-----				
Área Técnica	10,23	-----				
Recepção	79,62	-----				
Secretaria	53,64	-----				
Salas Coordenação	67,87	Sala coordenação	2,76	3		
		Apoio Gabinetes				
Sala Informática	31,14	Centro Informático				
		Sala apoio informático				
Sala Direção	74,06	Sala Direção 1				
		Sala Direção 2				
		Sala Direção 3				
		Sala Reuniões				
Sanitários	12,24	-----				
Escadas	17,92	-----				
Entrada	25	-----				
Circulação	40,48	-----				
Área Técnica	9,9	-----				
Sala aula 401	74,94	-----				
Sala aula 402_3_4_6	172,03	Sala 402	2,77	4		
		Sala 403				
		Sala 404				
		Sala 406				
Sala aula 405	27,86	-----				
Sanitários	34,75	-----				
Circulação	64,68	-----				
Escadas	18,37	-----				
Área Técnica	11,12	-----				
Sala aula 501	73,71	-----				
Sala aulas 502_3_4_6	174,16	Sala 502			2,78	5
		Sala 503				
		Sala 504				
		Sala 506				
Sala aula 505	28,05	-----				
Circulação	59,22	-----				
Escadas	17,11	-----				
Área Técnica	10,85	-----				
Biblioteca	53,88	-----				
Sala de aula 602_3_4	109,18	Sala 602	2,77	6		
		Sala 603				
		Sala 604				
Sala Docentes	28,05	-----				
Biblioteca envidraçada	77,73	-----				
Circulação 3	66,31	-----				
Escadas	17,11	-----				
Área Técnica	10,85	-----				
Casa das máquinas	22,72	-----				
Escadas	20,3	-----				
					2,8	Cobertura

Tabela 4 - Zonas térmicas e simplificações do modelo.

A visualização gráfica de cada piso que constituem o edifício, com as respetivas zonas térmicas consideradas no modelo, estão representadas abaixo:

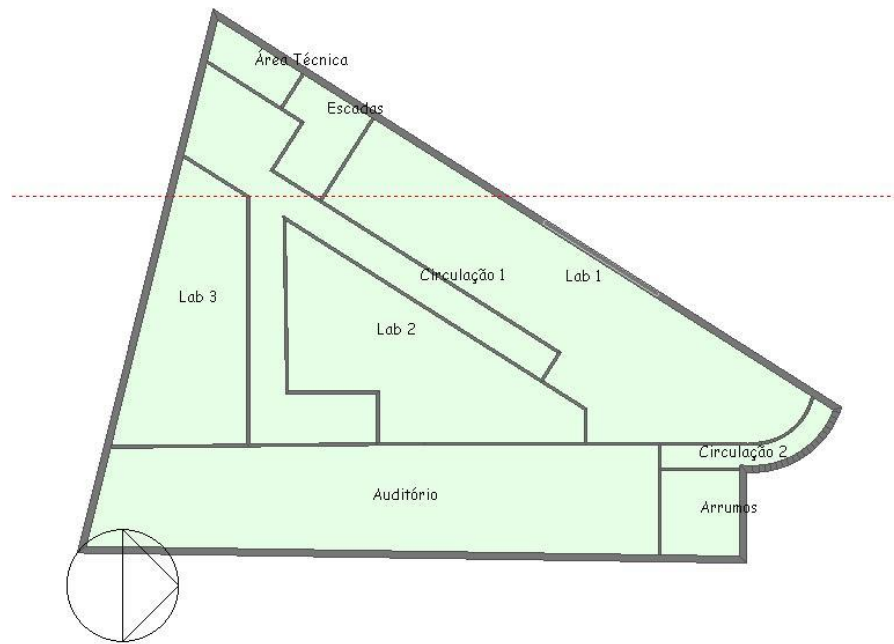


Figura 13 - Zonas térmicas, Piso 1 [21].

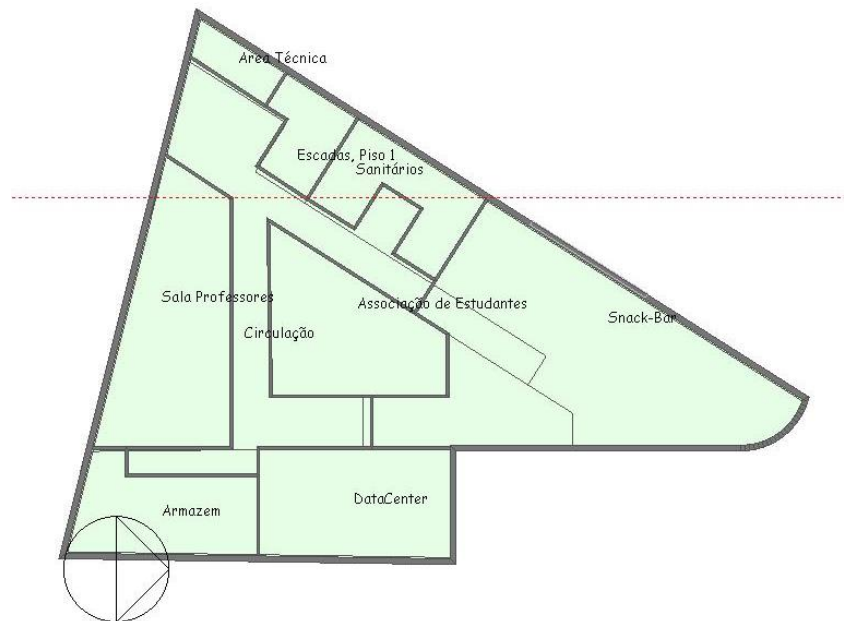


Figura 14 - Zonas térmicas, Piso 2 [21].

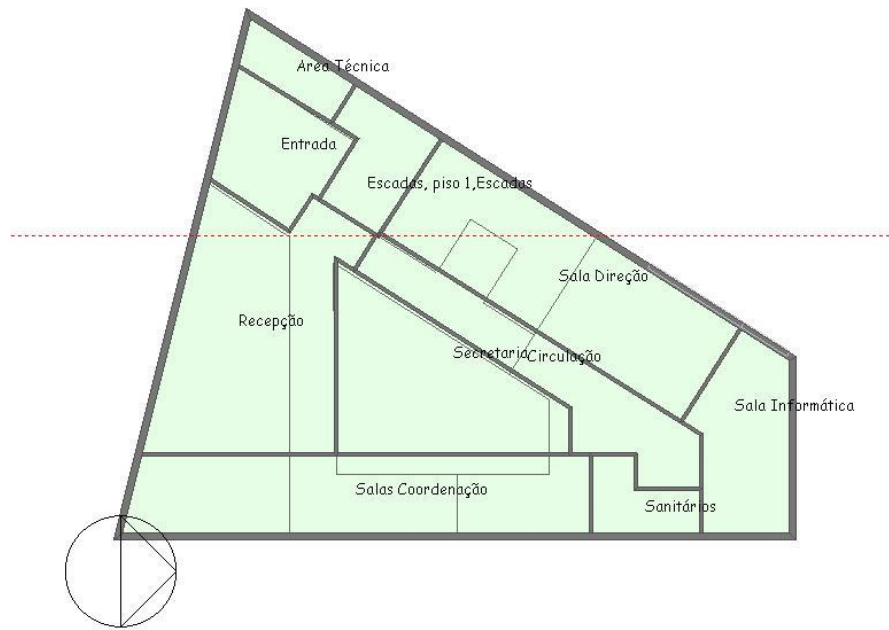


Figura 15 - Zonas térmicas, Piso 3 [21].

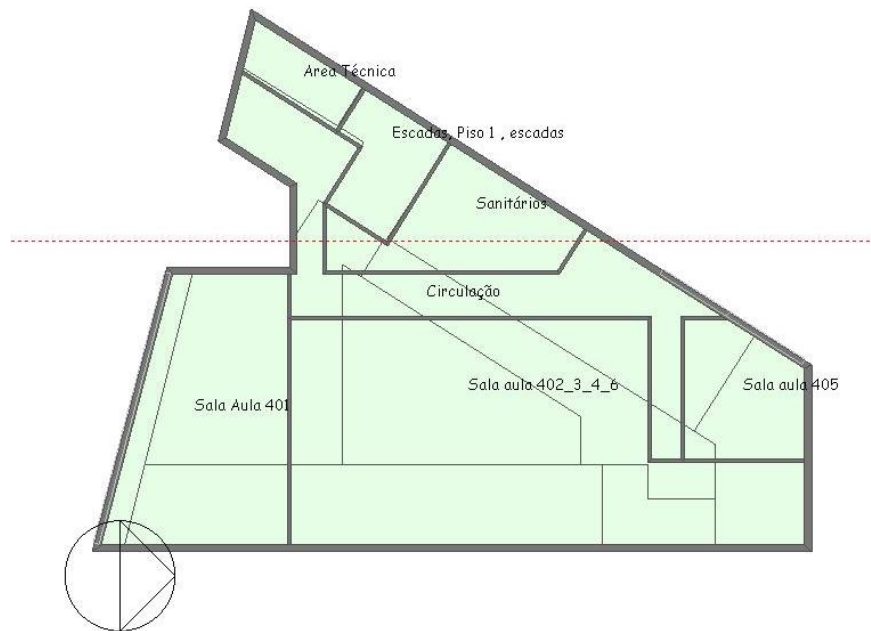


Figura 16 – Zonas térmicas, Piso 4 [21].

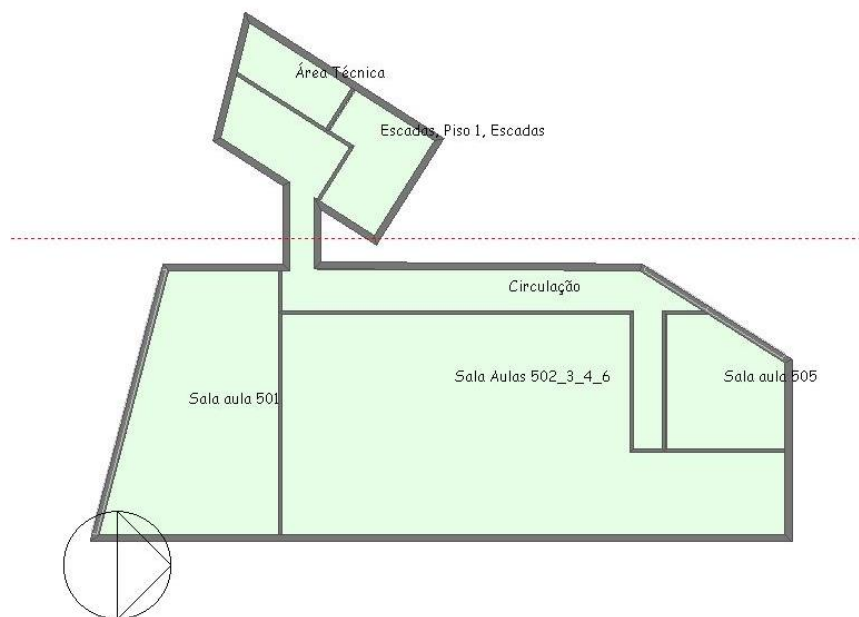


Figura 17 – Zonas térmicas, Piso 5 [21].

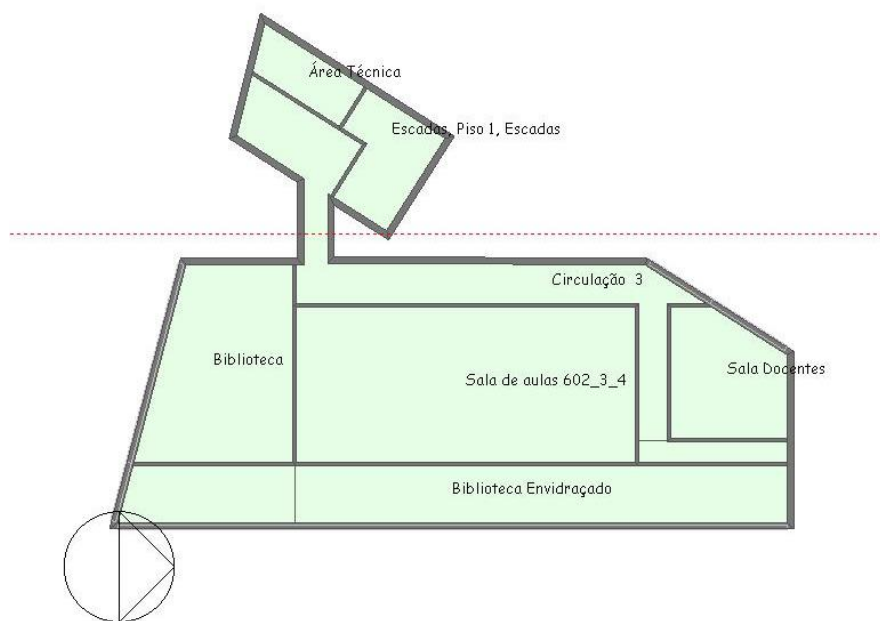


Figura 18 – Zonas térmicas, Piso 6 [21].

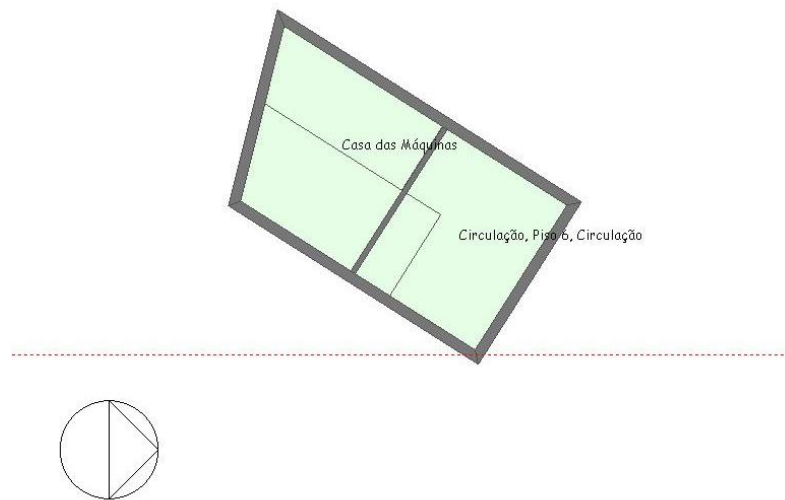


Figura 19 - Zonas térmicas, Cobertura [21].

3.3 Soluções construtivas

Devido à escassez de informação disponível sobre as soluções construtivas do edifício do ISPGaya, optou-se, em alternativa, por caracterizar o edifício através dos documentos *ITE 50 – Coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente dos edifícios* [67] e *ITE 54 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios – Soluções construtivas de edifícios antigos* [68].

Optou-se, também, por aplicar o ponto dois do item 2.1.2 do despacho nº 15793-E/2013 relativo ao agravamento dos coeficientes de transmissão térmica de 35%, nos casos aplicáveis [24].

3.3.1 Envolvente vertical

O coeficiente global de transferência de calor usado para as *paredes exteriores* foi retirado do documento ITE 54, quadro II.3 [68]

O coeficiente global de transferência de calor usado para as *paredes interiores* foi necessário recorrer ao ITE 50 e à seguinte equação:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (1)$$

U – coeficiente global de transferência de calor ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

R_{si} – resistência térmica superficial interior ($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$) - (RCCTE, 2006)

R_j – resistência térmica da camada ($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$)

R_{se} – resistência térmica superficial exterior ($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$) - (RCCTE, 2006)

O valor do coeficiente global de transferência de calor das paredes exteriores e interiores, estão descritas na tabela 5.

Solução Construtiva	Descrição	U [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]	Agravamento 35 %	Observações
Paredes Exteriores	Parede rebocada, posterior a 1960	1,1	1,485	--
	Parede dupla, com espessura de 30 cm			
Parede Interior	Placa de gesso cartonado, com 1,5 cm espessura	2	----	Espaço de ar não ventilado
	Caixa de ar de 10 cm			

Tabela 5 - Propriedades termofísicas dos elementos verticais.

3.3.2 Envolvente horizontal

O coeficiente global de transferência de calor usado para o **pavimento e cobertura** foi retirado do documento ITE 54 [68].

Solução Construtiva	Descrição	U [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]	Observações
Cobertura	Cobertura pesada horizontal [Betão]	2,6	----
Pavimento	Pavimento Pesado [Betão]	3,1	----

Tabela 6 - Propriedades termofísicas dos elementos horizontais.

3.3.3 Envidraçados

O coeficiente de transmissão térmica dos **envidraçados interiores e exteriores**, foi retirado, por interpolação, do **Quadro III.2** com a correção do **Quadro III.4**, do ITE 50 [67].

O coeficiente de transmissão térmica dos **envidraçados horizontais (cobertura)** foi retirado, por interpolação, do **Quadro III.2** com a correção do **Quadro III.5** do ITE 50 [67].

A cobertura da varanda da biblioteca é envidraçada e tem uma proteção exterior de persiana metálica.

Solução Construtiva	Descrição	U [W/(m ² .°C)]	Observações
Vidro duplo [janela fixa]	Vidro duplo 6/5mm	2,8	Sem proteção Sem corte térmico
	Lâmina de ar 10 mm		
Vidro duplo [janela giratória]	Vidro duplo 6/5mm	2,99	Envidraçados verticais Caixilharia metálica Interior e exterior
	Lâmina de ar 10 mm		
Vidro duplo [janela correr]	Vidro duplo 6/5mm	3,1	
	Lâmina de ar 10 mm		
Vidro duplo [Cobertura]	Vidro duplo 6/5mm	4,4	Sem proteção Sem corte térmico Envidraçado horizontal Caixilharia metálica
	Lâmina de ar 10 mm		

Tabela 7 - Propriedades termofísicas dos envidraçados.

3.3.4 Elementos dos vãos

O coeficiente de transmissão térmica para as **portas de vidro**, foram retirados por interpolação do **Quadro III.2**, com a correção do **Quadro III.4** do ITE 50 [67].

O coeficiente global de transferência de calor usado para as **portas de madeira** foi necessário recorrer ao ITE 50 [67].

Solução Construtiva	Descrição	U [W/(m ² .°C)]	Observações
Porta vidro [giratória]	Vidro duplo 5-6mm	2,99	--
	Parede dupla, com espessura de 300 mm		
Porta madeira	Madeira maciça leve	1,9	--
	espessura da porta de 40mm		

Tabela 8 – Propriedades termofísicas dos elementos dos vãos.

3.4 Ocupação

A ocupação do edifício foi aferida através das cadeiras colocadas nas zonas térmicas, nomeadamente nas salas de aula, Snack-Bar, Laboratórios e Auditório. A tabela 10 apresenta as densidades de ocupação, distribuídas por cada zona térmica.

Zona Térmica	Área [m ²]	Piso	Pessoas	Densidade (pessoas/m ²)
Lab 1	154,46	1	50	0,32
Lab 2	95,2		33	0,35
Lab 3	78,17		26	0,33
Auditório	166,21		100	0,60
Arrumos	19,27		0	0,00
Circulação 1	95,41		4	0,04
Circulação 2	12,23		0	0,00
Escadas	18,65		0	0,00
Área Técnica	10,80		0	0,00
Sala Professores	78,43		2	20
Associação de estudantes	57,85	8		0,14
DataCenter	57,44	0		0,00
Snack-Bar	160,5	42		0,26
Armazem	42,37	4		0,09
Circulação	104,05	6		0,06
Sanitários	33,03	0		0,00
Área Técnica	10,23	0		0,00
Recepção	79,62	8		0,10
Secretaria	53,64	4		0,07
Salas Coordenação	67,87	8	0,12	
Sala Informática	31,14	8	0,26	
Sala Direção	74,06	15	0,20	
Sanitários	12,24	0	0,00	
Escadas	17,92	0	0,00	
Entrada	25	3	0,12	
Circulação	40,48	5	0,12	
Área Técnica	9,9	0	0,00	
Sala aula 401	74,94	4	28	0,37
Sala aula 402_3_4_6	172,03		53	0,31
Sala aula 405	27,86		13	0,47
Sanitários	34,75		0	0,00
Circulação	64,68		5	0,08
Escadas	18,37		0	0,00
Área Técnica	11,12		0	0,00
Sala aula 501	73,71	5	28	0,38
Sala aulas 502_3_4_6	174,16		64	0,37
Sala aula 505	28,05		13	0,46
Circulação	59,22		5	0,08
Escadas	17,11		0	0,00
Área Técnica	10,85		0	0,00
Biblioteca	53,88	6	12	0,22
Sala de aula 602_3_4	109,18		48	0,44
Sala Docentes	28,05		8	0,29
Biblioteca envidraçada	77,73		12	0,15
Circulação 3	66,31		3	0,05
Escadas	17,11		0	0,00
Área Técnica	10,85		0	0,00
Casa das máquinas	22,72		Cobertura	0
Escadas	20,3	0		0,00

Tabela 9 - Densidades de ocupação por zona térmica.

3.5 Iluminação

A informação sobre a iluminação foi recolhida através de um levantamento de luminárias e lâmpadas, tipo de lâmpadas e potência instalada em cada zona.

O edifício possui lâmpadas fluorescentes tubulares, fluorescentes compactas e lâmpadas LED. O valor total de potência instalada no edifício é de 35,99 kW.

A tabela abaixo apresenta a caracterização do edifício ao nível da iluminação.

Zona Térmica	Área [m ²]	Piso	Ptos Luz	Tipo de lâmpada	P [lâmpada] (W)	Tipo Balastro	P [Balastro] (W)	P [TOTAL] (W)	Densidade (W/m ²)		
Lab 1	154,46	1	65	Fluorescente T8	36	Ferromagnético	9	2925	18,94		
Lab 2	95,2		50		36		9	2250	23,63		
Lab 3	78,17		28		36		9	1260	16,12		
Auditório	166,21		56	Fluorescente Compacta	26	Eletrónico	--	1456	8,76		
Arrumos	19,27		8	26	--		208	10,79			
Circulação 1	95,41		30	26	Eletrónico	--	780	8,18			
Circulação 2	12,23		2	Fluorescente Compacta		13	--	26	2,13		
Escadas	18,65		6	13		--	78	4,18			
Área Técnica	10,80		6	LED T8	10	---	--	60	5,56		
Sala Professores	78,43		2	37	Fluorescente T8	36	Ferromagnético	9	1665	21,23	
Associação de estudantes	57,85			24		36		9	1080	18,67	
DataCenter	57,44			12		36		9	540	9,40	
Snack-Bar	160,5	29		36	9	1305	8,13				
Armazem	42,37	16		Fluorescente Compacta	13	Eletrónico	--	208	9,82		
Circulação	104,05	8			26		--	208			
		20			26		--	520	5,00		
Sanitários	33,03	24		13	--	312	9,45				
Área Técnica	10,23	6		LED T8	10	---	--	60	5,87		
Recepção	79,62	3		46	Fluorescente Compacta	26	Eletrónico	--	1196	15,02	
Secretaria	53,64			16		26		--	416	7,76	
Salas Coordenação	67,87			46		26		--	1196	17,62	
Sala Informática	31,14		26	26		--		676	21,71		
Sala Direção	74,06		48	26		--		1248	16,85		
Sanitários	12,24		10	13		--		130	10,62		
Escadas	17,92		14	26		--		364	20,31		
Entrada	25		16	26		--		416	16,64		
Circulação	40,48		16	26		--		416	10,28		
Área Técnica	9,9		6	LED T8	10	---	--	60	6,06		
Sala aula 401	74,94		4	40	Fluorescente Compacta	26	Eletrónico	--	1040	13,88	
Sala aula 402_3_4_6	172,03			106		26		--	2756	16,02	
Sala aula 405	27,86	16		26		--		416	14,93		
Sanitários	34,75	26		13		--		338	9,73		
Circulação	64,68	26		26		--		676	10,45		
Escadas	18,37	6		26		--		156	8,49		
Área Técnica	11,12	6		LED T8		10		---	--	60	5,40
Sala aula 501	73,71	40		26		--		1040	14,11		
Sala aulas 502_3_4_6	174,16	5	106	Fluorescente Compacta	26	Eletrónico	--	2756	15,82		
Sala aula 505	28,05		16		26		--	416	14,83		
Circulação	59,22		14		26		--	364	6,15		
Escadas	17,11		8		26		--	208	12,16		
Área Técnica	10,85	6	LED T8	10	---	--	60	5,53			
Biblioteca	53,88	6	34	Fluorescente Compacta	26	Eletrónico	--	884	16,41		
Sala de aula 602_3_4	109,18		72		26		--	1872	17,15		
Sala Docentes	28,05		22		26		--	572	20,39		
Biblioteca envidraçada	77,73		12		27		---	324	4,17		
Circulação 3	66,31		18		26	Eletrónico	--	468	7,06		
Escadas	17,11		8		26		--	208	12,16		
Área Técnica	10,85		6		LED T8		10	---	--	60	5,53
Casa das máquinas	22,72		Cobertura		2	Fluorescente Compacta	26	Eletrónico	--	52	2,29
Escadas	20,3	8		26	--		208		10,25		

Tabela 10 - Distribuição da iluminação por zona térmica.

A distribuição, em percentagem, da potência instalada por piso pode ser consultada no gráfico 12. Constatou-se que a maior fatia de potência está alocado ao piso 1.

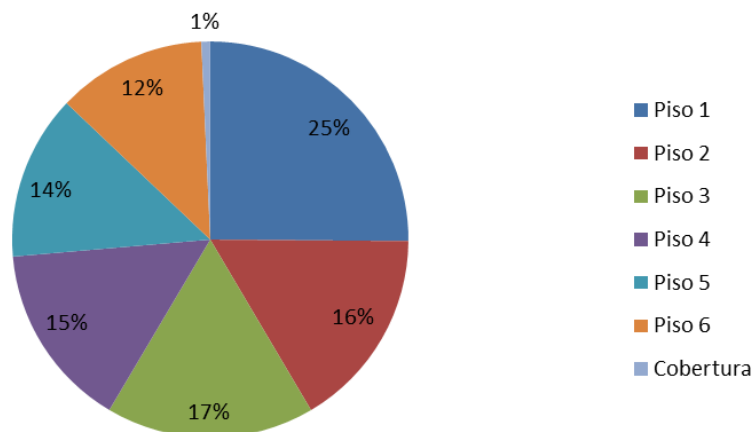


Gráfico 12 - Distribuição das potências de iluminação pelos pisos dos edifícios.

O peso, em percentagem, do tipo de lâmpada no edifício, está representado no gráfico 13:

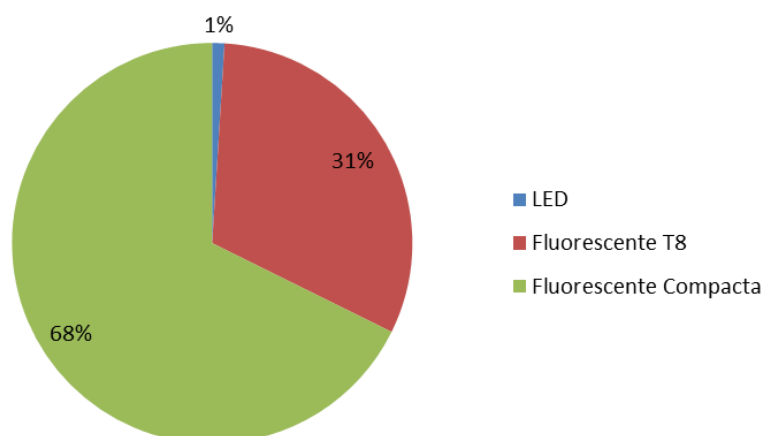


Gráfico 13 - Distribuição do tipo de iluminação pelo edifício.

3.6 Equipamentos (computadores)

Foi possível aferir os computadores afetos a cada zona térmica. A destacar o *Datacenter*, sala informática e laboratórios com maiores ganhos.

Zona Térmica	Área [m²]	Piso	Computadores	Potência Total (W)	Ganhos (W/m²)	
Lab 1	154,46	1	28	2800	18,13	
Lab 2	95,2		21	2100	22,06	
Lab 3	78,17		14	1400	17,91	
Auditório	166,21		1	100	0,60	
Arrumos	19,27		0	0	0,00	
Circulação 1	95,41		0	0	0,00	
Circulação 2	12,23		0	0	0,00	
Escadas	18,65		0	0	0,00	
Área Técnica	10,80		0	0	0,00	
Sala Professores	78,43		2	6	600	7,65
Associação de estudantes	57,85	4		400	6,91	
DataCenter	57,44	DATA CENTER		1300	22,63	
Snack-Bar	160,5	1		100	0,62	
Armazem	42,37	0		0	0,00	
Circulação	104,05	0		0	0,00	
Sanitários	33,03	0		0	0,00	
Área Técnica	10,23	0		0	0,00	
Recepção	79,62	3		2	200	2,51
Secretaria	53,64			5	500	9,32
Salas Coordenação	67,87		2	200	2,95	
Sala Informática	31,14		6	600	19,27	
Sala Direção	74,06		8	800	10,80	
Sanitários	12,24		0	0	0,00	
Escadas	17,92		0	0	0,00	
Entrada	25		1	100	4,00	
Circulação	40,48		1	100	2,47	
Área Técnica	9,9		0	0	0,00	
Sala aula 401	74,94	4	1	100	1,33	
Sala aula 402_3_4_6	172,03		4	400	2,33	
Sala aula 405	27,86		1	100	3,59	
Sanitários	34,75		0	0	0,00	
Circulação	64,68		0	0	0,00	
Escadas	18,37		0	0	0,00	
Área Técnica	11,12		0	0	0,00	
Sala aula 501	73,71	5	1	100	1,36	
Sala aulas 502_3_4_6	174,16		4	400	2,30	
Sala aula 505	28,05		1	100	3,57	
Circulação	59,22		0	0	0,00	
Escadas	17,11		0	0	0,00	
Área Técnica	10,85		0	0	0,00	
Biblioteca	53,88		6	2	200	3,71
Sala de aula 602_3_4	109,18	3		300	2,75	
Sala Docentes	28,05	1		100	3,57	
Biblioteca envidraçada	77,73	0		0	0,00	
Circulação 3	66,31	0		0	0,00	
Escadas	17,11	0		0	0,00	
Área Técnica	10,85	0		0	0,00	
Casa das máquinas	22,72	Cobertura	0	0	0,00	
Escadas	20,3		0	0	0,00	

Tabela 11 – Distribuição de equipamento, por zona térmica.

3.7 AVAC

O edifício do ISPGaya possui unidades de climatização *multisplit* e *Split* que funcionam por expansão direta, com capacidade de arrefecimento e aquecimento, espalhados pelas diversas zonas térmicas, como nos mostra a tabela 12.

Zona Térmica	Piso	Modelo	Tipo	Potência Arrefecimento(KW)	Potência Aquecimento(KW)	COP	EER	
Lab 1	1	MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--	
		MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--	
		MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--	
		MS18AH	Mural	5,28	5,8	--	--	
Lab 2		MS18AH	Mural	5,28	5,8	--	--	
		MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--	
Lab 3		MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--	
		MS18AH	Mural	5,28	5,8	--	--	
Auditório		UT18 [x3]	Cassete	5,3	5,8	3,61	3,21	
Sala Professores	2	MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--	
		MS09AH	Mural	2,64	2,93	--	--	
MS12AH		Mural	3,52	3,87	--	--		
Associação de estudantes		MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--	
DataCenter		MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--	
Snack-Bar		UV30	Teto	7,8	8,8	2,81	2,84	
		UV30	Teto	7,8	8,8	2,81	2,84	
Recepção		3	MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--
Secretaria			MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--
	MS09AH		Mural	2,64	2,93	--	--	
Salas Coordenação	MS09AH		Mural	2,64	2,93	--	--	
	MS09AH		Mural	2,64	2,93	--	--	
Sala Informática	MS09AH		Mural	2,64	2,93	--	--	
	MS12AH		Mural	3,52	3,87	--	--	
	MS09AH		Mural	2,64	2,93	--	--	
Sala Direção	MS09AH		Mural	2,64	2,93	--	--	
	MS09AH		Mural	2,64	2,93	--	--	
	MS09AH		Mural	2,64	2,93	--	--	
Sala aula 401	4		MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--
			MS12AH	Mural	3,52	3,87	--	--
MS18AH			Mural	5,28	5,8	--	--	
Sala aula 402_3_4_6			MS18AH	Mural	5,28	5,8	--	--
		S18AW	Exterior	5,28	6,07	3,61	3,33	
Sala aula 501		UB18NHC	oculto	4,95	5,8	2,66	2,53	
		MS12AH	Split	3,52	3,87	--	--	
		MS12AH	Split	3,52	3,87	--	--	
		MS18AH	Split	5,28	5,8	--	--	
	MS18AH	Split	5,28	5,8	--	--		
Sala aulas 502_3_4_6	S18AW	Exterior	5,28	6,07	3,61	3,33		
	UB18NHC	oculto	4,95	5,8	2,66	2,53		
Biblioteca	6	MS12AH	Split	3,52	3,87	--	--	
		MS12AH	Split	3,52	3,87	--	--	
Sala de aula 602_3_4		MS12AH	Split	3,52	3,87	--	--	
		MS12AH	Split	3,52	3,87	--	--	
Sala Docentes		S18AW	Exterior	5,28	6,07	3,61	3,33	
Unidade 1 Piso 5		Terraço	S18AW	Exterior	5,28	6,07	3,61	3,33
Unidade 2 Piso 4			S18AW	Exterior	5,28	6,07	3,61	3,33
Unidade 3 Piso 6			FM25AH	Exterior	7	8,4	3,213	3,622
Unidade 4 Piso 4			UU18W UEC	Exterior	5,3	6	2,8	2,8
Unidade 6 Piso 5	S18AW		Exterior	5,28	6,07	3,61	3,33	
Unidade 5 Piso 3	FM25AH		Exterior	7	8,4	3,213	3,622	
Unidade 7 Piso 3	FM25AH		Exterior	7	8,4	3,213	3,622	
Unidade 8 Piso 6	S18AW		Exterior	5,28	6,07	3,61	3,33	
Unidade 9 Piso 3	FM30AH		Exterior	8,8	10,1	3,22	3,703	
Unidade 10 Piso 3	FM30AH		Exterior	8,8	10,1	3,22	3,703	
Unidade 11 Piso 6	FM30AH		Exterior	8,8	10,1	3,22	3,703	
Unidade 12 Piso 5	FM30AH		Exterior	8,8	10,1	3,22	3,703	
Unidade 13 Piso 4	FM30AH		Exterior	8,8	10,1	3,22	3,703	
Unidade 14 Piso 5	FM30AH		Exterior	8,8	10,1	3,22	3,703	
Unidade 15 Piso 4	FM30AH		Exterior	8,8	10,1	3,22	3,703	

Tabela 12 – Distribuição do equipamento de climatização por cada zona térmica.

3.8 Ventilação

Para o cálculo da taxa de renovação de ar, foi utilizado uma ferramenta de cálculo citada no nº3, do ponto 12.1, do despacho nº 15793-K/2013, desenvolvida pelo LNEC.

Os valores calculados da taxa de renovação para o edifício ISPGaya, estão referenciados na tabela seguinte:

Tipo	Renovações por hora [Rph]
Infiltrações por ventilação natural	0,94
Infiltrações por ventilação mecânica	1,07
Infiltrações por ventilação mecânica [sanitários]	2,91

Tabela 13 - Infiltrações ISPGaya.

3.9 Caracterização do consumo energético

O consumo energético do ISPGaya é exclusivamente em energia elétrica.

O edifício é alimentado em baixa tensão (BTE), com uma potência contratada de 60kVA. A contagem é tetra-horária, em ciclo diário.

O gráfico 14 ilustra a evolução do consumo mensal de energia ativa para os quatro períodos, verificando-se uma predominância dos consumos em horas cheias.

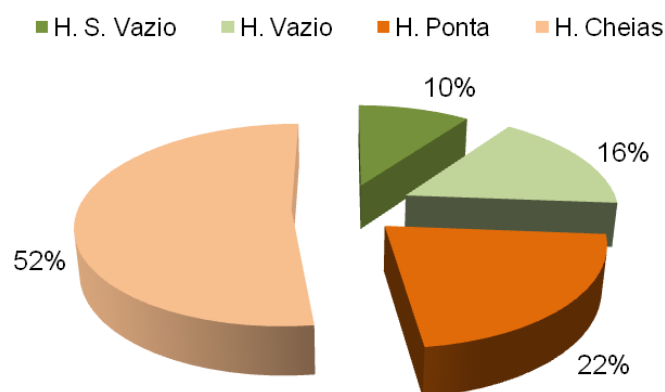


Gráfico 14 - Desagregação dos consumos elétricos por períodos tarifários.

No gráfico 15 é apresentada a evolução do consumo mensal de energia ativa para os quatro períodos, durante um ano, verificando-se um maior consumo nos meses de inverno.

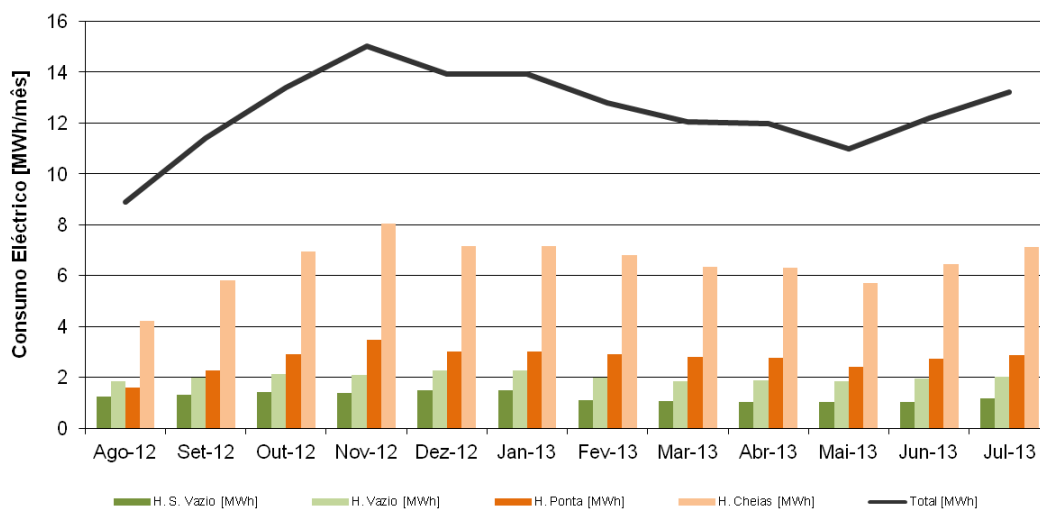


Gráfico 15 - Consumo elétrico por período tarifário.

No período entre agosto de 2012 e Julho de 2013 (1 ano), o consumo de energia elétrica foi de **149,78 MWh**.

3.10 Produção fotovoltaica

O edifício do ISPGaya possui um sistema fotovoltaico, ligado à rede, de vinte e dois painéis fotovoltaicos na cobertura, como nos mostra a figura 20.



Figura 20 - Painéis fotovoltaicos instalados no ISPGaya.

Através das faturas entre Agosto de 2011 e Julho 2012, foi evidenciada uma produção anual de 6,003 MWh.

O gráfico 16 transmite a produção mensal do sistema, demonstrando que nos meses junho, julho e agosto tem mais produção.

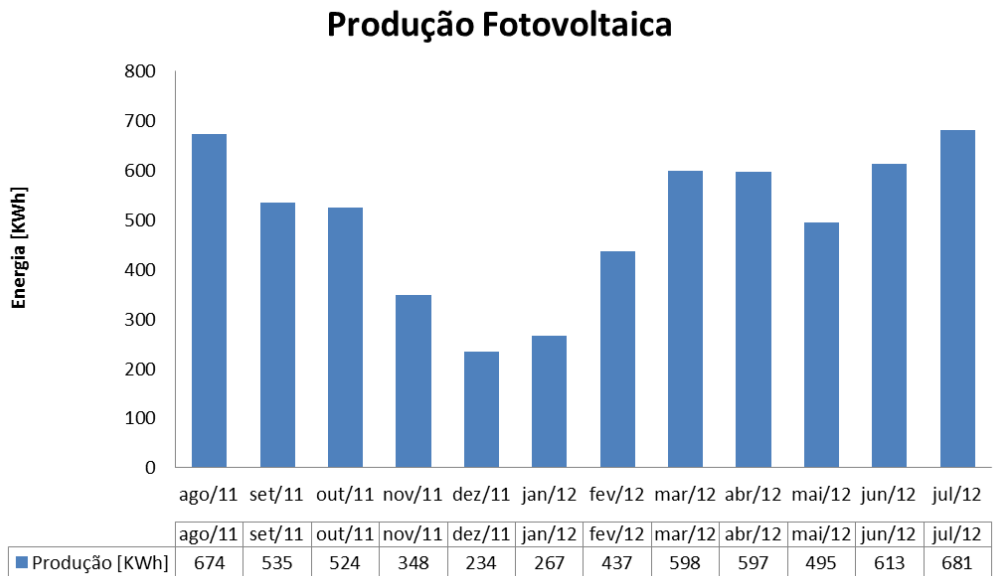


Gráfico 16 - Produção energia elétrica dos Painéis fotovoltaicos, por mês.

3.11 Medições no “terreno”

Foram efetuadas medições automáticas dos consumos elétrico, através de analisadores de rede, ao quadro geral, quadro de AVAC e quadro de elevador, de forma a determinar o respetivo perfil de funcionamento. Não foi viável a medição do consumo da iluminação visto a instalação elétrica não estar adequada à decomposição desse consumo por piso ou na totalidade do edifício.



Figura 21- Ligação do analisador de rede ao quadro elétrico do ISPGaya.

As medições foram efetuadas no período de 08 de Abril a 22 Abril, com os seguintes registos mais relevantes:

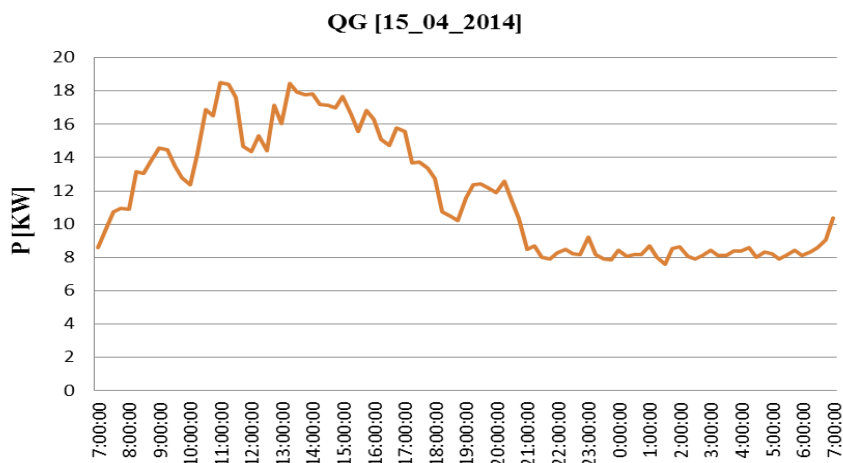


Gráfico 17 - Perfil de consumo energia elétrica, em 15/04, do quadro geral.

O edifício evidencia um consumo noturno, nomeadamente das 23:00 às 7:00, quando de encontra desocupado. O valor da potência tomada, neste período, mantém-se constante nos 8kW, evidenciando equipamentos e iluminação ligados durante a noite.

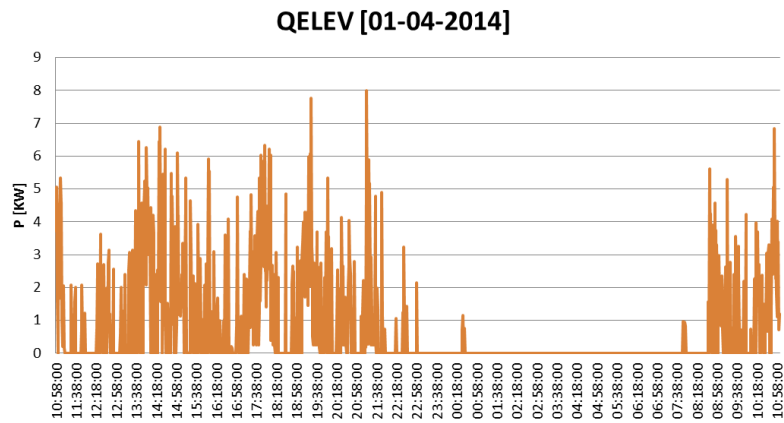


Gráfico 18- Perfil de consumo elétrico do elevador.

O registo da potência tomada no elevador, num dia útil, foi essencial para o cálculo do consumo do elevador. O valor da potência média, ao longo do dia, foi de 740W.

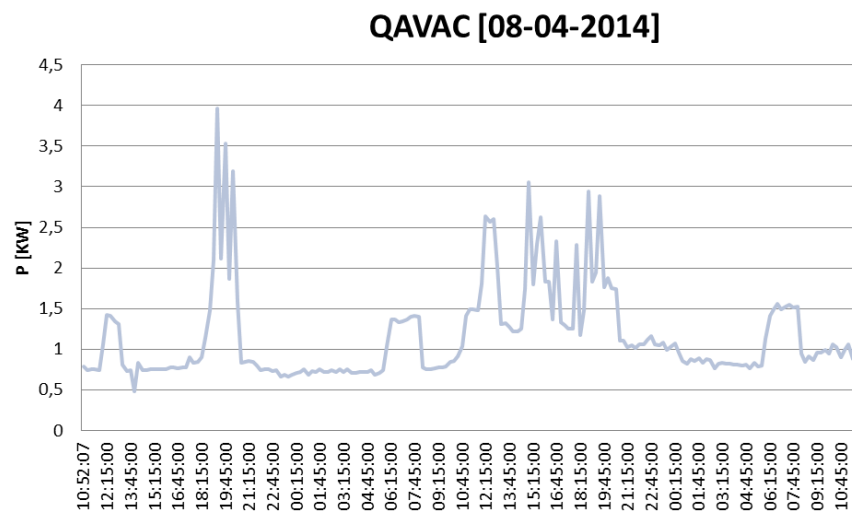


Gráfico 19 - Perfil de consumo elétrico do quadro AVAC.

Apesar do dia 08 de abril registar temperaturas amenas, longe de registo de valores próximos da potência máxima instalada, existe um consumo noturno de aproximadamente 700W da responsabilidade do sistema AVAC no *datacenter*.

3.12 Simulação em condições reais no Designbuilder

3.12.1 Padrões reais de utilização

Apesar da dificuldade na elaboração dos perfis temporais, mesmo com informação cedida pelo ISPGaya e pelas medições efetuadas, assumiu-se os seguintes perfis de ocupação, iluminação, AVAC, elevador, equipamentos e ventilação.

3.12.1.1 Ocupação

Foram criados diversos perfis de ocupação, nomeadamente ocupação para dias úteis, exames, sábados, domingos, mês de agosto, Secretaria e logística, Auditório e Biblioteca. Esta desagregação foi obrigatória, devido à diferença significativa entres estes momentos. No entanto existe algumas considerações a partilhar :

- A ocupação exames, destina-se ao mês de julho e setembro
- Na ocupação Secretaria e Logística, estão consideradas as zonas térmicas sala de professores, associação de estudantes, recepção, secretaria, sala coordenação, sala informática, sala direção e sala Docentes.
- A realçar, uma ocupação maior do edificio no periodo entre as 18:00 e as 21:00, em dias uteis.
- Aos sábados, a ocupação é esporádica, mas com maior incidencia na parte da manhã.

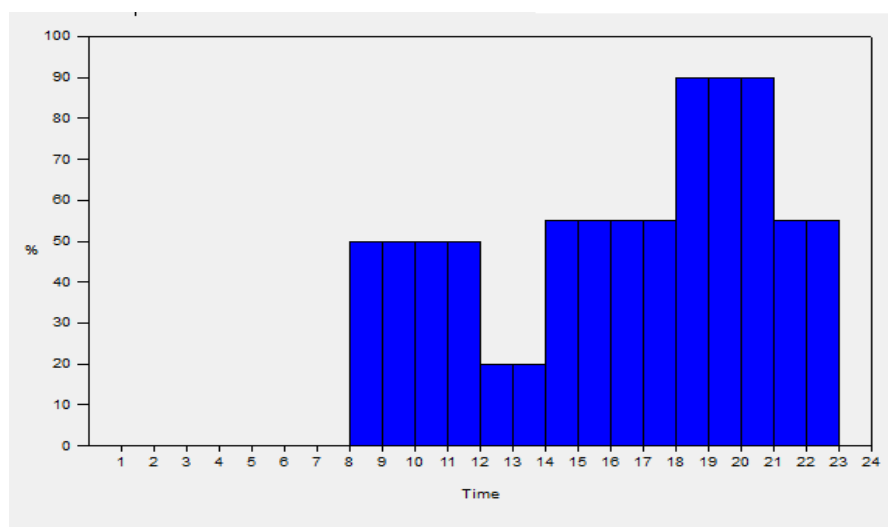


Gráfico 20 – Perfil real ocupação ISPGaya (Dias úteis) [21].

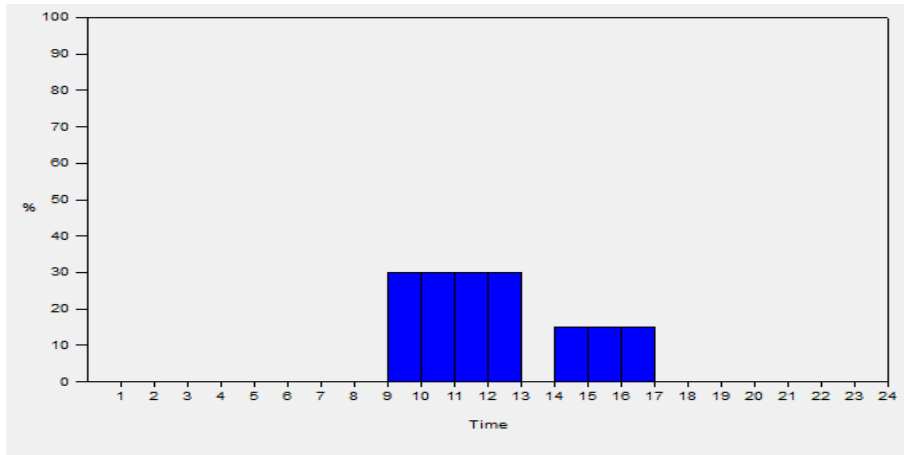


Gráfico 21 - Perfil real ocupação ISPGaya (Sábado) [21].

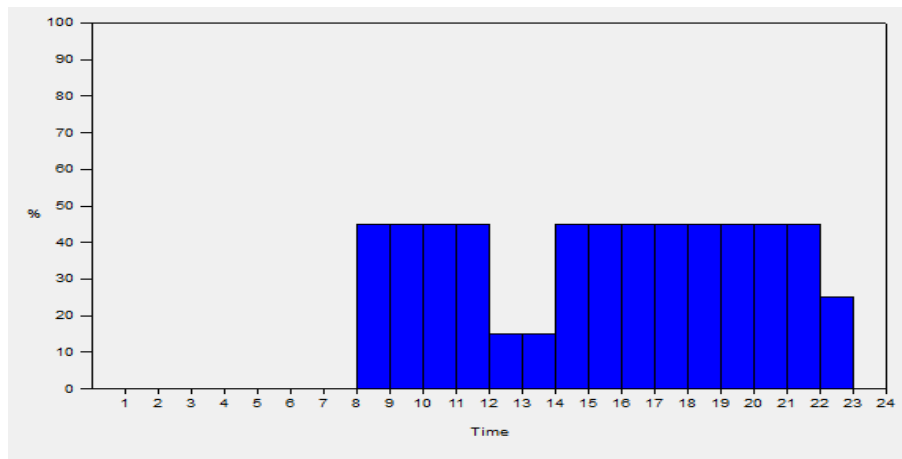


Gráfico 22 - Perfil real ocupação ISPGaya (Exames) [21].

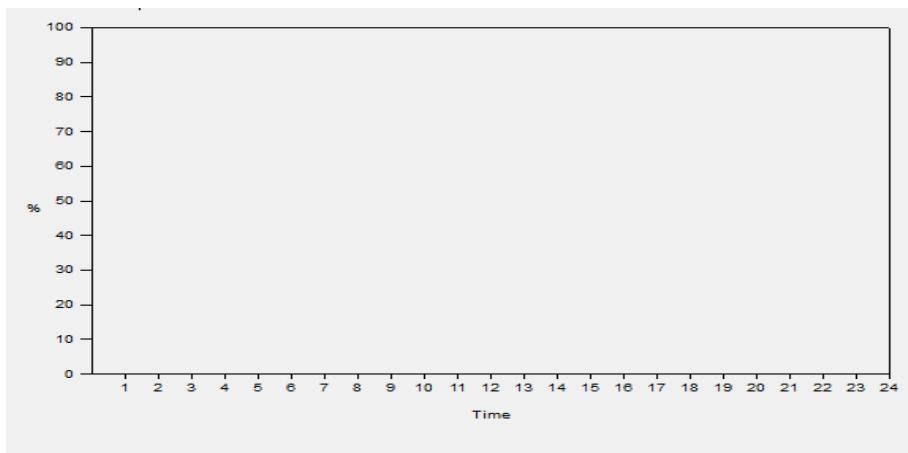


Gráfico 23 - Perfil real ocupação ISPGaya (Domingos) [21].

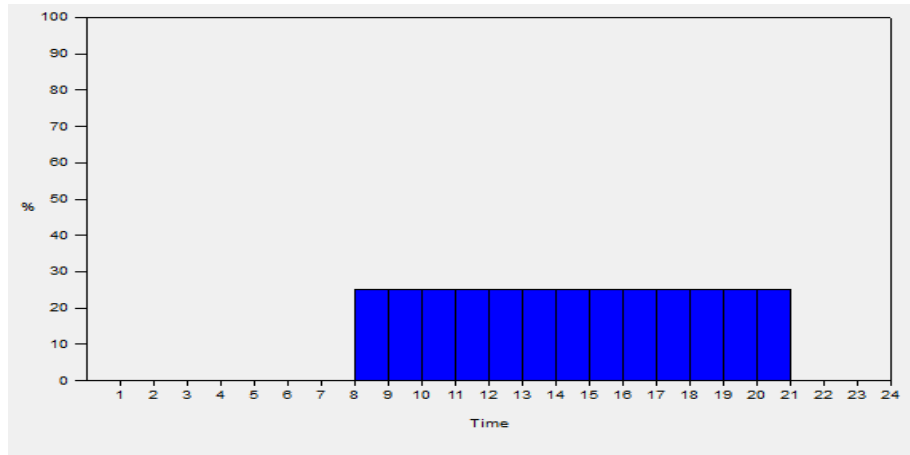


Gráfico 24 - Perfil ocupação [Agosto] [21].

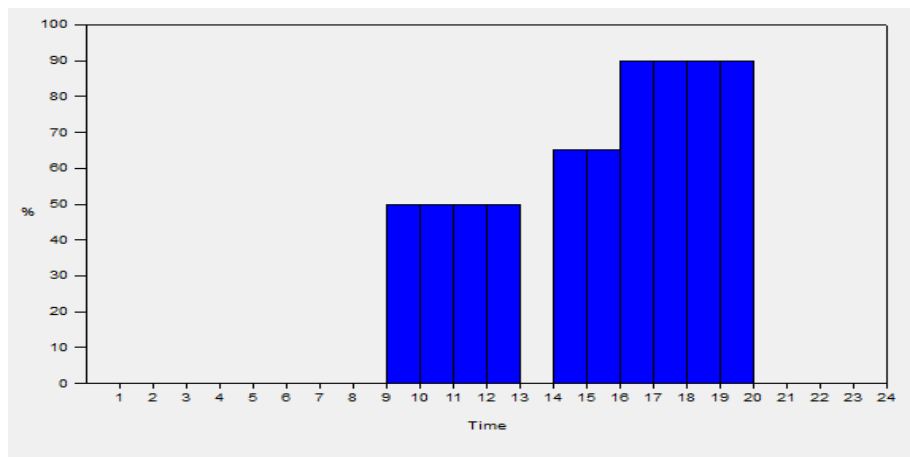


Gráfico 25 - Perfil real Ocupação [Secretaria e Logística] [21].

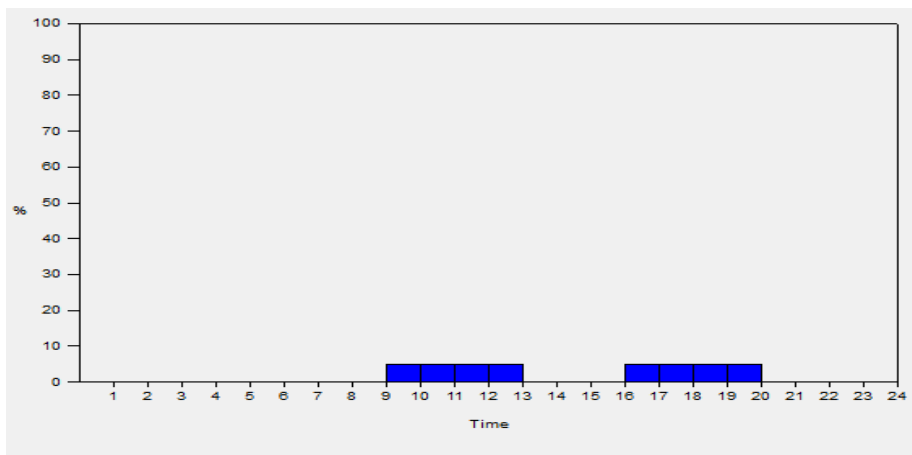


Gráfico 26 - Perfil real ocupação ISPGaya Auditório (Dias úteis) [21].

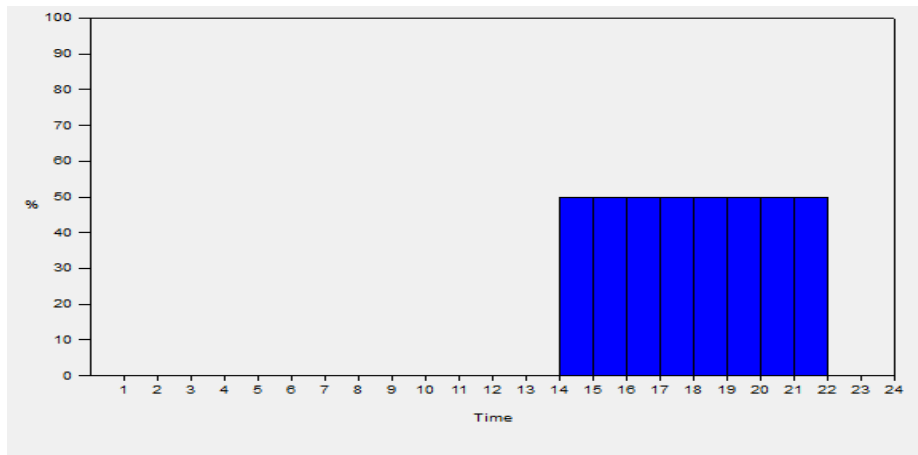


Gráfico 27 - Perfil real ocupação Biblioteca (Dias úteis) [21].

3.12.1.2 Equipamentos/computadores

Os padrões reais para os equipamentos/computadores foram determinados com base nos perfis de ocupação. No entanto, devido às medições efetuadas ao quadro geral, ajustou-se ligeiramente o período noturno.

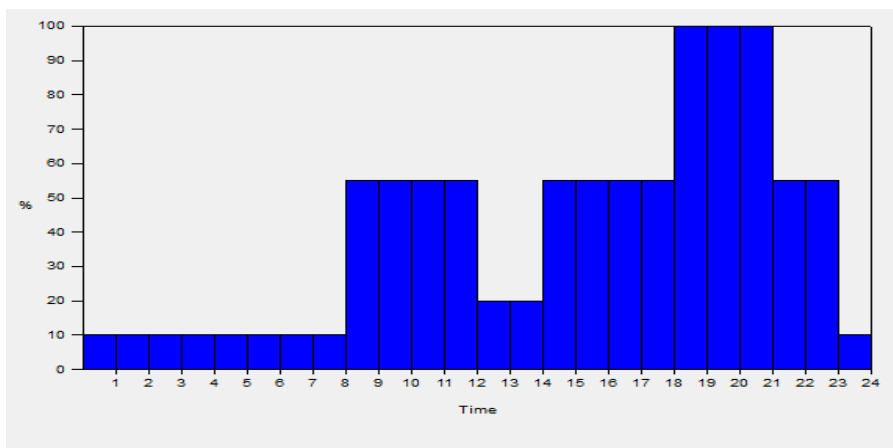


Gráfico 28 - Perfil real equipamentos ISPGaya (Dias úteis) [21].

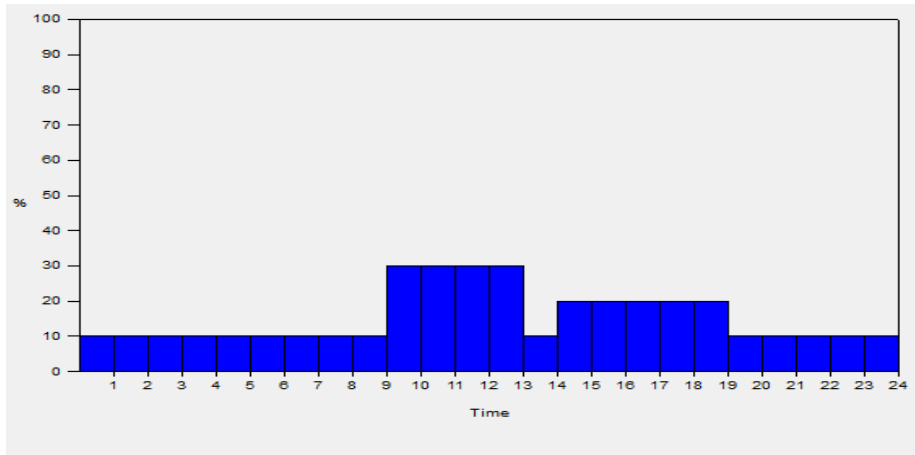


Gráfico 29 - Perfil real equipamentos ISPGaya (Sábados) [21].

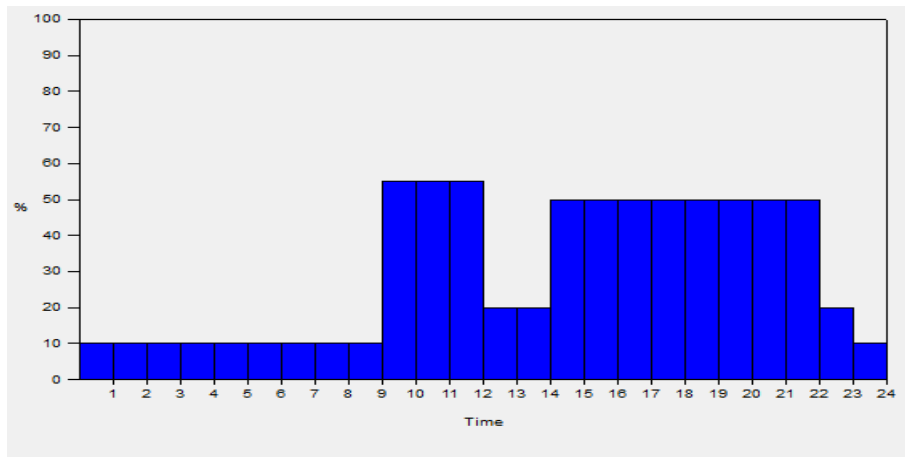


Gráfico 30 - Equipamentos ISPGaya [Exames] [21].

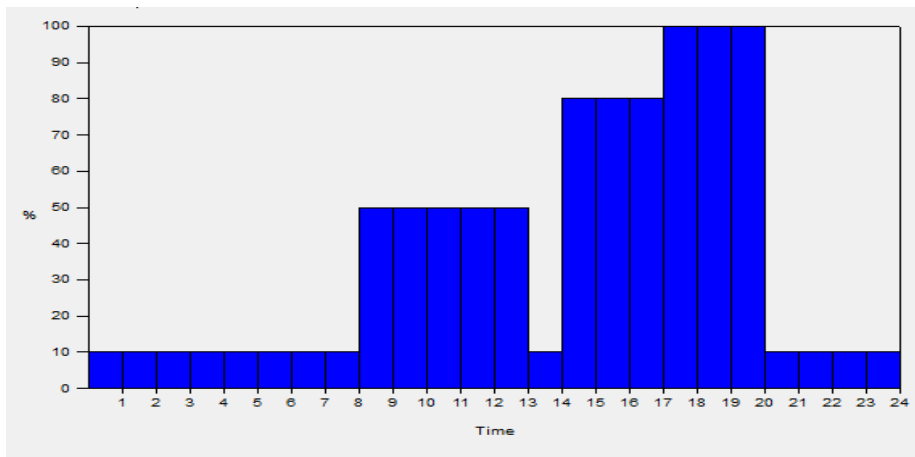


Gráfico 31 - Equipamento ISPGaya [Secretaria e Logística] [21].

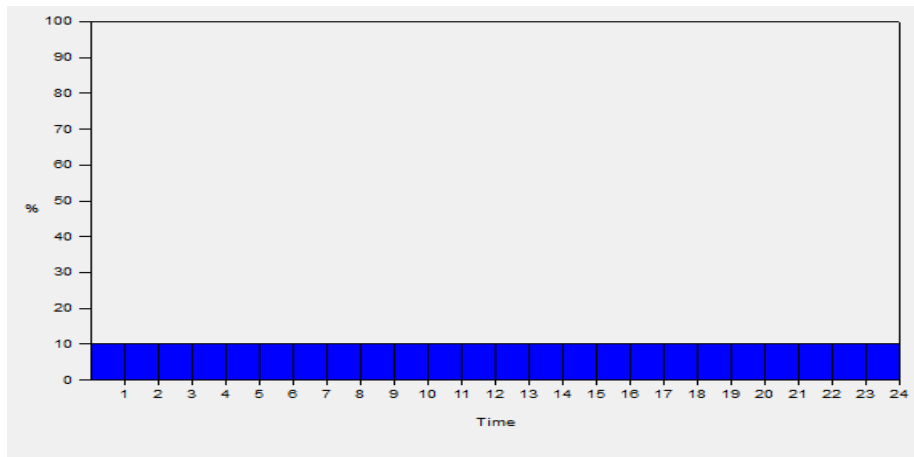


Gráfico 32 - Perfil real equipamentos (Domingos) [21].

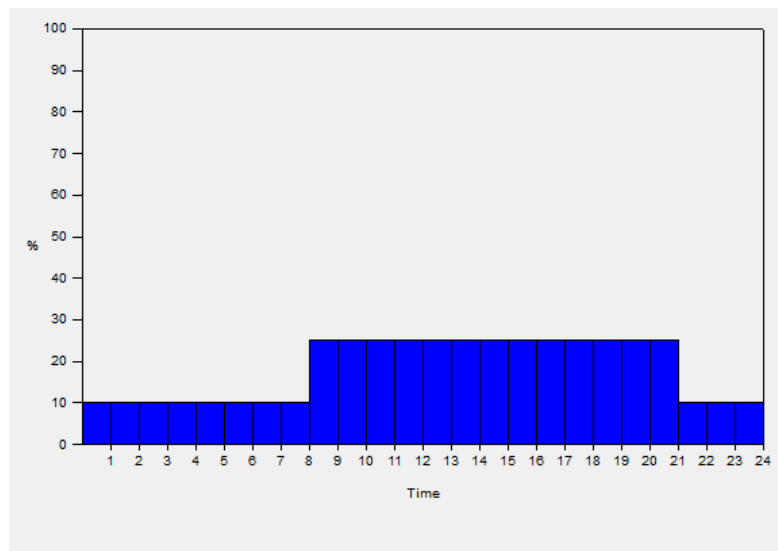


Gráfico 33 - Equipamentos [Agosto] [21].

3.12.1.3 Iluminação

No processo de elaboração dos perfis de iluminação, foi levado em conta os padrões reais de ocupação e os consumos noturnos obtidos nas medições.

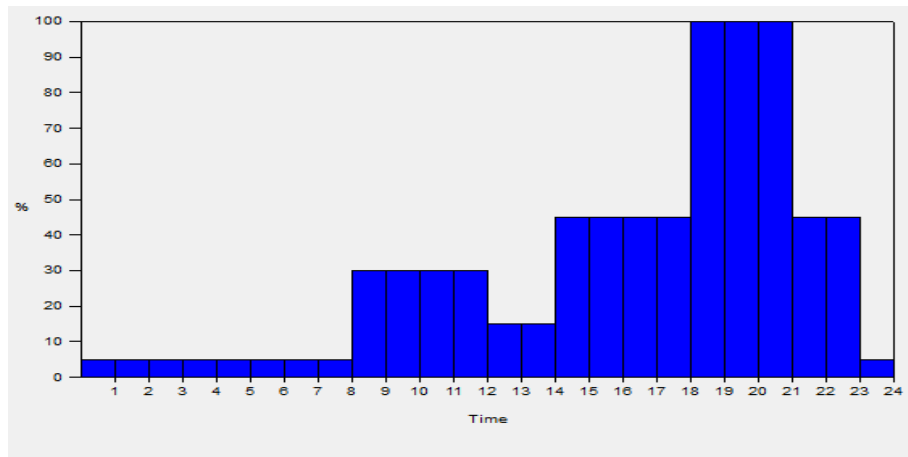


Gráfico 34 - Perfil real iluminação ISPGaya (Dias úteis) [21].

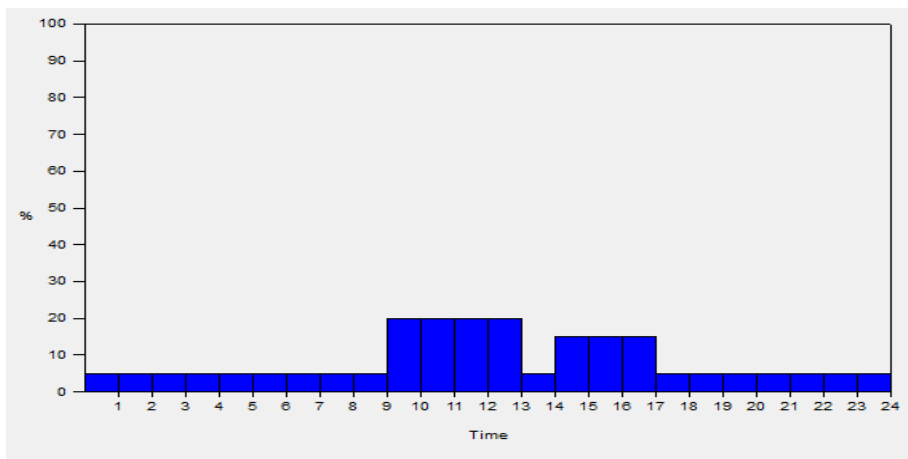


Gráfico 35 - Perfil real iluminação ISPGaya (Sábado) [21].

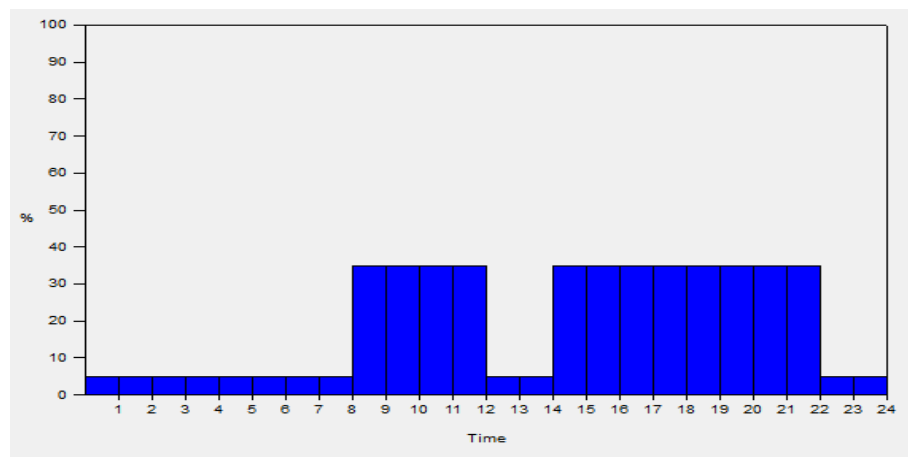


Gráfico 36 - Perfil Iluminação [Exames] [21].

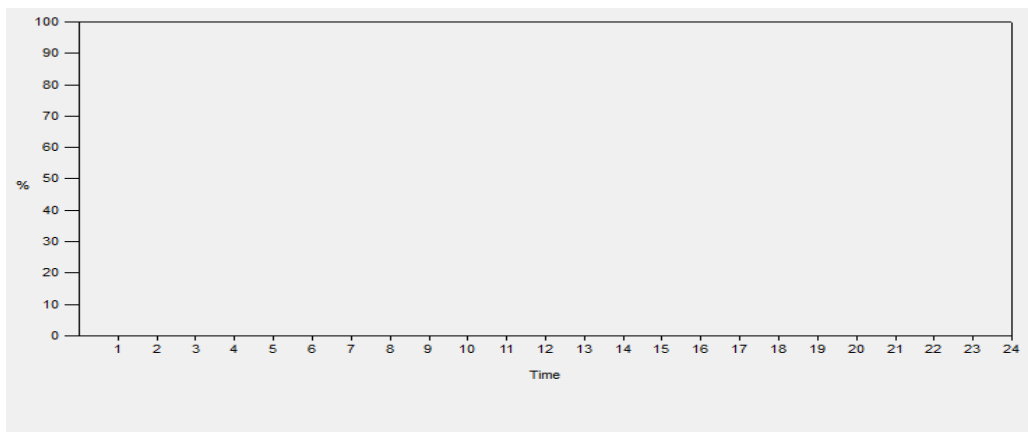


Gráfico 37 - Perfil real iluminação (Domingos) [21].

3.12.1.4 AVAC

Para efeito de simulação, os perfis do sistema AVAC foram considerados ligados nos seguintes períodos:

- Dias uteis, das 9h00 à 23h00
- Exames, Sábados e Agosto, Das 9h00 às 19h.
- Biblioteca, das 14h00 as 22h00

3.12.1.5 Elevadores

Foram efetuadas medições automáticas dos consumos elétricos de forma a determinar o perfil de funcionamento. Registou-se uma potência instalada média de 740W, nos dias uteis. Esse valor foi alocado na atividade “Miscellaneous” do DesignBuilder .

No entanto, foi criado um perfil de utilização do elevador no mês de agosto e aos sábados, devido à sua utilização ser diferente.

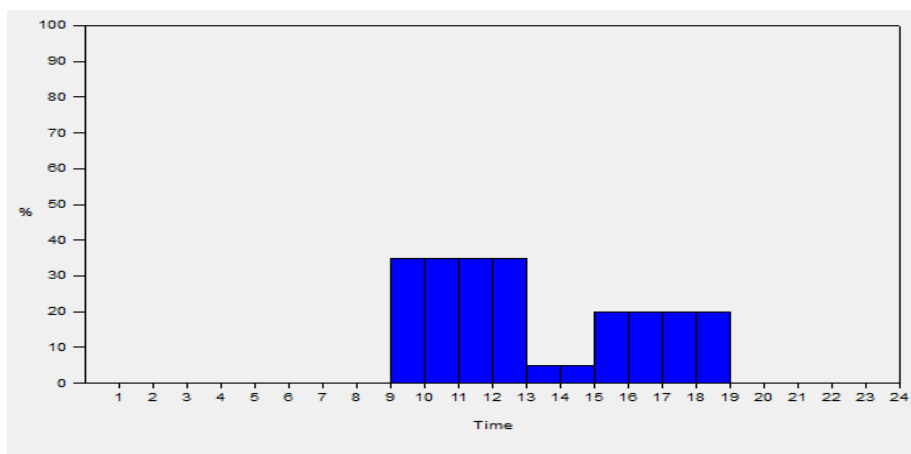


Gráfico 38 - Perfil real elevador ISPGaya (Sábado e Agosto) [21].

3.12.1.6 Cozinha

O edifício serve refeições ligeiras, à hora de almoço e ao jantar. Para o efeito, foi criado uma atividade “catering” no DesignBuilder para alocar esses consumos. Através de registos efetuados, foram criados os seguintes perfis de utilização:

- No período da confeção das refeições, entre as 12:00-14:00 e 18:00-21:00, um consumo de $42\text{W}/\text{m}^2$.
- No período entre as 7:00-12:00 ; 14:00-18:00 e 21:00-23:00, um consumo de $13,5\text{W}/\text{m}^2$, cerca de 30% do período de consumo das refeições.
- Entre as 23:00-07:00, $4,2\text{W}/\text{m}^2$, 10 % do período de consumo das refeições.
- Agosto não há atividade.

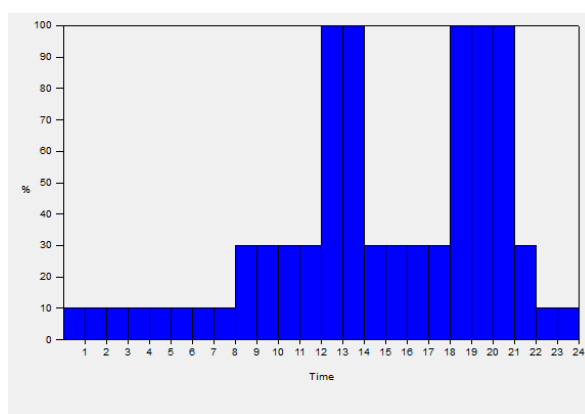


Gráfico 39 - Perfil real Catering ISPGaya (Dias úteis) [21].

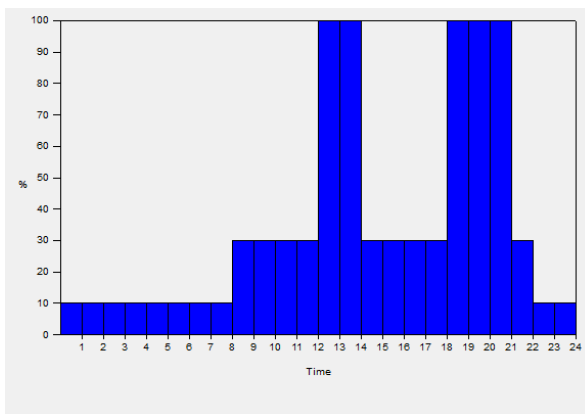


Gráfico 40 - Perfil real cozinha ISPGaya (Exames) [21].

3.12.1.7 Ventilação

Foram criados perfis de funcionamento da ventilação para os sanitários e Snack-Bar

:

- Sanitários, durante dias uteis, funcionam das 8:00 às 24:00
- Sanitários, aos sábados, funcionam das 8:00 às 18:00
- SnackBar, durante os dias úteis, funcionam das 12:00 às 16:00 e das 18:00 às 22:00.

3.12.1.8 Resultados da simulação Real

Toda a informação recolhida relativa ao edifício, nomeadamente contida no ponto 3, foi utilizada no DesignBuilder no sentido de se efetuar uma simulação do edifício em condições reais, no sentido de se estimar o valor do consumo real de energia do edifício.

Foi obtido através da simulação os seguintes resultados:

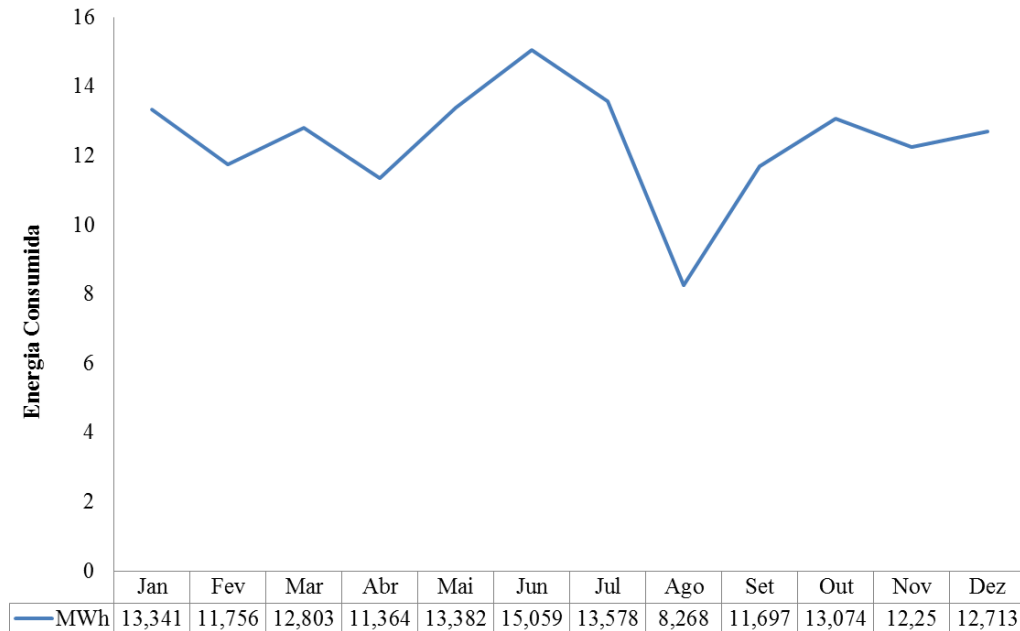


Gráfico 41 - Consumo mensal ISPGaya [adaptado de 21].

Através da simulação térmica do edifício permite-nos concluir que o mês de maior consumo de energia é o mês de junho, muito devido à ocupação do edifício e aos ganhos solares com os envidraçados.

O mês de agosto apresenta o menor valor de consumo, sem grande surpresa, devido a ser um período de férias letivas.

Em comparação com os dados de consumos mensais retirados das faturas, o valor anual e mensal são semelhantes, apresentando um desvio no consumo dos meses de maio, junho e novembro, como nos mostra o gráfico 42.

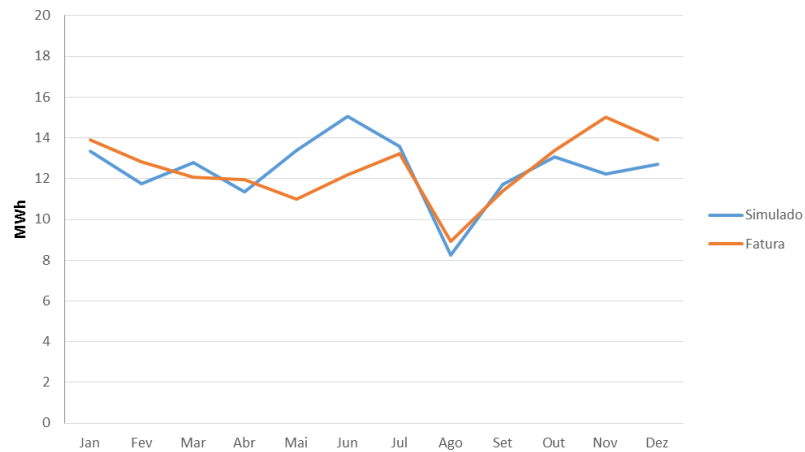


Gráfico 42 – Energia consumida mensal simulado Vs Fatura.

O consumo de energia do edifício, por utilização, está expressa no gráfico 43:

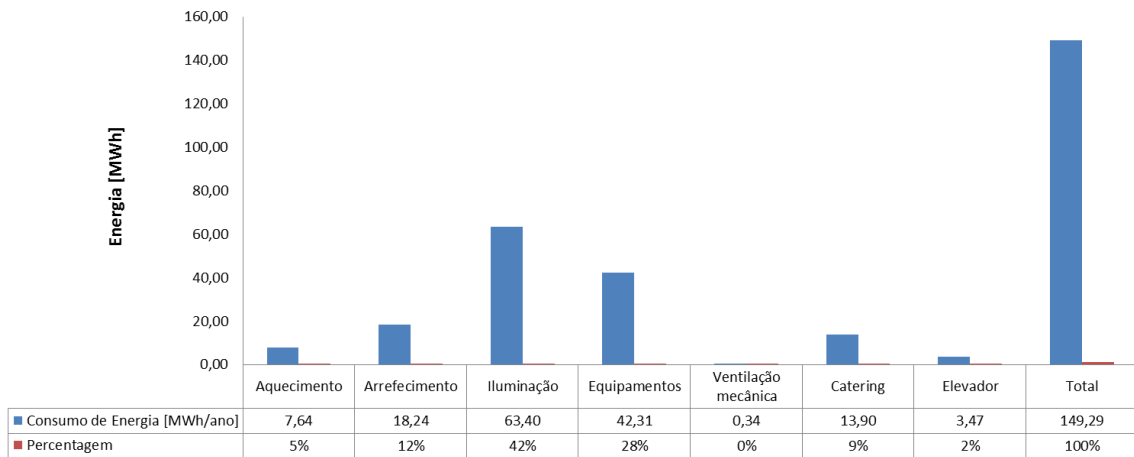


Gráfico 43 - Consumos de energia por utilização obtidos por simulação real do ISPGaya.

4 Anteprojeto do edifício tendo como base NZEB

Este capítulo será direcionado para estudo da aplicação do conceito Net Zero Energy Building ao edifício ISPGaya (existente).

Este estudo deverá assentar em dois pilares essenciais para alcançar o NZEB, nomeadamente na redução drástica nas necessidades energéticas do edifício e em simultâneo, o consumo de energia do edifício ser compensado através de produção de energia de fontes renováveis.

Para o efeito, será proposto um conjunto de estratégias e combinações de abordagens passivas, sistemas eficientes de energia e produção de energias renováveis, com vista a alcançar o NZEB.

4.1 Abordagens Passivas

A colocação de isolamento térmico na envolvente do edifício permite poupar energia na componente aquecimento e arrefecimento do ambiente interior.

O isolamento pode ser colocado pelo interior ou pelo exterior.

Pelo exterior da fachada, deverá ser colocado com uma camada de revestimento por forma a proteger o isolante. Esta técnica é muito mais eficaz na redução das pontes térmicas em relação ao isolamento térmico pelo interior e na caixa-de-ar, devido a não existir interrupções no isolante. No entanto, esta técnica produz custos mais elevados que as restantes soluções.

Neste sentido, a primeira alteração na simulação será efetuada na envolvente, nomeadamente nas paredes exteriores, cobertura e pavimento, no sentido de se obter um melhor coeficiente de transmissão térmico U.

Nas paredes exteriores será colocado, pelo interior, lã de rocha, com uma espessura de 10 cm e pladur de 1,5cm [37].

Na cobertura será colocado, pelo exterior, isolamento térmico, constituído por 10 cm poliestireno extrudido (XPS), com uma proteção de lajetas como as existentes sobre o isolamento .

No pavimento será colocado, pelo exterior, aplicação de isolamento térmico, constituído por 10 cm poliestireno expandido moldado (EPS), numa solução tipo “capotto”.

Com estas alterações, surgiram novos valores de coeficiente de transmissão térmica na envolvente, como nos mostra a tabela 14.

Solução construtiva	U [W/(m ² .°C)]
Paredes exteriores	0,29
Cobertura	0,32
Pavimento	0,33

Tabela 14 - Novos valores de U, com isolamento térmico de 10 cm.

O cenário descrito utilizado na simulação designar-se-à **IT**.

4.2 Medidas de eficiência energética

A eficiência energética pode ser definida como a redução de consumos mantendo os mesmos serviços [66].

As reduções dos consumos de energia nos equipamentos existentes e na iluminação, são fundamentais para a redução das necessidades energéticas do edifício.

Neste sentido, foram propostos diversas medidas de eficiência energética, no âmbito da iluminação, com a alteração de todas as lâmpadas para tecnologia LED, colocação de sistemas de controlo da iluminação pela luz natural e substituição de equipamento altamente eficiente, nomeadamente monitores e unidades de climatização.

Estas alterações, permite-nos poupar energia consumida na iluminação e equipamentos, que representam cerca de 79% do consumo total do edifício.

4.2.1 Iluminação

A iluminação no edifício ISPGaya representa cerca de 42% dos consumos globais, com uma potência instalada de 35,99 kW.

Com a substituição de todas as lâmpadas para tecnologia LED, a potência instalada baixa drasticamente para 14,48 kW, cerca de 60% menos.

As lâmpadas alvo de substituição estão discriminadas na tabela abaixo:

Lâmpadas a substituir	Qnt
Fuorescentes T8 [36W]	245
F. Compactas [13W]	84
F Compactas [26W]	882
F. Compactas [27W]	12

Tabela 15 - Lâmpadas alvo de substituição.

As Lâmpadas fluorescentes T8, com balastro ferromagnético, serão alvo de substituição por lâmpadas de tecnologia LED, T8 de 20W.

As lâmpadas Fluorescentes compactas de 13W e 26W, de casquilho gx24q, equipadas com balastro eletrónico, serão alvo de substituição por lâmpadas de tecnologia LED, com o mesmo sistema de encaixe (casquilho gx24q), de 6W e 10W respetivamente.

As lâmpadas na zona envidraçada da biblioteca, fluorescentes compactas de 27W, de casquilho E27, vão ser substituídas por lâmpadas LED, de 6W.

Estas soluções apresentam inúmeras vantagens, visto não ser necessário alterar luminárias e excluir qualquer tipo de balastro, adotando única e exclusivamente por substituição de lâmpadas.

Com este novo sistema, a densidade (W/m²) nas zonas térmicas irão melhorar substancialmente como mostra a tabela 16.

Zona Térmica	Área [m ²]	Piso	Nº Lâmpadas	Tipo de lâmpada	P [lâmpada] (W)	P [TOTAL] (W)	Densidade (W/m ²)		
Lab 1	154,46	1	65	LED [T8]	20	1300	8,42		
Lab 2	95,2		50		20	1000	10,50		
Lab 3	78,17		28		20	560	7,16		
Auditório	166,21		56	LED [gx24q]	10	560	3,37		
Arrumos	19,27		8		10	80	4,15		
Circulação 1	95,41		30	LED [gx24q]	10	300	3,14		
Circulação 2	12,23		2		6	12	0,98		
Escadas	18,65		6		6	36	1,93		
Área Técnica	10,80		6	LED [T8]	10	60	5,56		
Sala Professores	78,43		2	37	LED [T8]	20	740	9,44	
Associação de estudantes	57,85			24		20	480	8,30	
DataCenter	57,44			12		20	240	4,18	
Snack-Bar	160,5			29		20	580	3,61	
Armazem	42,37	16		LED [gx24q]	10	160	5,66		
		8			10	80			
Circulação	104,05	20			10	200	1,92		
Sanitários	33,03	24			6	144	4,36		
Área Técnica	10,23	6		LED [T8]	10	60	5,87		
Recepção	79,62	3		46	LED [gx24q]	10	460	5,78	
Secretaria	53,64		16	10		160	2,98		
Salas Coordenação	67,87		46	10		460	6,78		
Sala Informática	31,14		13	10		130	4,17		
Sala Direção	74,06		24	10		240	3,24		
Sanitários	12,24		10	6		60	4,90		
Escadas	17,92		14	10		140	7,81		
Entrada	25		16	10		160	6,40		
Circulação	40,48		16	10		160	3,95		
Área Técnica	9,9		6	LED [T8]		10	60	6,06	
Sala aula 401	74,94		4	40		LED [gx24q]	10	400	5,34
Sala aula 402_3_4_6	172,03			106			10	1060	6,16
Sala aula 405	27,86			16			10	160	5,74
Sanitários	34,75	26		6	156		4,49		
Circulação	64,68	26		10	260		4,02		
Escadas	18,37	6		10	60		3,27		
Área Técnica	11,12	6		LED [T8]	10	60	5,40		
Sala aula 501	73,71	5	40	LED [gx24q]	10	400	5,43		
Sala aulas 502_3_4_6	174,16		106		10	1060	6,09		
Sala aula 505	28,05		16		10	160	5,70		
Circulação	59,22		14		10	140	2,36		
Escadas	17,11		8		10	80	4,68		
Área Técnica	10,85		6	LED [T8]	10	60	5,53		
Biblioteca	53,88	6	34	LED [gx24q]	10	340	6,31		
Sala de aula 602_3_4	109,18		72		10	720	6,59		
Sala Docentes	28,05		22		10	220	7,84		
Biblioteca envidraçada	77,73		12		6	72	0,93		
Circulação 3	66,31		18		10	180	2,71		
Escadas	17,11		8		10	80	4,68		
Área Técnica	10,85		6		LED [T8]	10	60	5,53	
Casa das máquinas	22,72		Cobertura	2	LED [gx24q]	26	52	2,29	
Escadas	20,3	8		10		80	3,94		

Tabela 16 - Densidade por zona térmica, com lâmpadas de tecnologia LED.

O cenário descrito utilizado na simulação designar-se-à **LED**.

4.3 Sistema de controlo de iluminação por luz natural

O edifício do ISPGaya apresenta um défice relativo ao controlo de iluminação através de deteção de presença e comutação por luz natural.

No entanto, o edifício dispõe de uma grande área de vãos envidraçados, podendo ser aproveitado grandes quantidades de luz natural, reduzindo o consumo do edifício.

Com a introdução de sensores de dupla funcionalidade, deteção de movimento e fotocélula inibidora que evita que as luzes se acendam quando há suficiente entrada de luz solar, o edifício permite reduzir custos com a fatura energética [57].

O sensor a utilizar será o Detetor *OccuSwitch Wireless* da Philips [57], nas seguintes zonas térmicas:

Piso 1: Lab1

Piso 2: Snack Bar

Piso 3: Entrada, Recepção, Sala Coordenação, Sala Direção e Sala Informática

Piso 4,5 e 6: Em todas as Zonas Térmicas.

Apesar este detetor ser mais rentável em locais com exposição solar, será utilizado, também, em todas as zonas de Circulação e Sanitários.

O cenário descrito utilizado na simulação designar-se-à **DI**.

4.4 Substituição de equipamento

O equipamento instalado no edifício ISPGaya representa aproximadamente 36% do consumo total do edifício. Neste contexto, existe um grande potencial de poupança energética na substituição de alguns equipamentos.

O site da ENERGY Star [31] contém uma base de dados de uma grande variedade de equipamentos altamente eficientes que cumprem as normas de eficiência energética estipuladas pela agência Norte-Americana de Proteção ambiental – EPA (*US Environmental Protection Agency*) e pelo Departamento de energia dos Estados Unidos – DOE (*Department of Energy*).

Outro lugar de informação (*Topten International Group*) [79], englobada no âmbito do programa europeu *Intelligent Energy Europe Programme* – IEEP, descreve os produtos mais eficientes disponíveis em vários países da zona euro.

Na pesquisa efetuada a estas duas fontes permitiram identificar várias soluções, nomeadamente para sistemas de ar condicionado e monitores para computadores.

Os equipamentos alvo a substituir são os seguintes:

Equipamento a substituir	Qnt	Equipamento proposto	Consumo(W)
Monitores	110	Monitor Philips 19B4LCS5, de alta eficiência	14

Tabela 17 - monitores a substituir.

Equipamento a substituir	Qnt	Equipamento proposto	COP	EER
Monoslipt até 4KW	30	Sistema Ar Condicionado Mitsubishi Electric (MSZ-FH25VE)	5,1	9,1
Monoslipt entre 4-6KW	13	Sistema Ar Condicionado Mitsubishi Electric (MSZ-SF42VE)	4,4	7,5
Monoslipt 10KW	2	Sistema Ar Condicionado Daikin (FCQHG100F)	4,3	6,7

Tabela 18 – Unidades de climatização a substituir.

O cenário descrito utilizado na simulação designar-se-à **SEQ**.

4.5 Produção de Energias Por fonte renovável

No edifício ISPGaya existe um sistema fotovoltaico com ligação à rede, composto por 22 painéis solares, da marca *GE Energy* GEPVp-200-MAS de 200W, com uma produção anual de 6,003 MWh. Apesar de todas as medidas passivas e de eficiência energética, com uma redução drástica nas necessidades do edifício, o valor produzido atualmente não chega para o balanço energético ser nulo.

Optando por mais sistemas fotovoltaicos para produção de energia, deparamo-nos com insuficiente espaço, nomeadamente na cobertura.

Será necessário a utilização das fachadas do edifício para a colocação dos sistemas fotovoltaicos, obtendo assim a seguinte área livre:

- Fachada sul, 65m² ;
- Fachada Oeste, 194m² ;
- Fachada Este, 171m² ;
- Fachada norte, 80m² ;

Na cobertura ainda será viável a utilização de 40m², visto ser o local mais rentável de todos.

Em sentido oposto, só será utilizado a fachada norte do edifício, em ultimo reduto, visto apresentar rentabilidades medíocres.

O cenário descrito utilizado na simulação designar-se-à **PF**.

5 Validação das especificações definidas em 4

Neste capítulo vai-se fazer análise das alterações preconizadas em 4, alterando no software *DesignBuilder*, o modelo criado no edifício em estudo para estas novas soluções, no sentido de chegar a valores de necessidades energéticas bastantes inferiores aos consumos atuais.

Ainda não existe um consenso generalizado sobre o conceito NZEB, mais concretamente sobre o tipo de consumo a contabilizar e qual o limite estipulado para esses consumos (em kWh/m²/ano). No entanto, todas as definições apontam para que a produção de energia renovável cubra as “baixas” necessidades energéticas do edifício, provenientes de abordagens passivas e sistemas de energia eficientes [4].

Os resultados previstos nas várias abordagens, ora individualmente, ora através de combinações entre si, estão representados abaixo:

5.1 Colocação de isolamento térmico

Com a colocação de isolamento térmico, de espessura de 10cm, nas paredes exteriores, cobertura e pavimento, o resultado obtido, na simulação, foi o seguinte:

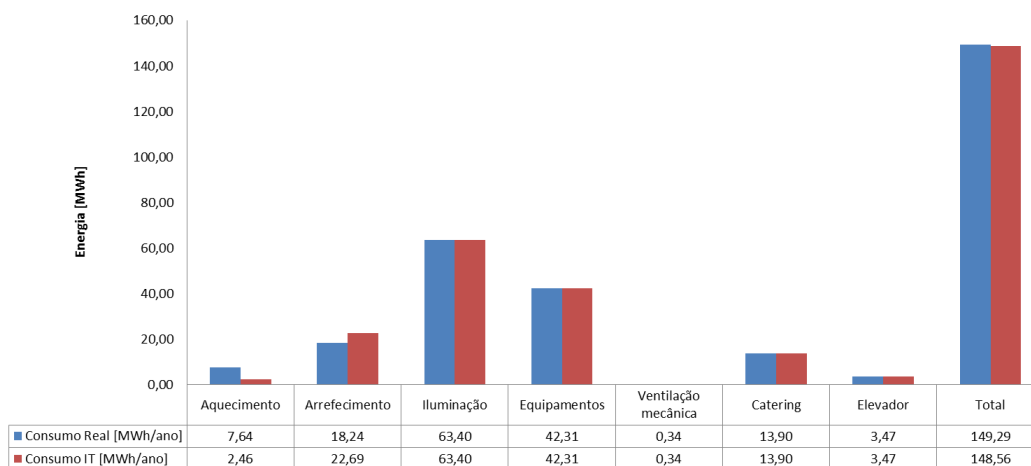


Gráfico 44 - Consumo com colocação de isolamento térmico (adaptado de [21]).

Esta medida traduz um melhoramento, em percentagem, no consumo de energia no aquecimento, de 67,8%. No entanto, no consumo global do edifício notou-se um ligeiro melhoramento de 0,69 MWh. Esta resistência na descida no consumo global de energia, deve-se em grande parte aos ganhos internos térmicos obtidos pelas zonas LAB1, LAB2, LAB3, Sala aula 402_3_4_6, Sala aulas 502_3_4_6 e Sala de aula 602_3_4, provocando um aumento de consumo de arrefecimento de 24%.

5.2 Substituição de lâmpadas

A medida preconizada será a substituição de todas as lâmpadas para tecnologia LED. Esta abordagem apresenta excelentes resultados na simulação, conforme gráfico 45.

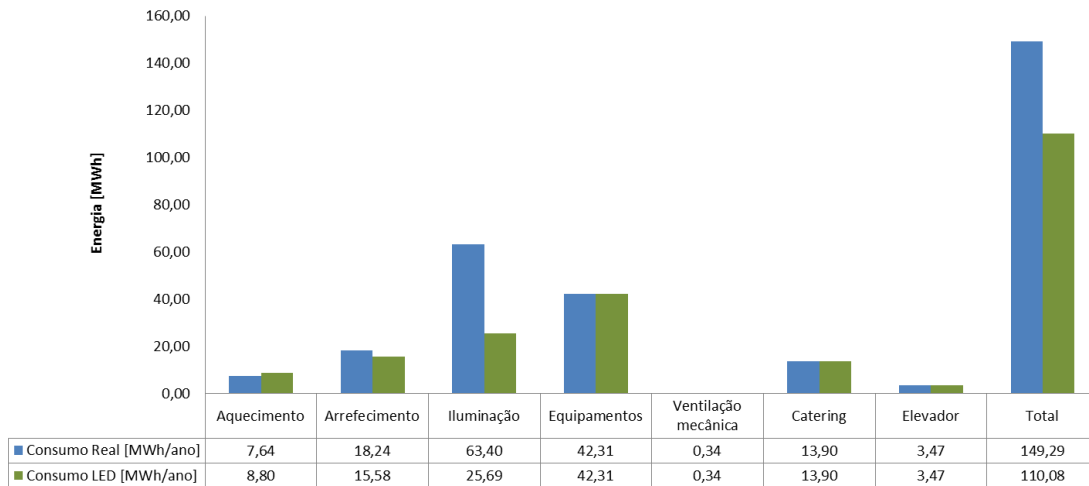


Gráfico 45- Substituição de lâmpadas para tecnologia LED (adaptado de [21]).

As necessidades de consumo do edifício relativamente à iluminação reduzem 59,5%, produzindo menos ganhos térmicos, traduzindo-se num menor consumo no binómio aquecimento/ arrefecimento.

O edifício com esta abordagem consome menos 39,21 MWh/ano.

5.3 Colocação de sensores

Com a colocação de detetores *OccuSwitch Wireless*, da Philips, nas zonas térmicas descritas em 4.2.2, no edifício, obtiveram-se os resultados de acordo com o gráfico 46:

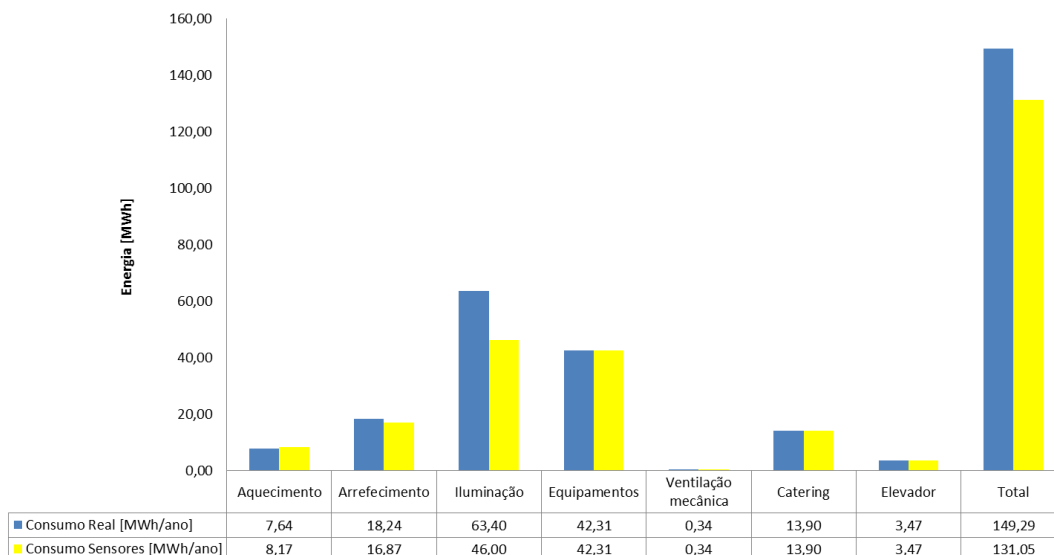


Gráfico 46 - Abordagem colocação sensores (adaptado de [21]).

Nota-se um consumo menor de cerca de 27% na componente iluminação. O edifício com esta abordagem consome menos 18,24 MWh/ano.

5.4 Substituição de equipamento

Com a substituição das unidades de climatização e monitores, por aparelhos de elevada eficiência energética, conforme descrito em 4.2.3, obteve-se os resultados de acordo com gráfico 47:

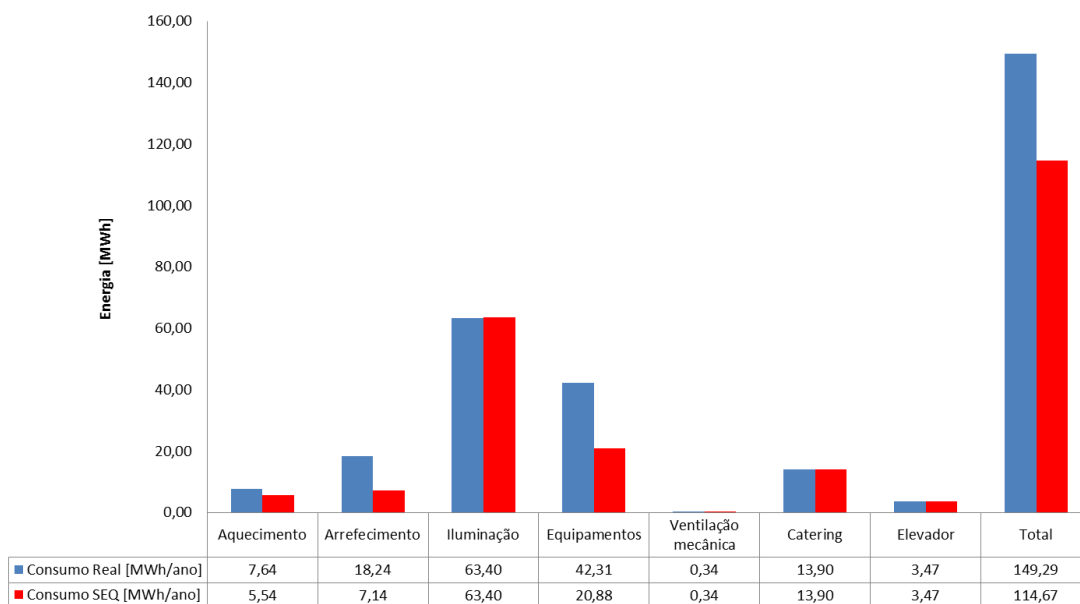


Gráfico 47 - Abordagem substituição de equipamentos (adaptado de [21]).

O consumo dos equipamentos e do AVAC decresceu cerca de 50%, devido à melhor eficiência dos monitores e sistemas de climatização (COP e EER).

5.5 Combinação de abordagens

Para uma melhor percepção das diferentes combinações, foram criados dois cenários. O cenário A, referente a todas as combinações expostas anteriormente, menos a colocação de isolamento térmico e o cenário B, composto por todas as medidas, incluindo o isolamento térmico.

5.5.1 Cenário A

Com as abordagens de eficiência energética, substituição de lâmpadas, colocação de sensores e substituição de monitores e unidades de climatização de alta eficiência, o resultado alcançado na simulação está representado no gráfico 48:

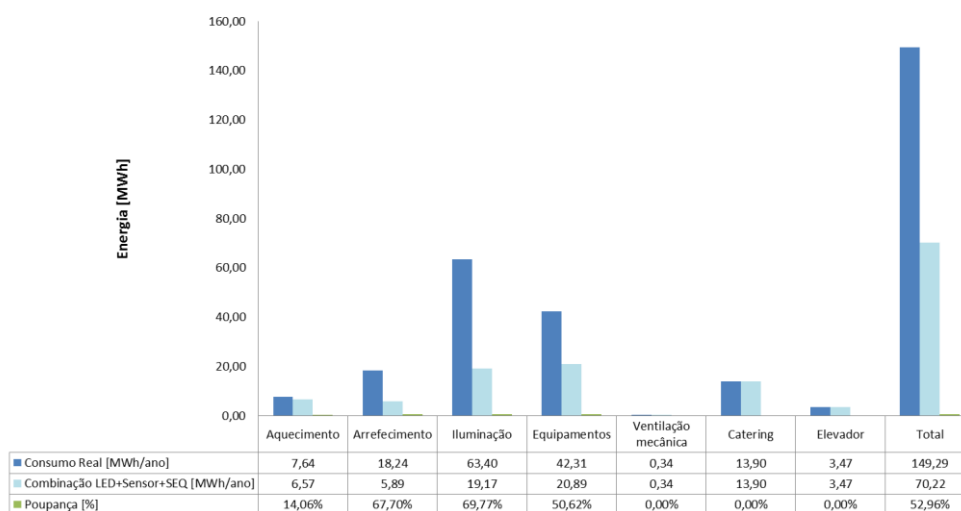


Gráfico 48 - Abordagem cenário A (adaptado de [21]).

Este cenário representa uma necessidade de consumo energético do edifício em menos de metade, 52,96%.

5.5.2 Cenário B

O incremento do isolamento térmico nas medidas de eficiência energética, levam o edifício a ligeiro melhoramento no consumo energético do edifício, nomeadamente na componente de aquecimento, como nos mostra a figura 49.

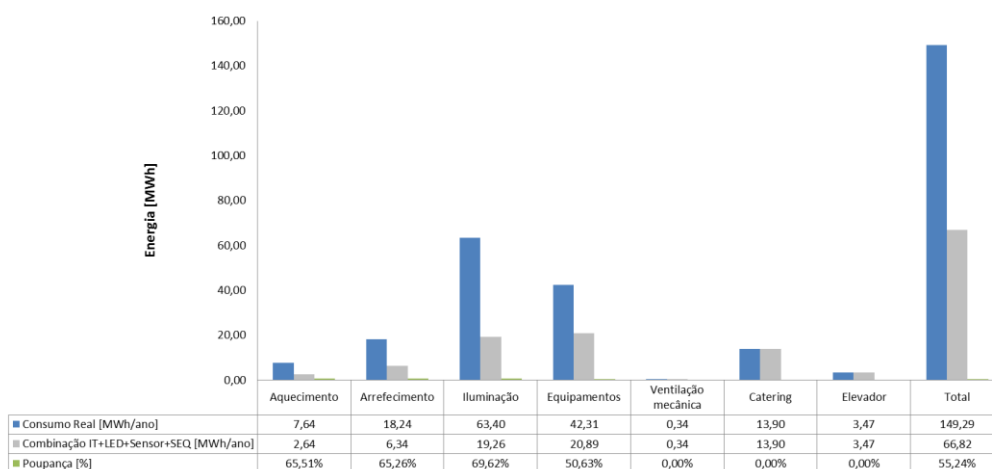


Gráfico 49 - Abordagem cenário B (adaptado de [21]).

O cenário B apresenta uma poupança de 55,24% do consumo total do edifício. A colocação de isolamento térmico apresenta um ganho relativo ao cenário A de 3,4 MWh /ano.

5.6 Utilização de energias renováveis

Conforme descrito no ponto 5.2, o edifício no cenário A apresenta necessidades energéticas de 70,22 MWh/ano e no cenário B de 66,82 MWh /ano.

Com a produção de energia elétrica existente de 6,00 MWh/ano, o edifício ainda apresenta um défice entre 64,22 MWh/ano e 60,82 MWh/ano, consoante os cenários, para o balanço energético do edifício ser nulo.

A energia renovável eleita para o balanço energético zero do edifício, será a energia solar fotovoltaica.

5.6.1 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos podem ser isolados ou ligados à rede elétrica. O dimensionamento para um sistema isolado torna-se mais complexo devido à sua autonomia. A energia produzida por um painel, varia consoante os meses do ano, levando nos meses de inverno a poder por em causa a sua viabilidade. Para resolver esta questão, utilizam-se sistemas de armazenamento de energia, nomeadamente baterias. No entanto, a tecnologia atual além de ser cara, obriga a uma ocupação de espaços enormes. Os sistemas ligados à rede elétrica não necessitam de armazenamento de energia, visto quando necessário, a própria rede fornece.

5.6.1.1 Painel a considerar

As especificações técnicas de um painel fotovoltaico são muito importantes para o cálculo da energia produzida. Painéis com potências iguais, mas com diferenças nas características elétricas, mecânicas e térmicas, levam a produções de energia discrepantes.

O painel escolhido para o estudo é o **STP230-20/Wd** da Suntech [77].

5.6.1.2 Inversor a considerar

O inversor tem como função básica a conexão à rede elétrica mas também transforma a corrente contínua em corrente alternada e decide quando deve injetar na rede a energia produzida.

Um inversor DC/AC deve possuir determinadas qualidades, nomeadamente:

- Arranque automático
- Sinalização adequada
- Segurança
- Baixa distorção de harmónicos
- Eficiência bastante razoável
- Capacidade de resistir a picos de potência
- Estabilização da tensão
- Possibilidade de ligação em paralelo com mais inversores

Um dos aspetos mais importante na escolha de um inversor, tem a ver com a sua eficiência de conversão, ou seja, o seu rendimento.

$$\eta = \frac{\text{Potência de saída efectiva}(P_{AC})}{\text{Potência de entrada efectiva}(P_{DC})} \quad (1)$$

Para a escolha do inversor será necessário saber os seguintes dados:

- Potência máxima dos painéis, em corrente contínua [$P_{maxPAINEIS}$]
- Tensão máxima das séries dos painéis [$U_{MaxSERIE}$]
- Número de strings [$N_{STRINGS}$]
- Potência de saída em corrente alternada [$P_{SaídaAC}$]

O inversor escolhido para o estudo é o **SMA SB 3300**, com um fator de eficiência de 95% [74].

5.6.1.3 Energia produzida por um painel

Para o cálculo da energia produzida pelos painéis fotovoltaico teve-se em consideração as seguintes fórmulas:

$$E_{dia_inv}(Wh) = \frac{Ht(Wh/m^2/d)}{1000(W/m^2)} \times I_{m_max} \times V_{m_max} \times \eta_{sistema} \quad (2)$$

$$I_{max}(T_C) = I_{max}(25^\circ) \times (1 + \alpha \times (T_C - 25)) \quad (3)$$

$$T_C = T_a + E \times \frac{NOCT - 20}{800} \quad (4)$$

$$V_{max}(T_C) = V_{max}(25^\circ) \times (1 - \beta \times (T_C - 25)) \quad (5)$$

A radiação global diária no plano do painel (Ht) É dado através do site *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS) [58], com a localização em Vila Nova de Gaia.

A energia diária produzida pelo painel (E_{dia_inv}), a corrente máxima do painel (I_{m_max}), a tensão máxima do painel (V_{m_max}) e a temperatura da célula, a partir da temperatura ambiente (T_c) é calculada através das expressões acima referidas. (2)(3)(4)(5)

O rendimento do sistema ($\eta_{sistema}$) é o rendimento do inversor, retirado das especificações técnicas [74], mais as perdas existentes nos equipamentos do sistema, nomeadamente nos cabos elétricos.

A tensão máxima de operação ($V_{max}(25^\circ)$), a intensidade máxima de operação ($I_{max}(25^\circ)$), as características térmicas (α e β) e o NOCT são retirados das especificações técnicas do painel [77].

5.6.2 Fachada sul do edifício

O edifício apresenta cerca de 65m² de área disponível para a colocação de 42 painéis fotovoltaicos.

O espaço livre está representado a azul, na figura 22.

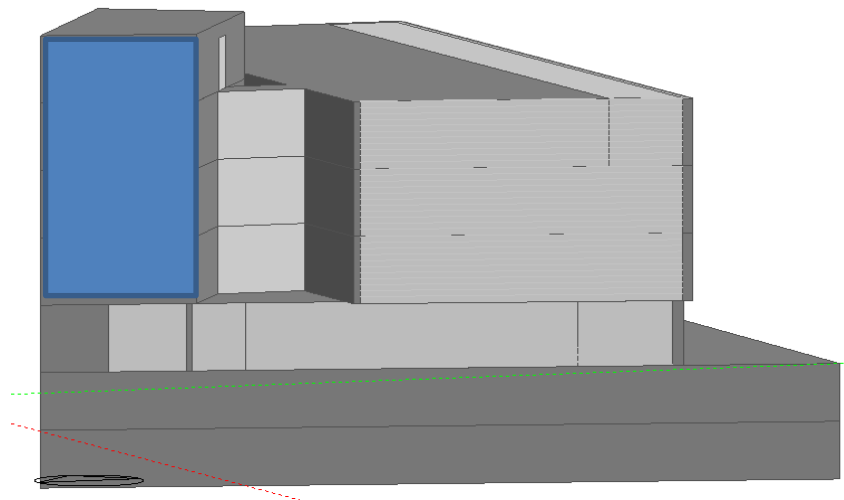


Figura 22 - Localização dos painéis fotovoltaicos na fachada sul.

De acordo com as formulas em 5.6.1.3, a produção mensal dos painéis fotovoltaicos, está representada no gráfico 50.



Gráfico 50 - Produção de energia na fachada sul.

A produção anual dos painéis atinge os **11 095,01 kWh /ano.**

O cenário descrito utilizado na simulação designar-se-à **PF1.**

5.6.3 Fachada oeste do edifício

O edifício apresenta cerca de 194m² de área disponível para a colocação de 122 painéis fotovoltaicos.

O espaço em causa está representado a azul, na figura 23:

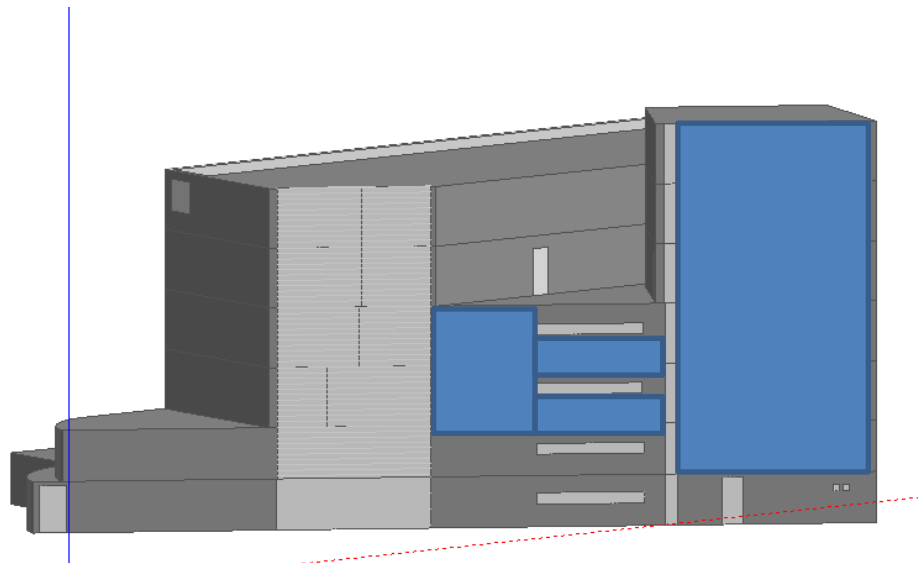


Figura 23 - Localização dos painéis fotovoltaicos na fachada oeste.

De acordo com as formulas em 5.6.1.3, a produção mensal dos painéis fotovoltaicos, está representada no gráfico 51.

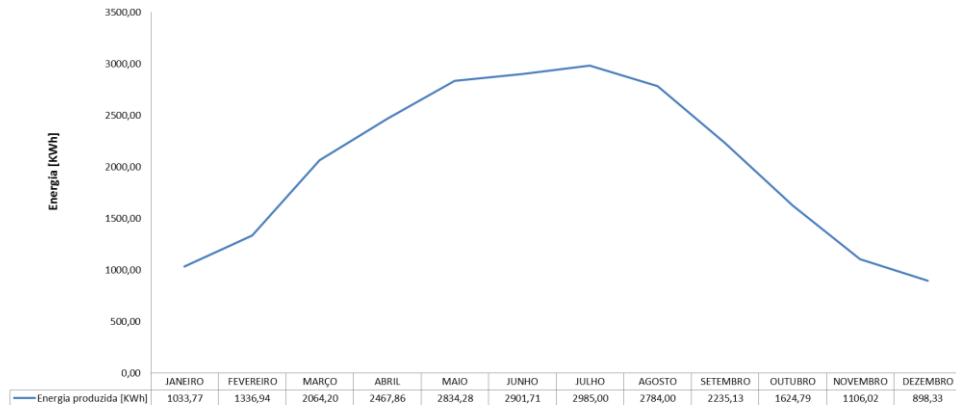


Gráfico 51 - Produção de energia na fachada Oeste.

A produção anual dos painéis é de **24 272,04 kWh**.

O cenário descrito utilizado na simulação designar-se-à **PF2**.

5.6.4 Fachada este do edifício

O edifício apresenta cerca de 171m² de área disponível para a colocação de 108 painéis fotovoltaicos.

O espaço em causa está representado a azul, na figura 24.

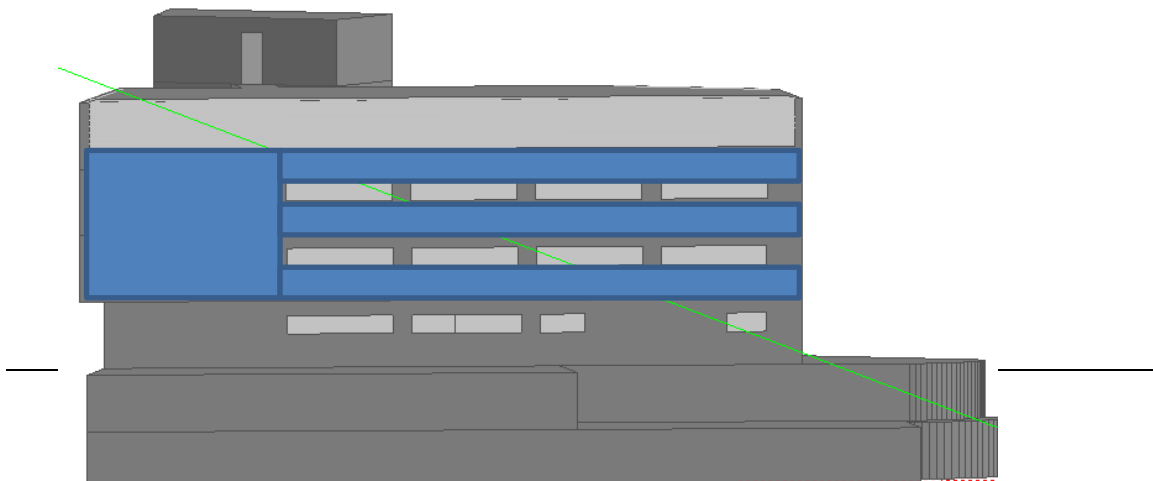


Figura 24 - Localização dos painéis fotovoltaicos na fachada este.

De acordo com as formulas em 5.6.1.3, a produção mensal dos painéis fotovoltaicos, está representada no gráfico 52.

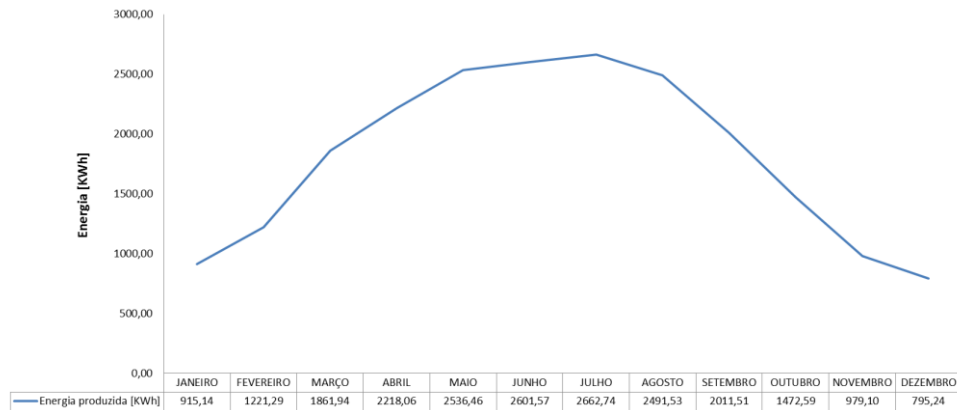


Gráfico 52 - Produção de energia na fachada este.

A produção anual dos painéis é de **21 767,17 kWh**.

O cenário descrito utilizado na simulação designar-se-à **PF3**.

5.6.5 Fachada Norte do edifício

O edifício apresenta cerca de 80m² de área disponível para a colocação de 58 painéis fotovoltaicos.

O espaço em causa está representado a azul na figura 25:

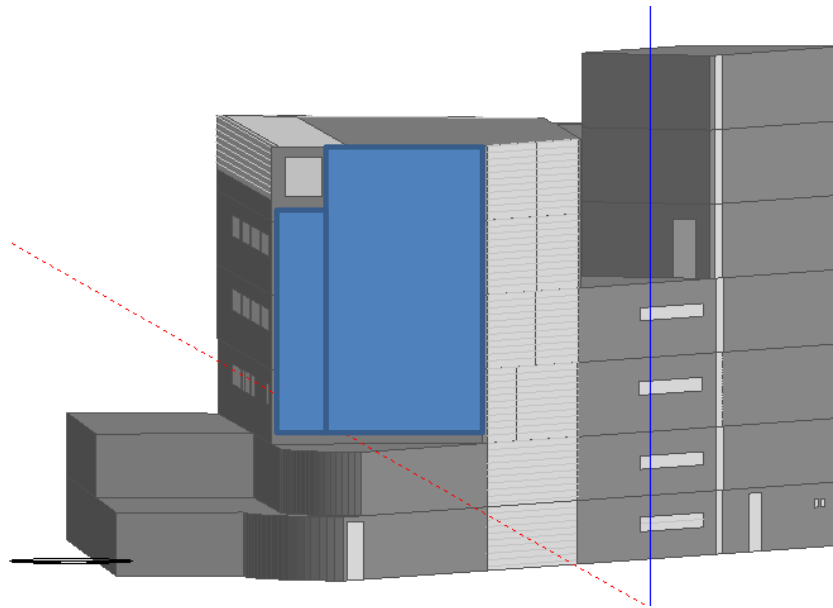


Figura 25 - Localização dos painéis fotovoltaicos na fachada norte.

De acordo com as formulas em 5.6.1.3, a produção mensal dos painéis fotovoltaicos, está representada no gráfico 53.

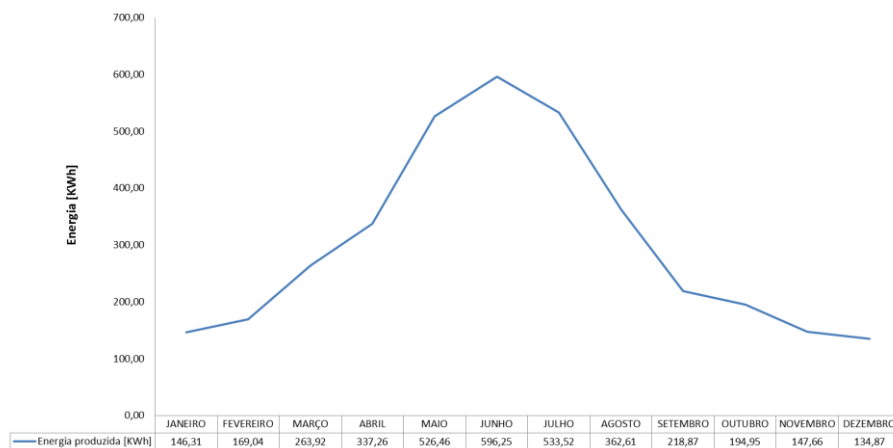


Gráfico 53 - Produção de energia na fachada norte.

A produção anual dos painéis é de **3 631,74 kWh**

O cenário descrito utilizado na simulação designar-se-à **PF4**.

5.6.6 Cobertura do edifício

O edifício ainda apresenta cerca de 40m² de área disponível para a colocação de 28 painéis fotovoltaicos.

O espaço em causa está representado a azul na figura 26.

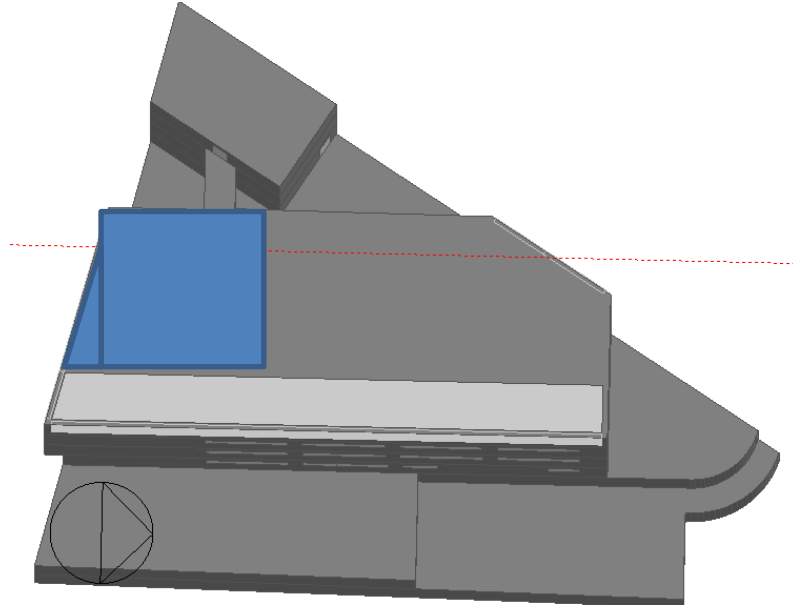


Figura 26 - Localização dos painéis fotovoltaicos na cobertura.

De acordo com as formulas em 5.6.1.3, a produção mensal dos painéis fotovoltaicos, está representada no gráfico 54:

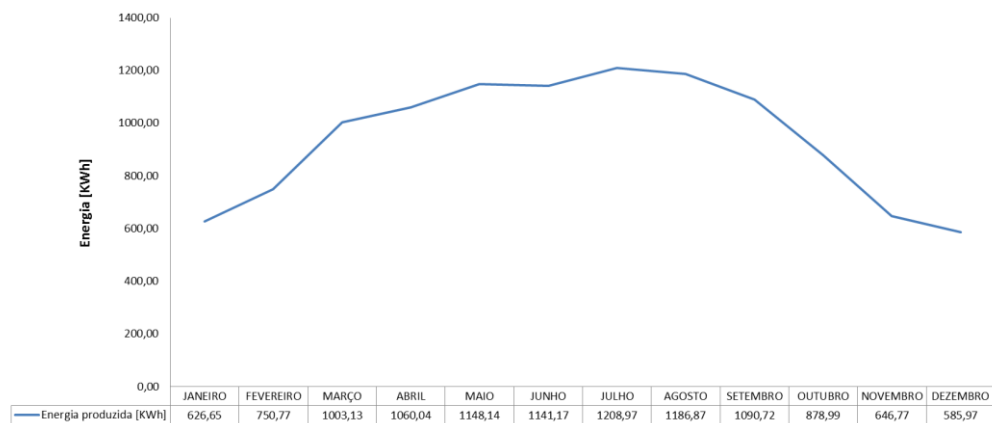


Gráfico 54- Produção de energia na cobertura.

A produção anual dos painéis é de **11 328,2 kWh**.

O cenário descrito utilizado na simulação designar-se-à **PF5**.

5.7 Balanço Energético do edifício ISPGaya

O balanço energético do edifício será obtido após aplicação de medidas passivas e de eficiência energética, com as reduzida necessidade de utilização de energia, que ainda resta, ser suprida por energias renováveis [62].

Através de medidas passivas e de eficiência energética, o edifício consegue diminuir entre 52 a 55% as suas necessidades de consumo de energia, conforme se opte por o cenário A ou B.

Os valores obtidos nos dois cenários são os seguintes:

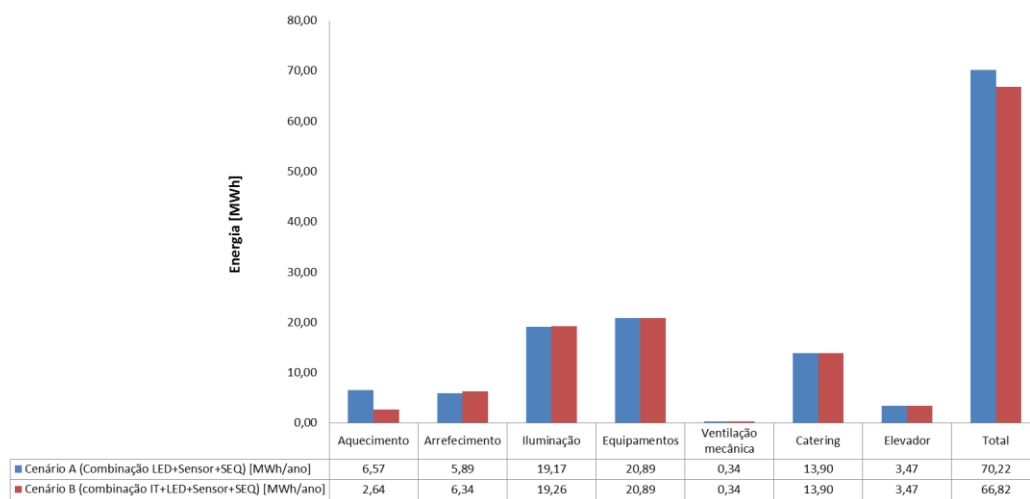


Gráfico 55- Comparação cenário A Vs cenário B.

Com o aproveitamento da cobertura e fachadas do edifício, consegue-se produzir energia suficiente a obter um balanço energético zero.

Designação	Referencia	Quant. Paineis	Produção [MWh/ano]
Colocação de paineis fotovoltaicos na Fachada Sul	PF1	42	11,10
Colocação de paineis fotovoltaicos na Fachada Oeste	PF2	122	24,27
Colocação de paineis fotovoltaicos na Fachada Este	PF3	108	21,77
Colocação de paineis fotovoltaicos na Fachada Norte	PF4	58	3,63
Colocação de paineis fotovoltaicos na cobertura	PF5	28	11,33
Paineis fotovoltaicos existentes na cobertura	---	22	6
Total			78,09

Tabela 19 - Produção anual fotovoltaica do edifício ISPGaya com alterações.

Com o aproveitamento das fachadas do edifício consegue-se produzir energia suficiente para as necessidades de utilização do edifício.

6 Análise técnica e financeira

Apos terem sido criados dois cenários (A e B) com medidas para que as necessidades de consumo do edifício sejam inferiores e cinco possibilidades de produção de energia com sistemas fotovoltaicos (PF1, PF2, PF3, PF4 e PF5), vamos analisar a viabilidade técnica e financeira na globalidade.

Através das faturas de eletricidade num período de um ano, determinou-se o preço do megawatt hora, pago pelo ISPGaya, que foi de **145,5€**. Este preço é o valor que vai entrar para a análise financeira.

6.1 Viabilidade cenário A

Com todas as medidas preconizadas no cenário A, a análise técnica e financeira é a seguinte:

Abordagem	Qty	Preço Uni [€]	Preço Total [€]	Poupança Anual [MWh]	Poupança Anual [KgCO ₂]	Poupança Anual [€]	Investimento [€]	Período retorno [anos]
Substituição Lâmpada Fluorescente T8 de 36W por Lâmpada LED T8 20W	245	20,00 €	4 900,00 €	39,21	5646,24	5 705,06 €	19 529,20 €	3,4
Substituição Lâmpada Fluorescente compacta (gx24q) de 13W por Lâmpada LED 6W	84	15,00 €	1 260,00 €					
Substituição Lâmpada Fluorescente compacta (E27) de 27W por Lâmpada LED 6W	12	11,60 €	139,20 €					
Substituição Lâmpada Fluorescente compacta (gx24q) de 26W por Lâmpada LED 10W	882	15,00 €	13 230,00 €					
Colocação de sensor OccuSwitch Wireless	72	130,00 €	9 360,00 €	18,24	2626,56	2 653,92 €	9 360,00 €	3,5
Monitores existentes por Monitor Philips 19B4LCS5, de alta eficiência 14W	110	194,00 €	21 340,00 €	34,62	4985,28	5 037,21 €	84 440,00 €	16,8
Monoslipt até 4KW, por sistema ar condicionado Mitsubishi Electric (MSZ-FH25VE)	30	1 200,00 €	36 000,00 €					
Monoslipt entre 4-6KW, por sistema ar condicionado Mitsubishi Electric (MSZ-SF42VE)	13	1 500,00 €	19 500,00 €					
Monoslipt 10KW, por sistema ar condicionado Daikin (FCQHG100F)	2	3 800,00 €	7 600,00 €					
O impacto combinado das várias abordagens é inferior à soma das várias abordagens isoladas.								
Combinação de todas as abordagens	----	----	----	79,07	11386,08	11 504,69 €	113 329,20 €	9,9

Tabela 20 - Análise técnica e financeira (cenário A)

Esta solução apresenta um período de retorno na ordem de 10 anos. Se olhar-mos para o período de vida útil do edifício, esta solução é de grande valor.

6.2 Viabilidade cenário B

Com todas as medidas preconizadas no cenário B, a análise técnica e financeira é a seguinte:

Abordagem	Qty	Preço Uni [€]	Preço Total [€]	Poupança Anual [MWh]	Poupança Anual [KgCO ₂]	Poupança Anual [€]	Investimento [€]	Período retorno [anos]
Colocação Isolamento Térmico paredes Exteriores	1120	35,00 €	39 200,00 €	0,73	105,12	106,21 €	84 875,00 €	799,1
Colocação Isolamento Térmico cobertura	364	45,00 €	16 380,00 €					
Colocação Isolamento Térmico pavimento	651	45,00 €	29 295,00 €					
Substituição Lâmpada Fluorescente T8 de 36W por Lâmpada LED T8 20W	245	20,00 €	4 900,00 €	39,21	5646,24	5 705,06 €	19 529,20 €	3,4
Substituição Lâmpada Fluorescente compacta (gx24q) de 13W por Lâmpada LED 6W	84	15,00 €	1 260,00 €					
Substituição Lâmpada Fluorescente compacta (E27) de 27W por Lâmpada LED 6W	12	11,60 €	139,20 €					
Substituição Lâmpada Fluorescente compacta (gx24q) de 26W por Lâmpada LED 10W	882	15,00 €	13 230,00 €					
Colocação de sensor OccuSwitch Wireless	72	130,00 €	9 360,00 €	18,24	2626,56	2 653,92 €	9 360,00 €	3,5
Monitores existentes por Monitor Philips 19B4LCS5, de alta eficiência 14W	110	194,00 €	21 340,00 €	34,62	4985,28	5 037,21 €	84 440,00 €	16,8
Monosplit até 4KW, por sistema ar condicionado Mitsubishi Electric (MSZ-FH25VE)	30	1 200,00 €	36 000,00 €					
Monosplit entre 4-6KW, por sistema ar condicionado Mitsubishi Electric (MSZ-SF42VE)	13	1 500,00 €	19 500,00 €					
Monosplit 10KW, por sistema ar condicionado Daikin (FCQHG100F)	2	3 800,00 €	7 600,00 €					
O impacto combinado das várias abordagens é inferior à soma das várias abordagens isoladas.								
Combinação de todas as abordagens	----	----	----	82,47	11875,68	11 999,39 €	198 204,20 €	16,5

Tabela 21 - Análise técnica e financeiro cenário B.

Comparativamente com o cenário A, esta solução, em termos económicos, é mais penalizadora, no entanto continua a ser uma solução boa, com um período de retorno de 16 anos e seis meses.

6.3 Viabilidade colocação de painéis fotovoltaicos.

Para o cálculo do investimento e por extrapolação dos orçamentos de instalação dos painéis solares fotovoltaicos, calculou-se o preço de cada painel fotovoltaico, contemplando o peso dos restantes elementos do sistema.

Designação	Referencia	Quant. Painéis	Produção [MWh/ano]	Poupança Anual [KgCO ₂]	Preço Uni	Preço Total	Poupança Anual [€]	Investimento [€]	Período retorno [anos]
Colocação de painéis fotovoltaicos na Fachada Sul	PF1	42	11,10	1597,68	766,25 €	32 182,50 €	1 614,32 €	32 182,50 €	19,9
Colocação de painéis fotovoltaicos na Fachada Oeste	PF2	122	24,27	3495,17	766,25 €	93 482,50 €	3 531,58 €	93 482,50 €	26,5
Colocação de painéis fotovoltaicos na Fachada Este	PF3	108	21,77	3134,47	766,25 €	82 755,00 €	3 167,12 €	82 755,00 €	26,1
Colocação de painéis fotovoltaicos na Fachada Norte	PF4	58	3,63	522,97	766,25 €	44 442,50 €	528,42 €	44 442,50 €	84,1
Colocação de painéis fotovoltaicos na Cobertura	PF5	28	11,33	1631,26	658,75 €	18 445,00 €	1 648,25 €	18 445,00 €	11,2
Total	----	358	72,09	10381,56	---	271 307,50 €	10 489,70 €	271 307,50 €	25,9

Tabela 22 - Análise técnica e financeira na colocação dos painéis fotovoltaicos.

De notar uma discrepância no período de retorno na colocação de painéis fotovoltaicos na fachada norte, relativamente às restantes soluções.

6.4 Solução a implementar para NZEB

Em termos financeiros a melhor opção a implementar será, a não colocação de isolamento térmico no edifício, e na fachada norte a não colocação de painéis solares fotovoltaicos.

No entanto, a não colocação de isolamento térmico na envolvente do edifício, implica que os valores dos coeficientes de transmissão térmica, nomeadamente na cobertura e pavimento não tenham os valores mínimos admissíveis, conforme a portaria nº349-D/2013 de 02 de dezembro. Por esse motivo, a proposta para a implementação no edifício é a do cenário B, como nos mostra a tabela 23.

Abordagem	Poupança Anual [MWh]	Produção Anual [MWh]	Balanço Energético [MWh]	Poupança Anual [KgCO ₂]	Poupança Anual [€]	Investimento [€]	Período retorno [anos]
Combinação de todas as abordagens [Cenário B]	82,47	----	-66,82	11875,68	11 999,39 €	198 204,20 €	16,5
Produção sistemas fotovoltaicos [PF1+PF2+PF3+PF5]	----	68,46	-66,82	9858,24	9 960,93 €	226 865,00 €	22,8
Produção sistema fotovoltaico existente	---	6,00	1,64	---	---	---	---
Total	82,47	74,46	7,64	21733,92	21 960,32 €	425 069,20 €	19,4

Tabela 23 - Solução NZEB edifício ISPGaya.

6.5 Classe energética

De acordo com o Despacho n.º 15793-J/2013 de 3 de dezembro [26], a determinação da classe energética em edifícios de comércio e serviços é dado através do seguinte rácio de classe energética (R_{IEE}):

$$R_{IEE} = (IEE_s - IEE_{REN}) / IEE_{ref,s} \quad (6)$$

Em que:

IEE_s – É o indicador de eficiência energética, obtido de acordo o disposto na tabela 2 do mesmo despacho relativamente ao consumo do tipo S.

$IEE_{ref,s}$ – 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 elétrica e térmica a partir de fontes de energia renováveis.

Para o edifício existente e para a abordagem NZEB, foram calculados os indicadores de eficiência energética, correspondentes à fórmula acima descrita. Para o cálculo da classe energética, de cada caso, foi utilizado a tabela 03 do Despacho n.º 15793-J/2013.

	Edifício existente		NZEB	
		Classe Energética		Classe Energética
IEE_s	64,01	---	20,41	---
IEE_{REN}	4,29		52,90	
$IEE_{ref,s}$	44,96		44,96	
R_{IEE}	1,33	C	-0,74	A ⁺

Tabela 24 - Classe energética edifício existente e abordagem NZEB.

7 Comparação com do projeto com regulamentação e prática em vigor

De acordo com a nova regulamentação nomeadamente a Portaria n.º 349-D/2013 [64], existe uma maior exigência ao nível do desempenho energético dos edifícios. Além de outros elementos, a envolvente, sistemas de climatização e iluminação, são os principais focos desta portaria.

A tabela seguinte compara os valores de coeficientes de transmissão térmica máximo admissível e os valores utilizados na abordagem NZEB.

	NZEB	Reg. Vigor
Solução construtiva	U [W/(m ² .°C)]	U [W/(m ² .°C)]
<i>Paredes exteriores</i>	0,29	0,7
<i>Cobertura</i>	0,32	0,5
<i>Pavimento</i>	0,33	0,5
<i>Vãos envidraçados</i>	2,99	4,3

Tabela 25 - Comparação de U referencia e NZEB [64].

O desempenho das unidades split e multissplit, não podem ter características inferiores às descritas na tabela 26.

A tabela seguinte compara a classe de eficiência, índice de eficiência de energia (EER) e o coeficiente de desempenho (COP) na abordagem NZEB e regulamentação em vigor, de acordo com tabela I.14 da Portaria n.º 349-D/2013.

Tipo de Equipamento	NZEB			Regulamento		
	Classe de eficiência	EER	COP	Classe de eficiência	EER	COP
Monosplit até 4KW	A+++	9,1	5,1	C	3,00 ≥ EER > 2,8	3,4 ≥ COP > 3,2
Monosplit 4-6KW	A++	7,5	4,4	C	3,00 ≥ EER > 2,8	3,4 ≥ COP > 3,2
Monosplit 10KW	A++	6,7	4,3	C	3,00 ≥ EER > 2,8	3,4 ≥ COP > 3,2

Tabela 26 - Comparação da classe de eficiência, EER e COP na abordagem NZEB e regulamentação [64].

Nos sistemas de iluminação, a densidade de potência (DPI) é limitada pelo tipo de espaço e pela sua função.

A tabela seguinte compara a densidade de potência de cada zona térmica na abordagem NZEB e os valores regulamentares em vigor e a norma EN 12464-1.

Zona Térmica	Piso	Em (iluminância média) [lux]	Valores referencia	NZEB	
			DPI [(W/m²)/100lux]	DPI [(W/m²)/100lux]	
Lab 1	1	500	2,8	1,68	
Lab 2		500	2,8	2,10	
Lab 3		500	2,8	1,43	
Auditório		100	2,8	3,37	
Arrumos		100	4	4,15	
Circulação 1		100	4,5	3,14	
Circulação 2		100	4,5	0,98	
Escadas		100	4	1,93	
Área Técnica		100	2,8	5,56	
Sala Professores		2	300	2,8	3,15
Associação de estudantes	300		2,8	2,77	
DataCenter	100		4	4,18	
Snack-Bar	200		4	1,99	
Armazem	200		4	2,08	
Circulação	20		4,5	9,61	
Sanitários	100		4,5	4,36	
Área Técnica	100		4	5,87	
Recepção	3		300	4	1,93
Secretaria			300	2,8	0,99
Salas Coordenação		300	2,8	2,26	
Sala Informática		200	4	4,17	
Sala Direção		300	2,8	2,16	
Sanitários		100	4,5	8,17	
Escadas		100	4,5	7,81	
Entrada		100	4,5	6,40	
Circulação		100	4,5	3,95	
Área Técnica		100	4	6,06	
Sala aula 401	4	300	2,8	1,78	
Sala aula 402_3_4_6		300	2,8	2,05	
Sala aula 405		300	2,8	1,91	
Sanitários		100	4,5	4,49	
Circulação		100	4,5	4,02	
Escadas		100	4,5	3,27	
Área Técnica	5	100	4	5,40	
Sala aula 501		300	2,8	1,81	
Sala aulas 502_3_4_6		300	2,8	2,03	
Sala aula 505		300	2,8	1,90	
Circulação		100	4,5	2,36	
Escadas		100	4,5	4,68	
Área Técnica	6	100	4	5,53	
Biblioteca		300	2,8	2,10	
Sala de aula 602_3_4		300	2,8	2,20	
Sala Docentes		300	2,8	2,61	
Biblioteca envidraçada		300	2,8	0,31	
Circulação 3		100	4,5	2,71	
Escadas		100	4,5	4,68	
Área Técnica		100	4	5,53	
Casa das máquinas	Cobertura	100	4	2,29	
Escadas		100	4,5	3,94	

Tabela 27 - Valores DPI regulamentares e abordagem NZEB [64].

Mesmo com alteração para tecnologia LED na abordagem NZEB, existem zonas térmicas que ultrapassam as medidas em vigor.

No que diz respeito ao controlo, regulação e monitorização dos sistemas de iluminação, a Portaria n.º 349-D/2013 é mais exigente e obriga a tomar funções mínimas em sistemas de iluminação, em edifícios novos e sujeitos a grande intervenção, nomeadamente detetores de presença, comutação e regulação por luz natural, controlo horário, comando por interface e gestão operacional. Estas exigências variam consoante as características dos edifícios.

Apesar de algumas medidas poderem não ser obrigatórias por inviabilidade económica da sua instalação e inexequibilidade da sua instalação, fica patente o controlo apertado à ineficiência dos sistemas de iluminação.

Para a análise técnica, financeira e ambiental, os sensores utilizados para a abordagem NZEB, serão as funções mínimas exigentes na regulamentação em vigor.

Os elevadores também são contemplados, exigindo requisitos mínimos de eficiência, com a classe de eficiência energética ser C ou melhor.

Não foi possível obter a classe de eficiência energética do elevador ISPGaya.

7.1 Balanço NZEB VS Regulamentação

A solução escolhida para a abordagem NZEB, com isolamento térmico de 10 cm, cumpre os valores do coeficiente de transmissão térmica, como nos mostra a tabela 28.

Para dar resposta à análise técnica, financeira e ambiental, a mesma solução NZEB vai ser utilizada na solução regulamentar. Os coeficientes de transmissão de calor dos diversos cenários, estão referenciados na tabela 28.

Solução construtiva	Existente	Referencia	NZEB
	U [W/(m ² .°C)]	U [W/(m ² .°C)]	U [W/(m ² .°C)]
Paredes exteriores	1,485	0,7	0,29
Cobertura	2,60	0,5	0,32
Pavimento	3,10	0,5	0,33
Vãos Envidraçados	2,99	4,3	2,99

Tabela 28 - Comparação de U's em diferentes situações.

Confrontando as unidades de climatização existentes com a regulamentação em vigor, existe um número mínimo de *splits* que não cumpre os requisitos:

Equipamento a substituir	Qty
Monoslipt entre 4-6KW, por sistema ar condicionado classe C	6
Monoslipt 8,8KW, por sistema ar condicionado de Classe C	2

Tabela 29 - Número de unidades de climatização a alterar.

A iluminação existente para cumprir a densidade de potência em cada zona térmica terá de sair de funcionamento 573 lâmpadas, equivalente a uma potência instalada de 15,025 kW.

Quanto à colocação de sensores, a nova legislação obriga a pelo menos a mesma abordagem feita no NZEB.

Relativamente à produção de energia por fonte renovável, a legislação em vigor ainda não refere qualquer limite em percentagem para os edifícios.

Os resultados de consumo obtidos por simulação, em comparação com a abordagem NZEB estão referenciados no gráfico abaixo.

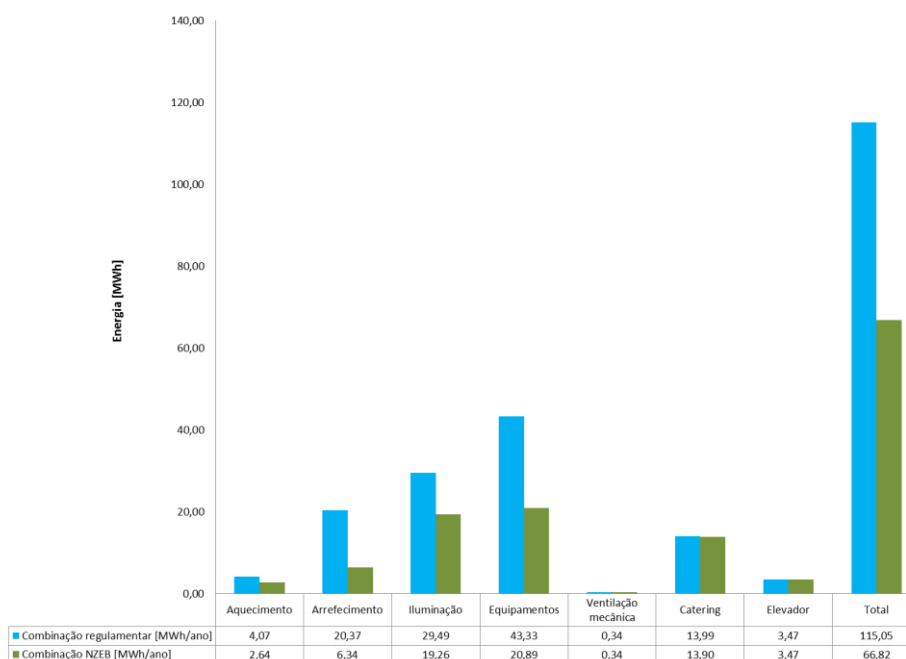


Gráfico 56 - Comparação no consumo energia, Combinação regulamentar e NZEB.

De salientar uma redução brutal na iluminação em comparação com a iluminação atual.

Fazendo um balanço técnico, financeiro e ambiental da solução NZEB com a legislação em vigor, o resultado deste estudo está discriminado tabela 30.

“NET ZERO BUILDINGS” - Aplicação do Conceito a um Edifício Existente.

Abordagem	Qnt	Preço Uni [€]	Preço Total [€]	Poupança Anual [MWh]	Produção Anual [MWh]	Poupança Anual [KgCO ₂]	Poupança Anual [€]	Investimento [€]	Período retorno [anos]
Colocação Isolamento Térmico paredes Exteriores	1120	35,00 €	39 200,00 €	0,73	----	105,12	106,21 €	84 875,00 €	799,1
Colocação Isolamento Térmico cobertura	364	45,00 €	16 380,00 €						
Colocação Isolamento Térmico pavimento	651	45,00 €	29 295,00 €						
Substituição Lâmpada Fluorescente T8 de 36W por Lâmpada LED T8 20W	245	20,00 €	4 900,00 €	39,21	----	5646,24	5 705,06 €	19 529,20 €	3,4
Substituição Lâmpada Fluorescente compacta (gx24q) de 13W por Lâmpada LED 6W	84	15,00 €	1 260,00 €						
Substituição Lâmpada Fluorescente compacta (E27) de 27W por Lâmpada LED 6W	12	11,60 €	139,20 €						
Substituição Lâmpada Fluorescente compacta (gx24q) de 26W por Lâmpada LED 10W	882	15,00 €	13 230,00 €						
Colocação de sensor OccuSwitch Wireless	72	130,00 €	9 360,00 €						
Monitores existentes por Monitor Philips 19B4LC55, de alta eficiência 14W	110	194,00 €	21 340,00 €	18,24	----	2626,56	2 614,64 €	9 360,00 €	3,6
Monoslipt até 4KW, por sistema ar condicionado Mitsubishi Electric (MSZ-FH25VE)	30	1 200,00 €	36 000,00 €						
Monoslipt entre 4-6KW, por sistema ar condicionado Mitsubishi Electric (MSZ-SF42VE)	13	1 500,00 €	19 500,00 €						
Monoslipt 10KW, por sistema ar condicionado Daikin (FCQHG100F)	2	3 800,00 €	7 600,00 €						
Colocação de painéis fotovoltaicos na Fachada Sul [PF1]	42	766,25 €	32 182,50 €	---	11,4	1641,60	1 658,70 €	32 182,50 €	19,4
Colocação de painéis fotovoltaicos na Fachada Oeste [PF2]	122	766,25 €	93 482,50 €	---	24,94	3591,36	3 628,77 €	93 482,50 €	25,8
Colocação de painéis fotovoltaicos na Fachada Este [PF3]	108	766,25 €	82 755,00 €	---	22,36	3219,84	3 253,38 €	82 755,00 €	25,4
Colocação de painéis fotovoltaicos na Cobertura [PF5]	28	658,75	18 445,00 €	---	11,39	1640,16	1 657,25 €	18 445,00 €	11,1
O impacto combinado das várias abordagens é inferior à soma das várias abordagens isoladas.									
Combinação de todas as abordagens NZEB	----	----	----	82,47	70,09	21968,64	22 197,48 €	428 561,20 €	19,3
Abordagem	Qnt	Preço Uni [€]	Preço Total [€]	Poupança Anual [MWh]	Produção Anual [MWh]	Poupança Anual [KgCO ₂]	Poupança Anual [€]	Investimento [€]	Período retorno [anos]
Colocação Isolamento Térmico paredes Exteriores	1120	35,00 €	39 200,00 €	34,24	---	4930,56	4 981,92 €	100 135,00 €	20,10
Colocação Isolamento Térmico cobertura	364	45,00 €	16 380,00 €						
Colocação Isolamento Térmico pavimento	651	45,00 €	29 295,00 €						
Iluminação - Retirada de lâmpadas de serviço	573	0,00 €	0,00 €						
Colocação de sensor OccuSwitch Wireless	72	130,00 €	9 360,00 €						
Substituição monoslipt entre 4-6KW, por sistema ar condicionado classe C	6	450,00 €	2 700,00 €						
Substituição de monoslipt 8,8KW, por sistema ar condicionado de Classe C	2	1 600,00 €	3 200,00 €						
O impacto combinado das várias abordagens é inferior à soma das várias abordagens isoladas.									
Combinação de todas as abordagens Regulamentares	----	----	----	34,24	0,00	4930,56	4 981,92 €	100 135,00 €	20,1

Tabela 30 - Balanço técnico, financeiro e ambiental da abordagem NZEB e a regulamentar.

Apesar de as duas soluções apresentarem períodos de retorno financeiros parecidos, a solução NZEB, em termos de investimento representa mais de quatro vezes a solução regulamentar.

Conclusões

A presente dissertação teve como objetivo a análise da viabilidade técnica e financeira na aplicação do conceito “Net Zero Energy Building” (NZEB) ao edifício ISPGaya, tendo em conta o parque edificado existente em Portugal. O trabalho avalia o impacto de combinações de medidas passivas e de eficiência energética, no consumo energético do edifício. Faz a comparação técnica, financeira e ambiental de um edifício com uma solução com base na regulamentação e práticas em vigor e um edifício com uma solução NZEB.

As simulações energéticas do edifício, nas diferentes soluções projetadas, foram executadas por um *software* acreditado para o efeito, DesignBuilder.

Ao avaliar o impacto das várias combinações de medidas passivas e de eficiência energética, no edifício em estudo, constata-se que as medidas de eficiência energética, nomeadamente a substituição de lâmpadas, colocação de sensores e substituição de monitores e unidades de climatização apresentam uma poupança energética de 52,96% em relação ao consumo do edifício atualmente, com um período de retorno de investimento de nove anos e onze meses. Atendendo ao período de vida do edifício, apresenta bons resultados financeiros e ambientais. No entanto, a colocação de isolamento na envolvente, apesar de melhorar a poupança em 2,28% em relação à solução anterior, apresenta maior investimento, cerca de 42,8% mais, e um período de retorno de investimento em dezasseis anos e seis meses.

A produção de energia por sistemas fotovoltaicos, apresentou uma dificuldade acrescida devido ao espaço livre necessário para a colocação dos painéis fotovoltaicos. Para suprir esta dificuldade, teve-se que utilizar as fachadas do edifício, nomeadamente fachada sul, oeste, este e norte. A fachada norte foi descartada devido a apresentar rendimentos de produção de energia medíocres em comparação com as restantes fachadas. No entanto, com a ocupação das fachadas sul, oeste, este e com a cobertura consegue-se produzir energia de 72,09 MWh/ano, mas com um período de retorno de investimento de vinte e cinco anos e onze meses.

Apesar de não existir um consenso generalizado sobre o conceito NZEB, mais concretamente sobre o tipo de consumo a contabilizar e qual o limite estipulado para esses consumos (em kWh/m².ano), todas as definições apontam para a produção de energia

renovável cobrir as “baixas” necessidades energéticas do edifício, provenientes de abordagens passivas e sistemas de energia eficientes [4].

Com a solução apresentada em 6.4, o edifício em estudo poderá vir a ser considerado NET ZERO BUILDING. No entanto existem algumas dificuldades, que vão para além desta dissertação, na quantificação do balanço energético do edifício. O edifício poderá estar ligado à rede elétrica ou isolado da rede elétrica, sendo autónomo. Esta última solução necessita de armazenamento de energia, obrigando o edifício a ter baterias, que para a energia em jogo, torna-se inviável por ocupar muito espaço e ser muito dispendioso. O edifício terá de estar ligado à rede elétrica. Ao longo de um período, um mês ou um ano, o edifício vai oscilar entre ter mais necessidade de consumo, com a produção de energia a não chegar e excesso de produção de energia, podendo libertar para a rede o excedente. O balanço energético terá de ser nulo, num espaço temporal pré definido, depois de ter sido feita essa contabilização [69]. Pless et al. (2010) referem que alcançar um NZEB sem estar ligado à rede é muito difícil, porque a atual tecnologia de armazenamento de energia é limitado.

O cumprimento do último objetivo, com a comparação de soluções regulamentares e práticas em vigor com a solução NZEB escolhida para o edifício em estudo, realçou o fato de que a legislação em vigor, nomeadamente a Portaria n.º 349-D/2013 [64], tem uma maior exigência ao nível do desempenho energético dos edifícios, ao nível da iluminação e os equipamentos de consumo. Depara-se na iluminação, a potência instalada atual no edifício é muito elevada à luz da nova regulamentação em vigor. Mesmo com a substituição de todas as lâmpadas para tecnologia LED, existem casos que não cumprem a densidade de potência atual em vigor. Em comparação com os valores de consumo entre a regulamentação em vigor e a solução NZEB, nota-se uma convergência acentuada na redução de consumo na componente da iluminação.

Este trabalho é um estudo inicial que pode vir a ser aprofundado, garantindo melhores resultados na aplicação do conceito NZEB. Tendo o ponto anterior em conta, sugerem-se algumas alterações possíveis:

- Manter as características do estudo, acrescentando as pontes térmicas;
- Maior exploração nas medidas passivas, nomeadamente nos envidraçados e dispositivos de sombreamento exteriores reguláveis;
- Impacto no consumo de energia do edifício, com um sistema de gestão centralizado;

- Produção de energia através de outra fonte renovável.

Referências Bibliográficas

- [1] ADENE. (2012). *Guia da Eficiência Energética*. Algés : ADENE.
- [2] ADENE. (2014). *Legislação*. [on-line]. Consultado em 02/2014, disponível em : <http://www.adene.pt/legislacao>
- [3] Aelenei, L. et al. (2012). *Design issues for net-zero energy buildings*. In: ZEMCH, Glasgow, 20 - 22nd August, 2012.
- [4] Aelenei, D. et al. (2013). *Design strategies for non-residential zero - energy buildings. Lessons learned from Task 40/Annex 52 “Towards Net Zero - Energy Solar Buildings”*. In proceedings of CLIMA2013 Prague.
- [5] Aelenei, D.; Aelenei, L.; Gonçalves, H.(2013). *Edifícios de balanço energético nulo: uma síntese das características principais*. In: Revista Edifícios e Energia, p. 70-74
- [6] Agência Portuguesa do Ambiente. (2014). *Declaração de Estocolmo – 1972*. Consultado em 02/2014, disponível em : http://www.apambiente.pt/_zdata/PoliticadasDesenvolvimentoSustentavel/1972_Declaracao_Estocolmo.pdf
- [7] Agência Portuguesa do Ambiente. (2014). *Desenvolvimento Sustentável*. [on-line]. Consultado em 02/2014, disponível em : <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=140>
- [8] Agenda 21 local Município de Ourique.(2014). *Desenvolvimento sustentável*. [on-line]. Consultado em 02/2014, disponível em : <http://www.agenda21-ourique.com/pt/go/desenvolvimento-sustentavel>

- [9] Associação Passivhaus Portugal. (2014). *Requisitos [on-line]*. Consultado em 01/2014, disponível em : <http://passivhaus.pt/requisitos.html>
- [10] Associação Passivhaus Portugal. (2014). *Projectos [on-line]*. Consultado em 01/2014, disponível em <http://passivhaus.pt/projectos.html>
- [11] Asceno, R. (2012, Setembro). Nearly zero energy buildigs – O que vai mudar com as NZEB?. *Climatização*, 83, 7-18.
- [12] Ansen, E. (2014). *With Home for Life, VKR Holding aims to bring carbon-neutral houses to the masses*. Consultado em 03/2014, disponível em : <http://spectrum.ieee.org/green-tech/buildings/denmarks-netzeroenergy-home>
- [13] Barros, D. (2012). *Edifícios de energia zero: influência dos padrões de utilização na classificação energética dos edifícios de escritórios*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia (ADENE, 2012; Adene, 2014)a de Energia e do Ambiente, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- [14] BPIE. (2011). *Principles for Nearly Zero Energy Buildings*. Buildings Performance Institute Europe (BPIE).
- [15] Butti, K., Perlin, J., Golden e Thread, A.(1980). *2500 Years of Solar Architecture and Technology*. Van Nostrand Reinhold Company.
- [16] Besant, R.W., Dumont, R. S. e Schoenau, G., 1979. The Saskatchewan conservation house: some pre-liminary performance results, *Energy and Buildings* 2 (2):163–174.
- [17] Bliss, R.W., 1955. Design and performance of the nation’s only fully solar-heated house. *Air condition-ing, Heating and Ventilating*, (52): 92.
- [18] Brajal,F. (2012). *Edifícios de emissão quase zero – guia de requisitos para a construção*. Tese de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.

- [19] Cardoso, F. & Asceno, R. (2011, Setembro). Passivhaus – As novas casas passivas. *Climatização*, 77, 6-22.
- [20] Directiva 2006/33/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de Abril. Jornal Oficial da União Europeia. União Europeia.
- [21] DesignBuilder.(2011). *DesignBuilder EnergyPlus Simulation Documentation DesignBuilder v2*. Consultado em 01/2014, disponível em : <http://www.designbuilder.co.uk> .
- [22] Decreto-Lei nº 49/90 de 6 de Fevereiro. *Diário da República*, 1ª Série, nº 31.
- [23] Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto. *Diário da República*, 1ª Série, nº 159.
- [24] Despacho nº 15793-E de 3 de Dezembro de 2013. *Diário da República*, 2ª série, nº234.
- [25] Despacho nº 15793-K/2013 de 3 Dezembro de 2013. *Diário da República*, 2ª série, nº234.
- [26] Despacho nº nº15793-J/2013 de 3 de dezembro de 2013. *Diário da República*, 2ª série, nº234.
- [27] DGEG. (2014). *Energias em Portugal – Principais números*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do território e Energia.
- [28] DGEG. (2002). *Eficiência Energética nos Edifícios*. Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia
- [29] DGEG. (2014). *Caracterização energética em Portugal*. [on-line].Consultado em 02/2014, disponível em : <http://www.dgeg.pt>
- [30] DGEG. (2014). *Edifícios*. [on-line].Consultado em 04/2014, disponível em : <http://www.dgeg.pt>

- [31] Energy Star. (2012). *Rotulagem em matéria de eficiência energética para equipamento de escritório*. Directorate-General for Energy, European Commission. Consultado em 05/2014. Disponível em : <http://www.eu-energystar.org/pt/index.html>.
- [32] Esbensen, T.V. e Korsgaard, V., 1977. Dimensioning of the Solar Heating System in the Zero Energy House in Denmark, United States, 195–199.
- [33] EPBD. 2002. *Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002*. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 1/65-1/71.
- [34] EPBD. (2010). *Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)*. Estrasburgo, Jornal Oficial das Comunidades Europeias.
- [35] Ferreira, C. (2011). *Plano de manutenção dos equipamentos de ar condicionado das instalações do Instituto Superior Politécnico Gaya*. Relatório submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de licenciado em Engenharia e Gestão Industrial, ISPGAYA.
- [36] FERREIRA, A. (2012). *Estudo de soluções de otimização para Edifícios de Balanço Energético Nulo*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- [37] Fibrosom. (2014). *Isolamentos térmicos / Acusticos*. Consultado em 05/2014. disponível em : <http://www.fibrosom.com/ficheiros/pdfs/laderochoa.pdf>
- [38] Fragoso, R. (2011). *Perspectivas do sistema de certificação energética face às novas metas europeias*. Conferência Edifícios Balanço Zero: Rumo ao Impacte Nulo da Construção e reabilitação nas Cidades. ADENE – Agência para a Energia. Lisboa. Consultado em 01/2014.

- [39] Fragoso, R. (2013). *O novo enquadramento legal do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE)*. Encontro 2013. ADENE – Agência para a Energia. Lisboa. Consultado em 03/2014.
- [40] Gonçalves, H. (2011). *Em direcção aos edifícios de Balanço energético Zero*. Jornadas de Climatização, Ordem dos Engenheiros.
- [41] Grollo, D. (2014). *A green icon + future proof investment*. Consultado em 03/2014, disponível em <http://www.pixelbuilding.com.au/greenicon.html>
- [42] Garde, F. et al. (2013). *How to design a Net Zero Energy Building ? Solution sets and case studies : Experience and feedback of the task 40/Annex52*. IEA SHC Task 40/ECB Annex 52.
- [43] Gonçalves, H. (2011). *Edifícios de Balanço Zero*. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Lisboa. Consultado em 25/01/2014.
- [44] Gonçalves, H. (2005). *Edifício Solar XXI – Um edifício energeticamente eficiente em Portugal*.INETI.
- [45] Gonçalves, H. (2010). *Solar XXI – Em direcção à energia zero*. LNEG.
- [46] Gonçalves, H. (2012). *Reabilitação Energética de Edifícios e Cidades, Desafios e Perspectivas*. LNEG
- [47] IEA. (2013). *Key World Energy Statistics*.França:Soregraph.
- [48] EIA. (2013). *International Energy Outlook. U.S. Energy Information Administration*.
- [49] IEA SHC Task 40/ECB Annex 52. (2014). *Towards Net Zero Energy Solar Buildings (NZEBs)*. Consultado em 02/2014, disponível em : <http://task40.iea-shc.org/>.

- [50] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Organization*. [online]. Consultado em 02/2014, disponível em : <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>
- [51] ISPGAYA. (2008). *Livro de manutenção dos equipamentos de AVAC do Instituto Superior Politécnico Gaya*. Instituto Superior Politécnico Gaya.
- [52] Laustsen, J. (2008). *Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for new buildings*. International Energy Agency.
- [53] kämpfen für architektur.(2014). *Newbuild*. Consultado em 03/2014, disponível em <http://www.kaempfen.com/index.php/en/projects/newbuild/sunny-watt>.
- [54] KILKIS, S. (2007). *A new metric for net-zero carbon buildings*. Energy Sustainability, Long Beach, Califórnia.
- [55] Marszal, A. et al. (2011). *Zero Energy Building - A Review of definitions and calculation methodologies*. Energy and Buildings 43 (4) 971–979.
- [56] Passive House Institute. (2012). *Passive House Requirements*. Consultado em 01/2014, disponível em : <http://www.passiv.de>
- [57] Philips. (2014). OccuSwitch Wireless System. Consultado em 05/2014, disponível em http://www.lighting.philips.com/pwc_li/main/products/controls/assets/datasheet_0sw_system.pdf
- [58] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).(2014). *Monthly radiation*. Consultado em 05/2014. Disponível em <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.
- [59] Pinheiro, M., (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora : Instituto do Ambiente.

- [60] Pless, S., Torcellini P. (2010). *Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options*. Reporte Técnico. NREL/TP-550-44586. National Renewable Energy Laboratory. EUA. Consultado em 03/2014.
- [61] Plusenergie-haus. (2014). *What is PlusEnergy?*. Consultado em 01/2014, disponível em : <http://www.plusenergiehaus.de/index.php?p=home&pid=8&L=1&host=1>.
- [62] Ramos, E. (2012, Setembro). Net zero energy buildigs (NZEB) . *Climatização*, 83.
- [63] RCCTE. (2006). *Decreto-Lei nº. 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Diário da República, 1ª Série-A, nº67.
- [64] RECS. (2013). *Portaria nº. 349-D/2013 de 2 de Dezembro*. Diário da República, 1ª Série, nº233.
- [65] RSECE. (2006). *Decreto-Lei nº. 79/2006 de 4 de Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*. Diário da República, 1ª Série-A, nº67.
- [66] Sá, A.(2010). *Guia de aplicação de gestão de energia e eficiência energética*. Porto : Publindústria.
- [67] Santos, P., Carlos, A. e Matias, L. (2006). *ITE 50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. LNEC.
- [68] Santos, P. e Rodrigues, R. (2009). *ITE 54 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios - Soluções construtivas de edifícios antigos.Soluções construtivas das Regiões Autónomas*. LNEC.
- [69] Sartori, I., Napolitano, A. Voss and, K. (2012). *Net Zero Energy Buildings: A consistente definition framework*. Energy and Buildings.

- [70] SCE. (2006). *Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios*. Diário da República, 1ª Série-A, 2411.
- [71] Schnieders, J. (2009). *Passive Houses in South West Europe*. Passivhaus Institut.
- [72] Soares, F. (2011). *Energias Renováveis, Ambiente e Sustentabilidade Aula T3 e T4 – Energia solar fotovoltaica (Parte II)*. ISPGAYA
- [73] SolarArchitektur.(2014). *Rolf Disch Solar Architecture*. Consultado em 01/2014, disponível em : <http://www.rolfdisch.de/index.php?p=home&pid=276&L=1&host=2>
- [74] SMA. (2014). Inversor fotovoltaico SUNNY BOY 3300/3800. Consultado em 05/2014. Disponível em http://files.sma.de/dl/5691/SB33_38-IPT104850.pdf
- [75] Sonnenhaus-Institut. (2014). *Referenz-Projekte [on-line]*. Consultado em 01/2014, disponível em : <http://www.sonnenhaus-institut.de/>
- [76] Sousa, M. e Baptista, C. (2011). *Como fazer Investigação, Dissertações, Teses e Relatórios*. Lisboa : Pactor.
- [77] Suntech. (2014). *STP230 - 20/Wd*. Consultado em 05/2014. Disponível em <http://www.dec-energy.nl/consument/zonnepanelen.pdf>
- [78] Tavares, F. (2013). *Metodologia para edifícios de balanço energético nulo*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- [79] Topten International Group. (2014). Topten.eu Best Products of Europe. Consultado em 05/2014. Disponível em <http://www.topten.eu>.

- [80] Torcellini, P., Pless, S. and Deru, M. (2006). *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- [81] Universidad de Valladolid.(2014). Edificio LUCIA - Universidad de Valladolid. Consultado em 03/2014, disponível em [http://edificio-lucia.blogspot.com/es/](http://edificio-lucia.blogspot.com.es/)