



Escola de Tecnologias e Arquitetura
Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Mestrado Integrado em Arquitetura

Sara Figueiredo Paiva

Trabalho de projeto submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre
em Arquitetura

**Casa dos Pátios:
Um diálogo entre o conceito NZEB e o objeto arquitetónico**

Orientador:

Prof. Doutor Vasco Moreira Rato, Professor Associado, ISCTE-IUL

Tutor:

Prof. Doutor Pedro Mendes, Professor Auxiliar, ISCTE-IUL

Abstract

Due to the environmental problems that have been occurring in the past years as a consequence of mass fuel consumption, strategies have been developed to save humanity.

It becomes necessary to have an efficient energetic approach from all sectors and mainly architecture, since buildings represent 40% of energy consumption.

This final project, tries to relate theoretical concepts with their practical project applications, serving as an example that can be adopted according to European laws. This project required an intensive study of the principles associated with the NZEB concept and applying them to a practical situation without any architectural implications.

Key-words: Net Zero Energy Building; Energy balance; Energy efficiency; Renewable Energy

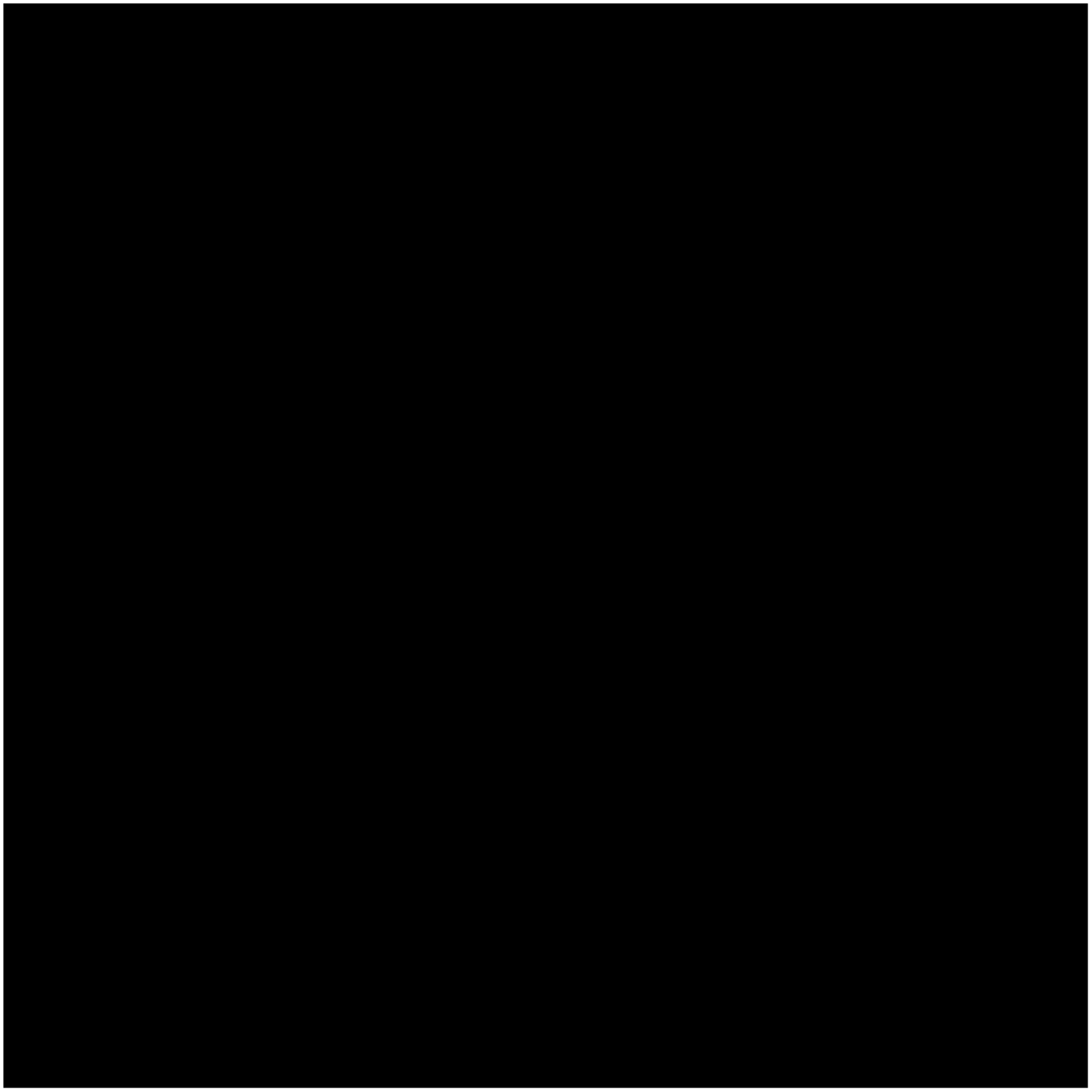
Resumo

Devido aos problemas ambientais que têm surgido ao longo dos últimos anos como consequência da utilização de combustíveis fósseis em massa, têm-se desenvolvido estratégias de resposta que possibilitem salvaguardar a humanidade.

Deste modo, torna-se necessária uma abordagem de eficiência energética por todos os sectores e principalmente pela arquitetura, visto que os edifícios representam aproximadamente 40% do consumo de energia atual.

Esta trabalho final surge, assim, no sentido de relacionar conceitos teóricos com a aplicação prática projetual, demonstrando um exemplo de metodologia passível de ser adotado no seguimento das diretivas europeias. Realizando um estudo intensivo dos princípios associados ao conceito e aplicando ao projeto desenvolvido na vertente prática, tendo sempre como base a defesa de que o conceito NZEB não apresenta implicações na formalização da arquitetura.

Palavras-chave: Edifício de energia zero; Balanço Energético; Eficiência Energética; Energias Renováveis



À minha avó Micas

Agradecimentos

Ao meu irmão, que esteve sempre presente e a quem agradeço por tudo o que me ensinou.

Aos meus pais pelo apoio e força demonstrada, que me ensinaram a nunca desistir.

À minha família por tudo o que representam e pelo apoio incondicional.

Aos meus companheiros de luta com quem revirei noites a fio a trabalhar, em especial ao açoriano fugitivos, à bela adormecida, ao Piqué e à filha do pai da Rita.

Aos meus amigos que me acompanharam ao longo deste percurso, em especial aos engenheiros que a cada discussão sobre arquitetura me permitiam aprender algo novo.

Ao meu tutor, professor Pedro Mendes, por me ter dito que nada era impossível e pelo apoio no desenvolver deste projeto.

Por fim, e mais importante, ao meu orientador, professor Vasco Rato, que ao longo do percurso académico me colocou em contato com os conceitos que tornam a arquitetura mais do que uma arte e do que construir edifícios.

Índice

<i>Índice</i>	I
<i>Índice de Ilustrações</i>	IV
<i>Índice de Quadros</i>	IX
<i>Glossário de Siglas</i>	XI
1 Introdução	10
1.1 <i>Motivação e metodologia</i>	13
2 Energia e Políticas Públicas Europeias	18
2.1 <i>Energia</i>	21
2.2 <i>Principais indicadores energéticos</i>	27
2.2.1 <i>Produção e Consumo de energia</i>	29
2.2.2 <i>Dependência Energética</i>	33
2.2.3 <i>Intensidade Energética</i>	37
2.2.4 <i>Indicadores de consumo energético per capita</i>	41
2.2.5 <i>Emissões de Gases com Efeito de Estufa</i>	43
2.2.6 <i>Energias Renováveis</i>	47
2.3 <i>Políticas europeias</i>	53
3 NZEB	58
3.1 <i>Princípios NZEB</i>	61
3.1.1 <i>Unidades de Medida</i>	63
3.1.2 <i>Período Temporal</i>	65
3.1.3 <i>Uso energético</i>	67
3.1.4 <i>Limite físico dos sistemas</i>	69
3.1.5 <i>Ligação à Infraestrutura Energética</i>	73
3.1.6 <i>Equilíbrio energético</i>	75
3.1.7 <i>Requisitos</i>	79
3.2 <i>Definição</i>	81
3.2.1 <i>Net Zero Energy Building (NZEB)</i>	83
3.2.2 <i>Nearly Zero Energy Building (nZEB)</i>	85
3.2.3 <i>Net Zero Site Energy</i>	87
3.2.4 <i>Net Zero Source Energy</i>	89
3.2.5 <i>Net Zero Energy Cost Building</i>	91
3.2.6 <i>Net Zero Energy Emissions Building</i>	93
3.3 <i>Definição em Portugal</i>	95
3.3.1 <i>Legislação em Portugal</i>	97
3.3.2 <i>Certificação Energética</i>	103

3.3.3	Incentivos à eficiência energética.....	105
3.4	<i>Projetos NZEB – Casos de Estudo</i>	107
3.4.1	The David and Lucile Packard Foundation.....	109
3.4.2	Marché Corporate Headquarters.....	111
3.4.3	Solar XXI.....	113
3.4.4	Tecnologia Solar e Arquitetura	115
4	Decisões Projectuais e NZEB	120
4.1	<i>Metodologia de Projeto Integrado</i>	123
5	Casa dos Pátios	128
5.1	<i>Cascais – Território em análise</i>	131
5.2	<i>Clima</i>	135
5.2.1	Temperatura	137
5.2.2	Precipitação.....	141
5.2.3	Ventos.....	143
5.2.4	Insolação e irradiação	145
5.2.5	Humidade relativa	147
5.2.6	Análise geral	149
5.2.7	Estratégias de resposta ao clima.....	151
5.3	<i>Fontes Energéticas</i>	153
5.3.1	Eletricidade e gás natural	157
5.4	<i>Emissões de Carbono</i>	159
5.5	<i>Local de Intervenção</i>	161
5.5.1	Condicionantes e Oportunidades.....	163
5.5.2	Envolvente e vegetação	165
5.6	<i>Projeto</i>	167
5.6.1	Programa.....	169
5.6.2	Casos de estudo	171
5.6.3	Forma e orientação	173
5.6.4	Implantação.....	177
5.6.5	Organização espacial	179
5.7	<i>Decisões Projectuais e Simulação Energética</i>	185
5.7.1	Sistema construtivo	187
5.7.2	Valores de referência	189
5.7.3	Estrutura.....	191
5.7.4	Isolamento Térmico.....	193
5.7.5	Vãos.....	195
5.7.6	Sombreamento e iluminação natural.....	197
5.7.7	Perfis de Ocupação do Espaço	199
5.7.8	Iluminação Artificial.....	203

5.7.9	Equipamentos.....	205
5.7.10	Ventilação.....	207
5.7.11	Climatização e água quente sanitária	211
5.7.12	Painéis Fotovoltaicos	213
5.7.13	Energia hídrica, eólica e geotermia.....	217
5.7.14	Balanço.....	219
5.7.15	Resumo energético e comparação de dados.....	225
6	Conclusão	231
7	Referências	234

Índice de Ilustrações

Figura 1 - Escola Secundária Lycée Schorge em Koudougou, Burkina Faso do arquiteto Francis Kéré que constrói utilizando materiais locais e tira partido de soluções construtivas que se relacionam com o local de implantação (Fonte: Garcia, 2016)	XII
Figura 2 - Arquitetura vernacular da Beira a Trás os Montes, décadas de 50 e 60 (Fonte: fotografia de Artur Pastor)	12
Figura 3 –Crítica que sugere através da frase “I don't believe in global warming” semi-submersa numa parede, que os fatos são mais eloquentes que as palavras (Fonte: Dancygier, 2017)	16
Figura 4 - O balanço energético da Terra (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.43).....	22
Figura 5 - As fontes energéticas da Terra e respetiva forma de ocorrência (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p. 44)	24
Figura 6 - Desenvolvimento das fontes de energia mundiais entre 1850 e 2000 (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.44)	28
Figura 7 - Comparação entre o crescimento populacional, o consumo de energia e as emissões de CO ₂ entre 1870 e 2000 (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.44)	28
Figura 8 - Rácio entre reserva que permanece e a produção anual por energia (Fonte: adaptado de BP p.l.c., s.d.)	28
Figura 9 -Proporção de energia primária consumida por fonte mundialmente (a) e em Portugal (b) em 2018 e do consumo de energia final por sector na EU-28 (c) e em Portugal (d) em 2016 (Fonte: adaptado de BP Statistical Review of World Energy,2019 e Directorate- General for Energy, 2018)	30
Figura 10 - Evolução da dependência energética e da produção de energias renováveis em Portugal, entre 1997 e 2017 (Fonte: Observatório da Energia, et al., 2019 e PORDATA, 2019).....	34
Figura 11 - Relação entre o PIB e o consumo de energia primária em Portugal entre 2009 e 2018 (Fonte: DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia,2019 e PORDATA)	36
Figura 12 - Comparação do EUI de diferentes tipos de edifícios (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.108)	38
Figura 13 - Consumo de energia por habitante em Portugal entre 2000 e 2017 (Fonte: adaptado de Observatório da Energia, et al., 2019, p. II).....	40
Figura 14 - Quota global de emissões de edifícios e construção (Fonte: International Energy Agency, United Nations Environment Programme, 2018, p.11)	42
Figura 15 - Emissões de gases com efeito de estufa em Portugal - total e no sector das indústrias transformadoras e da construção (Fonte: adaptado de PORDATA (B), 2019)	44
Figura 16 - Comparação de cadeias de fornecedores de energia para a geração de eletricidade (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.15)	46

Figura 17 – Potencial teórico anual (2011) e técnico (2012) em comparação com o consumo energético mundial (2015)(Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.46, atualizado com base nos dados de Teske, et al., 2019, p.163).....	48
Figura 18 - Potencial técnico mínimo (2012) e energia utilizada (2015)(Fonte: Teske, et al., 2019, p.163)	50
Figura 19 - Diretivas Europeias relativas a performances energéticas de edifícios, nomenclatura e respetivos assuntos.....	52
Figura 20 - Normas gerais onde estão os anexos nacionais que servem de base para a metodologia de cálculo nacional (Fonte: adaptado de ISO, s.d.).....	54
Figura 21 - Parque Estadual Serra da Cantareira, paisagem cultural moderna, dicotomia entre a paisagem urbana e paisagem natural (Fonte: Miranda Andrade, 2014).....	56
Figura 22 - Princípios NZEB (Fonte: adaptado de Bourrelle, et al., 2013).....	60
Figura 23 - Unidades de medida	62
Figura 24 - Período temporal.....	64
Figura 25 - Uso Energético.....	66
Figura 26 - Limite físico dos sistemas (Fonte: adaptado de Marszal, et al., 2011).....	68
Figura 27 - Fluxograma da classificação NZEB (Fonte: adaptado de Pless & Torcellini, 2010, p.13).....	70
Figura 28 - Ligação à Infraestrutura Energética.....	72
Figura 29 – Equilíbrio energético (Fonte: Panão, 2016, p.738,744, Bourrelle, et al., 2013, p.89)	74
Figura 30 - Representação gráfica dos balanços Load/Generation e Delivered/Exported entre procura e fornecimento ponderado (Fonte: adaptado de Sartori, et al., 2012	76
Figura 31 – Diagrama de Carga evitada e abordagem pauback (Fonte: adaptado de Bourrelle, et al., 2013, p.87,89)	76
Figura 32 - Requisitos	78
Figura 33 - Diagrama do Net Zero Energy Building (Fonte: adaptado de Sartori, et al., 2012 e Voss, et al., 2011)	82
Figura 34 – Diagrama Nearly Zero Energy Building (nZEB) (Fonte: adaptado de DGEG - Direção Geral Energia e geologia, sd, p.7).....	84
Figura 35 – Diagrama Net Zero Site Energy (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.6)	86
Figura 36 - Net Zero Source Energy (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.7, fatores de conversão adaptados segundo Torcellini, et al., 2006).....	88
Figura 37 - Net Zero Energy Cost Building (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.9)	90
Figura 38 - Net Zero Energy Emissions Building (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.8).....	92
Figura 39 -Decretos-Lei, nomenclatura e respetivos assuntos	96
Figura 40 – Classes de certificação energética e percentagem de eficiência, com referência às metas mínimas atuais (Fonte: ADENE, 2019).....	102
Figura 41 – Incentivos à Eficiência Energética (Fonte: Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética, 2018)	104

Figura 42 - Publicidade presente na brochura da Casa-Laboratório Térmicamente Optimizada de 1983 (Laboratorio Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial; Departamento de energias renováveis; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; Departamento de Mecanica, 1983)	106
Figura 43 - Pátio da Fundação David e Lucile Packard (Fonte: fotografia de Jeremy Bittermann disponível em The American Institute of Architects, s.d.)	107
Figura 44 - Marché Corporate Headquarters em Zurich (Fonte: fotografia de Willi Kracher em Detail, s.d.)	109
Figura 45 - Integração dos painéis fotovoltaicos na fachada do Solar XXI (Fonte: fotografia de Daniel Malhão em Cabrito & Diniz, 2016)	112
Figura 46 - Diagramas das estratégias de projeto do Solar XXI (Fonte: adaptado de Cabrito & Diniz, 2016)	112
Figura 47 - Estratégias de design e construção para tecnologias solares ativas (Fonte: Hegger, et al., 2008)	114
Figura 48 -Exemplos da relação das tecnologias solares com a construção e com a arquitetura (Fonte: Hegger, et al., 2008, p.108,109; Cavanagh, 2018)	116
Figura 49 - Sumba Rumah Adat inserido na Farnsworth House fornecendo abrigo contra o calor, inserido no projeto Progress, Death, Assemblage and Life - Michael Daane Bolier and Dorus Meurs vencedor do concurso VEX 2018 (Fonte: Abdallah, 2018)	118
Figura 50 - Processo do Projeto de Arquitetura: convencional e integrado (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.28)	122
Figura 51 - Freguesias de Parede, Carcavelos e São Domingos de Rana com marcação da rede viária principal, Ribeira de Sassoeiros e respetivo leito de cheia e local de intervenção	131
Figura 52 - Evolução da distribuição populacional ao longo da Ribeira de Sassoeiros - 1942, 1970 e 1992 (Fonte: Cartas militares)	132
Figura 53 - Mapa da temperatura média no mês de Janeiro e Agosto (Fonte: Moreira, et al., 2015, p.21)	136
Figura 54 - Valores médios de temperatura na estação de São Domingos de Rana (Fonte: LNEG)	138
Figura 55 - Precipitação anual na estação de São Domingos de Rana (Fonte: Meteoblue)	140
Figura 56 - Quantidade de precipitação na estação de São Domingos de Rana (Fonte: Meteoblue)	140
Figura 57-Velocidade mínima, média e máxima do vento na estação de São Domingos de Rana (Fonte: LNEG)	142
Figura 58 - Rosa dos Ventos e respetivas velocidades (Fonte: meteoblue)	142
Figura 59 - Céu nublado, sol e dias de precipitação na estação de São Domingos de Rana (Fonte: Meteoblue)	144
Figura 60 – Média máxima diária de radiação direta normal, difusa e total horizontal (Fonte: LNEG)	144
Figura 61 - Relação entre a temperatura de bulbo húmido com a humidade relativa - médias diárias (Fonte: LNEG)	146

Figura 62 - Diagrama psicrométrico da relação entre a temperatura de bulbo húmido e a humidade relativa, com as horas de conforto no interior (Fonte: LNEG).....	149
Figura 63 – Diagramas de estratégias utilizadas de resposta ao clima (Fonte: adaptado de Heywood, 2017)	150
Figura 64 - Energia final por sector de atividade e por tipo de fonte (Fonte: Segurado e Pereira, 2017). 154	
Figura 65 - Consumo de energia final e por habitante no concelho de Cascais (Fonte: adaptado de PORDATA, 2019)	156
Figura 66 - Zonas ameaçadas por cheias, área urbana de génese ilegal, espaços verdes naturais e estrutura ecológica urbana (Fonte: adaptado de Cascais, 2019).....	162
Figura 67 - Medidas de acessibilidade utilizadas no projeto (Fonte: Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social, 2006 e Segurança Social,2011).....	168
Figura 68 - Residential Home for Eldery do arquiteto Peter Zumthor de 1992-93 (Fonte: Šmídek, 2008)	170
Figura 69 - Nature-Infused Hospital na Dinamarca dos arquitetos Herzog & de Meuron de 2014- (Fonte: Wang, 2014)	170
Figura 70 - Evolução das propostas.....	172
Figura 71 - Axonometria do primeiro esquema de interiores.....	174
Figura 72 - Planta de implantação	177
Figura 73 - Planta Piso 0.....	179
Figura 74 - Planta piso 1	181
Figura 75 - Axonometria perspectivada em corte.....	184
Figura 76 – Detalhe construtivo da proposta	187
Figura 77 - Comparação de inércia, energia incorporada e carbono equivalente incorporado para solução construtiva de parede com a mesma resistencia térmica integrando CLT (0,412m) ou betão (1,218m).....	190
Figura 78 - Comparação de inércia, energia incorporada e carbono equivalente incorporado para solução construtiva de parede com a mesma resistencia térmica integrando ICB (0,23m) ou XPS (0,19m)	192
Figura 79 - Comparação de soluções construtivas de janelas.....	194
Figura 80 - Diagramas de sombreamentos em janelas.....	196
Figura 81 - Perfis de ganhos de calor interno, carga de serviço de água quente e carga de humidade	200
Figura 82 – Perfis de utilização de equipamentos, potências e tempos de utilização	204
Figura 83 – Perfis de Ventilação, caudais e renovações por ocupação.....	206
Figura 84 - Comparação de necessidade de climatização com ventilação natural, mecânica e híbrida ...	208
Figura 85 – Comparação de necessidades de climatização, temperaturas exteriores e zona de conforto. 210	
Figura 86 – Comparação da produção e do consumo energético simulado utilizando o painel Luxor lx-190M com tensão nominal de 24 V e o inversor Studer_C2324_24V do Solterm.....	212
Figura 87 - Tempo de amortização do sistema de paineis fotovoltaicos, (+) saldo positivo (-) saldo negativo	214

Figura 88 - Balanço Net Zero Site e Source Energy.....	218
Figura 89 - Fluxograma da classificação NZEB aplicado ao projeto da residência de idosos (Fonte: adaptado de Pless & Torcellini, 2010, p.13).....	222
Figura 90 - Excerto da brochura da Casa-Laboratório Tecnicamente Optimizada (Fonte: adaptado de Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Departamento de energias renováveis; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Departamento de Mecânica, 1983).....	230

Índice de Quadros

Tabela 1 - Evitar da concentração e monopolização por fonte de energia (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.16)	33
Tabela 2 - Distribuição regional uniforme das atividades económicas numa comparação de utilização de recursos solares e não solares (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p. 16).....	33
Tabela 3 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, após 1 de Janeiro 2016 (Fonte: adaptado de Ministério do Ambiente, ordenamento do território e energia, 2015)	98
Tabela 4 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos de elementos opacos e envidraçados (Fonte: Ambiente e Transição Energética,2019).....	98
Tabela 5 - Fatores de conversão de energia final em primária e de determinação das emissões de CO2 associadas ao consumo de energia nos edifícios (Fonte: adaptado de Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2013).....	100
Tabela 6 - Dados gerais da fundação David and Lucile Packard (Fonte: Reeder, 2016; Solargis,2016; The American Institute of Architects, s.d.).....	107
Tabela 7 – Dados gerais do caso de estudo Marché Corporate Headquarters (Fonte: Voss, et al., 2013)	109
Tabela 8 - Percentagem mensal de horas confortáveis no interior do edifício (Fonte: LNEG)	149
Tabela 9 – Comparação energética de Cascais com os valores nacionais (Fonte: Segurado e Pereira,2017, Pordata, 2019).....	152
Tabela 10 -Área total de superfícies, condutibilidade térmica, resistência térmica, energia incorporada e carbono incorporado.....	188
Tabela 11 – Perfis de utilização dos espaços e respetivas temperaturas de conforto.....	198
Tabela 12 – Perfis de iluminação artificial, horas de utilização e densidade	202

Glossário de Siglas

BIM – *Building Information Model*
CO₂ – Dióxido de carbono
CO₂eq – Dióxido de carbono equivalente
CNC – *Computer Numeric Control*
CLT – *Cross Laminated Timber*
COP – Coeficiente de desempenho
EP – Energia primária
EUI – *Energy Use Intensity*
FEE – Fundo de Eficiência Energética
GD – Graus-dia
GEE – Gases com efeito de estufa
HVAC – *Heating, ventilation, and air conditioning*
ICB – *Insulation Cork Board*
NUTS – Unidades Territoriais para fins estatísticos
NZEB – Net Zero Energy Building
PIB – Produto Interno Bruto
PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
ppm – Partes por milhão
PV – Pannel fotovoltaico
RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS – Regulamento de Edifícios de Comércio e Serviços
REH – Regulamento de Edifícios de Habitação
RQSECE – Regulamento de Qualidade Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE – Sistema de Certificação Energética
tep – Toneladas equivalentes de petróleo
XLAM – Madeira laminada cruzada



*Figura 1 - Escola Secundária Lycée Schorge em Koudougou, Burkina Faso do arquiteto Francis Kéré que constrói utilizando materiais locais e tira partido de soluções construtivas que se relacionam com o local de implantação.
(Fonte: Garcia, 2016)*

01

Introdução

Motivação e Metodologia

1 Introdução

“As far as the design and construction of the build environment are concerned, we can master almost everything technically. We are capable of erecting buildings that produce just as much energy as they use. We can create wonderful spaces and places where people enjoy being. We know how to produce materials that in theory will last forever – for instance titanium or glass – and the same applies to materials that degrade if we wish them to. We can fly faster than sound or even stop Brownian motion. And even so – although we can do all these things – we often look into the future nervously and wonder if are doing everything right.” (McDonough & Braungart, 2002)





Figura 2 - Arquitetura vernacular da Beira a Trás os Montes, décadas de 50 e 60 (Fonte: fotografia de Artur Pastor)

1.1 Motivação e metodologia

Ao longo do último século foi possível observar um crescimento populacional acompanhado pelo aumento do consumo e produção de energia e, conseqüentemente, pelo aumento das emissões de carbono. No entanto, podemos perceber que estes fatores estão fortemente ligados ao design pobre que se tem desenvolvido nos últimos anos, quer na concepção de edifícios, quer no desenho das próprias cidades.

Fortemente influenciados pelo Estilo Internacional, que tinha como intuito solucionar problemas sociais e estéticos da época, direcionamo-nos hoje num caminho menos valioso que transforma os edifícios em estruturas isoladas desligadas das particularidades locais.

Tornamos ainda a nossa relação com a natureza numa dicotomia, na medida em que queremos integrá-la na paisagem citadina, mas acabamos por limitá-la a jardins e árvores esculpidas, plantando relvados, utilizando químicos para o seu crescimento e aparando-os constantemente. Criando grandes vãos que estabelecem uma ligação visual com o exterior, mas encerrando-nos dentro de grandes edifícios fortemente climatizados. Destruindo espaços verdes para a integração do edifício na natureza.

Considerando a expansão da construção e que esta representa 40% da energia final consumida, torna-se imprescindível que a relação do arquiteto com os conceitos sustentáveis estreite laços, tornando-se a arquitetura uma reflexão engenhosa que tira partido de construções culturalmente ricas, usando materiais simples e locais e ponderando fluxos de energia.

Inicia-se assim o conceito NZEB que não pretende subjugar a arquitetura à energia, selando janelas, minimizando ganhos solares ou fechando as pessoas em caixas, mas sim trabalhando de acordo com a natureza, tirando partido do local onde se insere e não lutando contra ele.

Assim, o conceito apresenta como pontos chave a diminuição da necessidade de energia e o aumento da produção de energias renováveis. Com isto, não devemos criar uma associação direta entre o objeto arquitetónico e a utilização de tecnologias, mas antes de mais considerar todas as estratégias passivas adequadas ao clima.

Organização da dissertação

Questões energéticas e ambientais

Políticas da União Europeia

NZEB

Contexto Português

Casos de Estudo

Decisões Projetuais

Aplicação ao Projeto Desenvolvido

Decisões projectuais

Simulação

Conclusão

É neste ponto fulcral que se pretende demonstrar que o edifício de energia nula necessita de alguma da ingenuidade presente na arquitetura vernacular. Subvalorizadas na atualidade portuguesa, as nossas construções mais antigas demonstram uma qualidade que vai além do seu aspeto final e se mantém fortemente caracterizada pela funcionalidade e conforto.

Deste modo, a construção de um NZEB deve partir de um pressuposto que não vê a casa como uma máquina, mas sim como uma forte relação de múltiplos aspetos. Considerando que um investimento inicial monetário e energético maior, como por exemplo em janelas de abrir, para além do conforto que proporciona aos habitantes, possibilita um posterior ganho na diminuição de arrefecimento, iluminação artificial e insuflação de ar fresco.

Assim, este trabalho parte de uma análise da necessidade energética e respetivas emissões que colocam em causa a conservação do planeta como o conhecemos, para uma das soluções que atualmente se apresenta mais viável, criar tanta energia renovável como aquela que necessitamos.

É realizado um enquadramento do conceito através dos seus princípios e respetivas definições, assim como uma breve análise à legislação europeia e nacional, partindo posteriormente para uma metodologia projectual que permite organizar a evolução do edifício em etapas, possibilitando no entanto avanços e retrocessos no seguimento do processo.

Por fim, é desenhado o caso de estudo onde se aplicam os vários conceitos, sendo realizadas várias simulações que permitam estabelecer a melhor escolha ao longo das várias etapas, e realizada uma comparação dos resultados finais com edifícios da mesma tipologia.



Figura 3 –Crítica que sugere através da frase “I don't believe in global warming” semi-submersa numa parede, que os fatos são mais eloquentes que as palavras (Fonte: Dancygier, 2017)

02

Energia e Políticas Públicas Europeias

Energia
Políticas Públicas Europeias

2 Energia e Políticas Públicas Europeias

Neste capítulo serão abordados a definição de energia e os principais indicadores energéticos que têm conduzido à necessidade de implantação de medidas sustentáveis, que deram origem ao conceito NZEB. Incluem-se ainda as políticas públicas europeias que foram publicadas ao longo dos últimos anos no sentido de atingir os objetivos necessários.



2.1 Energia

A energia e a arquitetura sempre estiveram interligadas, visto que a arquitetura é construída com energia e usada para mediar e aproveitar a energia existente no planeta. Deste modo, os arquitetos deveriam ter os conhecimentos básicos sobre o conceito no sentido de evitarem a utilização de combustíveis fósseis poluentes ou sistemas elétricos e mecânicos para que todas as soluções de design possam ser aplicadas em qualquer clima (Hootman, 2013).

Energia é definida fisicamente como o trabalho armazenado num sistema ou a capacidade dum sistema de realizar trabalho (Hegger, et al., 2008) e pode ser organizada em dois tipos: cinética ou potencial. No caso da energia cinética, a que faz o trabalho, pode ser apresentada na forma de energia de movimento, térmica, radiante ou sonora. Já a energia potencial, a que é armazenada, pode ser apresentada na forma de energia mecânica, gravitacional, nuclear, química ou elétrica (Hootman, 2013).

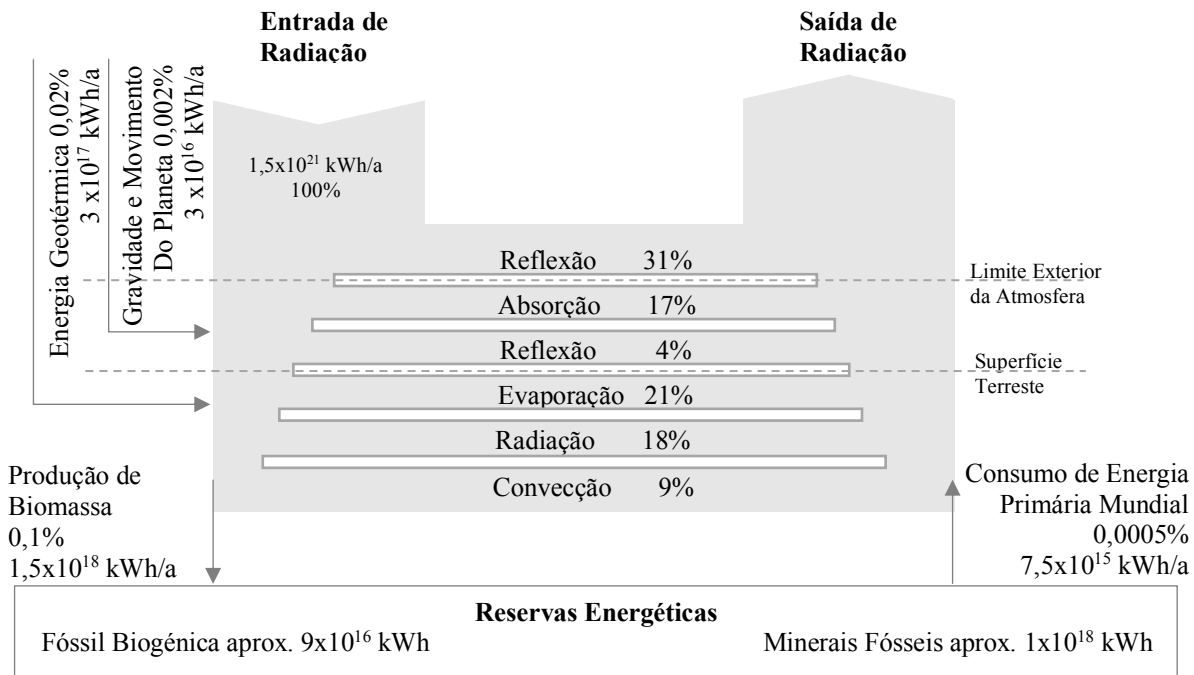


Figura 4 - O balanço energético da Terra (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.43)

Em 1847, Hermann Helmholtz descobre que a energia não pode ser criada, apenas transformada na sua forma, concebendo a base da primeira regra da termodinâmica, Lei da Conservação da Energia, que indica que a quantidade de energia num sistema isolado é sempre constante. Assim, em termos físicos:

$$\text{Energia} = \text{Exergia} + \text{Anergia} = \text{Constante}$$

Onde exergia representa a quantidade de energia no sistema que é usada para a realização de trabalho e anergia, por sua vez, corresponde à porção de energia que não é utilizada, desperdiçada no processo ou na transformação.

Posteriormente, em 1865, Rudolph Clausius apresenta a segunda regra da termodinâmica, também conhecida como Lei da Entropia, que diz que num sistema isolado o estado de desordem mantém-se constante ou aumenta com o tempo. Assim, tendo em conta que em todos os processos irreversíveis a entropia aumenta sempre, podemos concluir que os humanos não conseguem parar o crescimento da entropia, apenas abrandar. Contudo, o Sol consegue baixar a entropia pois envia energia de fora para dentro do sistema.

Tendo em conta os conceitos apresentados anteriormente, se considerarmos a Terra como um sistema fechado poderíamos assumir que se apresenta num estado de equilíbrio energético, visto que o que é retirado é igual ao introduzido.

O fluxo energético disponível na Terra advém de três fontes principais com quantidades de energia muito variáveis: a radiação solar, a energia geotérmica e a gravidade.

No que diz respeito à distribuição destes fluxos, podemos perceber que a radiação solar se divide em vários processos, sendo que 31% é refletida pela atmosfera e apenas 52% atinge a superfície terrestre. A quantidade de energia que fica disponível para evaporação, radiação e convecção é depois do processo de conversão enviada para o espaço como radiação com um comprimento de onda maior, ficando apenas uma pequena parte convertida em substâncias orgânicas. Do armazenamento em forma de biomassa apenas uma pequena parte é transformada em energia fóssil biogénica, que juntamente com os fósseis minerais criam as reservas de energia (Figura 4).

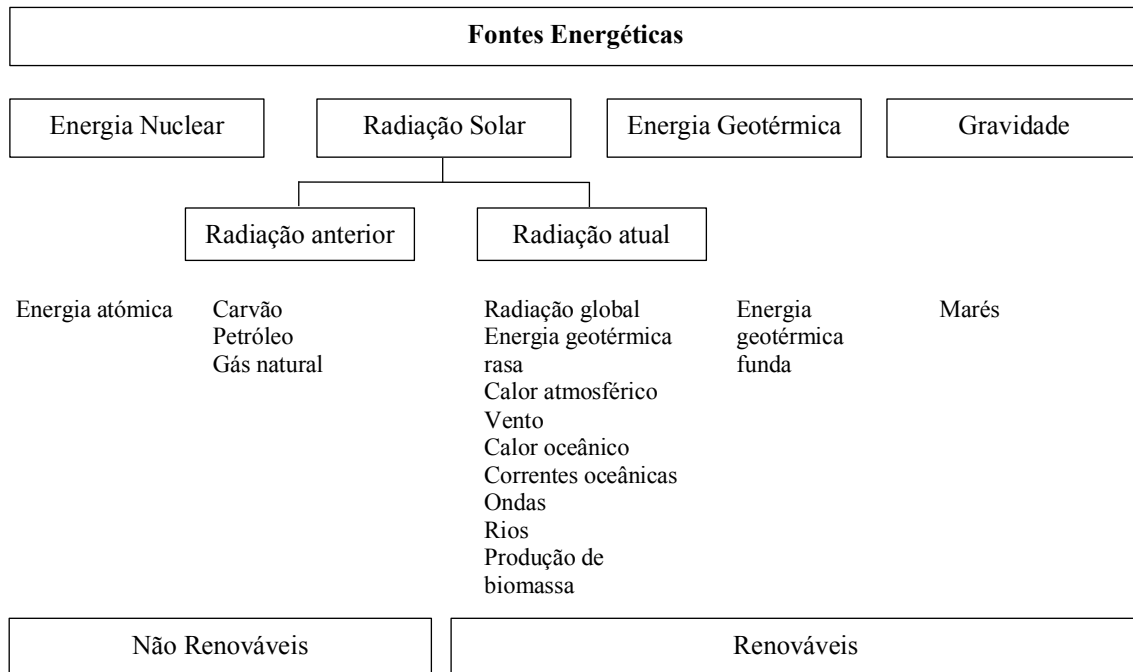


Figura 5 - As fontes energéticas da Terra e respectiva forma de ocorrência (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p. 44)

No entanto, este equilíbrio foi perturbado pelo uso intensivo de matérias-primas fósseis nos últimos 150 anos, visto que atualmente é libertada mais energia do que aquela que pode ser introduzida no sistema para criar novas reservas.

Desta forma, necessitamos urgentemente duma mudança energética que substitua os recursos primários finitos, como recursos fósseis e nucleares, por recursos renováveis (Hegger, et al., 2008) (Figura 5)

Para além disso, a utilização intensiva de matérias-primas fósseis provocou todo um conjunto de alterações climáticas a nível planetário, o que torna urgente a utilização de outras fontes energéticas.

Um dos fatores que tem agravado as alterações climáticas está ligado ao crescimento populacional das regiões menos desenvolvidas, que se espera que aumente a população mundial de 7,8 mil milhões, em 2020, para 10,8 mil milhões em 2100 (United Nations, 2019).

No entanto, o crescimento populacional poderia não ser um problema se alterássemos o modelo linear atual de *cradle to grave*, para um modelo circular de *cradle to cradle*. Um bom exemplo disso é uma comunidade de formigas, que apesar de terem uma grande densidade e produtividade, não são um problema para o ecossistema pois tudo o que elas fazem e utilizam retorna para um ciclo natural de *cradle to cradle*.

Se pensarmos no sistema biológico, a natureza opera sem desperdício: o dióxido de carbono que é exalado pelos humanos e pelos animais, é usado pelas plantas para o seu crescimento, os micro-organismos, os animais e as plantas transformam em proteína o azoto dos desperdícios e até mesmo os maiores nutrientes da Terra (carbono, hidrogénio, oxigénio e azoto) são cíclicos e reciclados. Seria através deste princípio de *waste equals food* que poderíamos considerar todo o potencial valor do desperdício que enviamos para os aterros, diminuindo assim a nossa pegada.

As primeiras indústrias acreditavam que os recursos eram infindáveis e apesar do nosso entendimento sobre a natureza se ter alterado ao longo do tempo, a indústria continua a operar sobre o mesmo paradigma. Contudo, não devemos considerar que o desperdício, a poluição e outros efeitos negativos são resultado das corporações a fazerem algo moralmente errado, mas sim consequência dum design desatualizado e pouco inteligente (McDonough & Braungart, 2002).

2.2 Principais indicadores energéticos

A organização deste capítulo teve como base o documento da Energia em Números Versão 2019. A eficiência energética é apresentada no separador da intensidade energética e dos indicadores de consumo per capita.

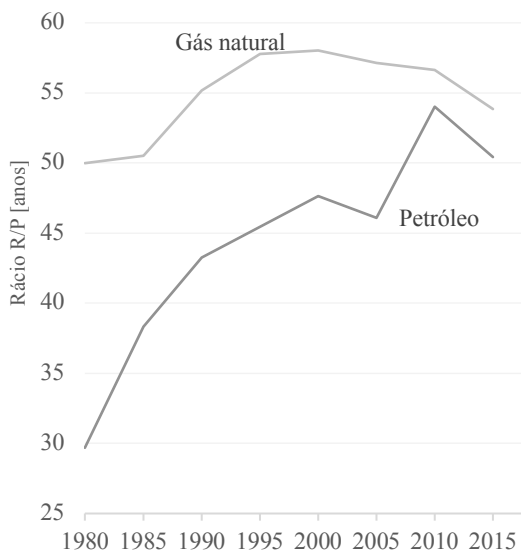
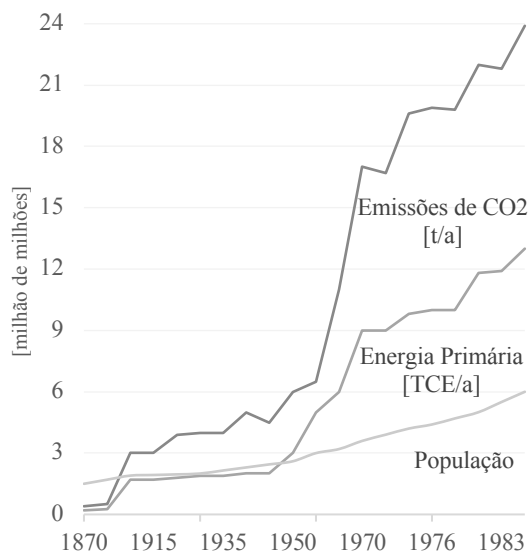
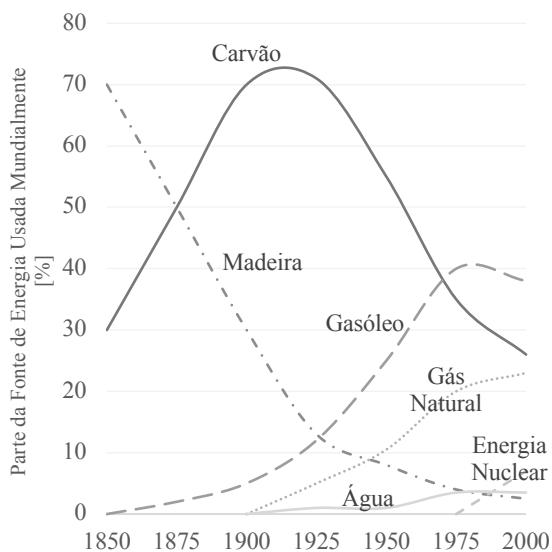


Figura 6 - Desenvolvimento das fontes de energia mundiais entre 1850 e 2000 (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.44)

Figura 7 - Comparação entre o crescimento populacional, o consumo de energia e as emissões de CO₂ entre 1870 e 2000 (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.44)

Figura 8 - Rácio entre reserva que permanece e a produção anual por energia (Fonte: adaptado de BP p.l.c., s.d.)

2.2.1 Produção e Consumo de energia

Se analisarmos as fontes de energia utilizadas ao longo da história, podemos perceber que na sua maioria vivemos de recursos renováveis e apesar da revolução industrial ter alterado a maneira de viver, tornando o avanço cultural, económico e tecnológico baseado maioritariamente no consumo de combustíveis fósseis, este consumo de energias não renováveis continua a representar uma pequena janela temporal (Hootman, 2013). No entanto, é possível verificar que consumimos mais energia desde a Segunda Guerra Mundial do que em todo o período anterior a esta (Figura 6).

Ainda assim, apesar destas fontes representarem a base atual da prosperidade, se tivermos em conta a interação do aumento da população, da produção industrial, do consumo de recursos e da poluição ambiental, poderemos prever os futuros limites (Figura 7).

Considerando que todos os grandes depósitos de energia fóssil já foram descobertos, poderemos estatisticamente fazer uma projeção temporal (Hegger, et al., 2008) da reserva através do rácio entre a reserva total que permanece no final do ano e a produção desse mesmo ano. Assim, segundo dados do final de 2018 a reserva mundial de petróleo tem uma longevidade de 50 anos, o gás natural aproximadamente 51 anos e o carvão 132 anos (BP Statistical Review of World Energy, 2019) (Figura 8).

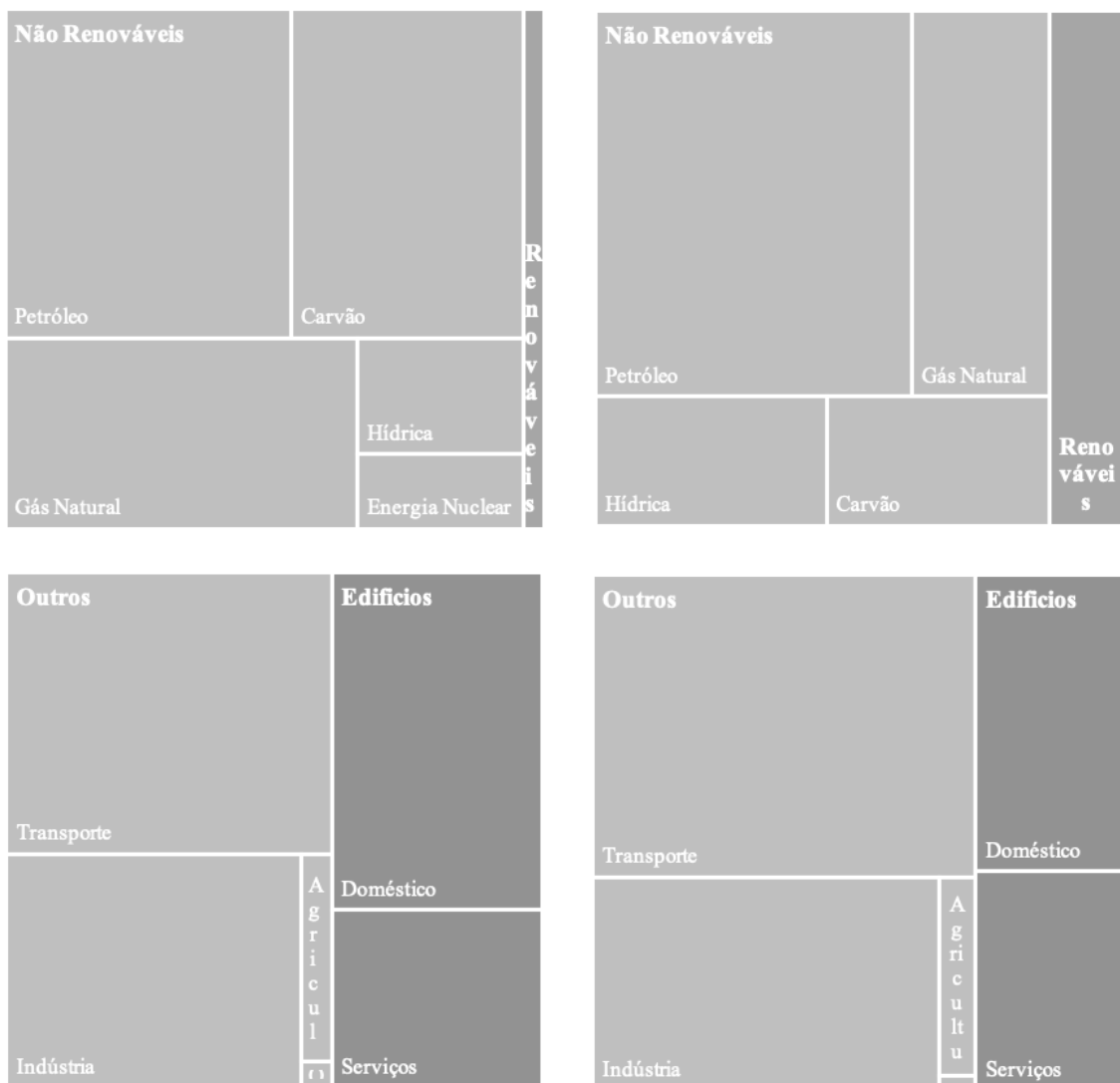


Figura 9 -Proporção de energia primária consumida por fonte mundialmente (a) e em Portugal (b) em 2018 e do consumo de energia final por sector na EU-28 (c) e em Portugal (d) em 2016 (Fonte: adaptado de BP Statistical Review of World Energy, 2019 e Directorate- General for Energy, 2018)

Atendendo a que os períodos de criação de petróleo e gás natural variam entre os 20 e os 440 milhões de anos e os do carvão entre os 10 e os 370 milhões de anos e que estes materiais têm uma grande interferência ambiental, são finitos, não apresentam uma boa distribuição geográfica e são dispendiosos, torna-se necessário apostar em energias renováveis de modo a conseguir responder às necessidades futuras (Hegger, et al., 2008).

De acordo com o BP Statistical Review of World Energy (2019), em 2018 o consumo primário de energia por combustível demonstrou que 89% da energia primária consumida mundialmente provem de energias não renováveis, já no caso da Europa o valor baixa para os 84%, demonstrando ainda uma melhoria a nível nacional onde estes combustíveis representam apenas 74%.

Tendo em consideração que 80% da população na Europa vive em cidades e passa a maioria do seu tempo dentro de edifícios (Hegger, et al., 2008), é facilmente perceptível porque é que os sectores relacionados com estes representam mais de 40% da energia final consumida, considerando a utilização doméstica e de serviços juntamente com o sector industrial e de transportes relacionado com a construção de edifícios (Directorate-General for Energy , 2018).

Os edifícios são ainda responsáveis por consumir aproximadamente 50% dos materiais extraídos do planeta, bem como, juntamente com os trabalhos de engenharia civil, gerar 60% do resíduo produzido (Hegger, et al., 2008).

	Energia Nuclear, Carvão, Gás, Petróleo	Biomassa	Fotovoltaico, Energia eólica, Energia hídrica pequena escala	Energia térmica solar	Energia hídrica de grande escala/ Central elétrica solar	Solar hidrogénio (larga escala)	Solar hidrogénio (pequena escala)
Fonte de energia primária	◦	•	-	-	-	-	-
Comércio de energia primária	◦	•	-	-	-	-	-
Processamento de energia	◦	•	-	-	-	◦	•
Produção de tecnologia de conversão	◦	◦	◦	•	◦	◦	◦
Conversão em centrais elétricas	◦	•	•	-	◦	•	•
Transmissão de energia/ comércio de energia secundária	◦	•	•	-	◦	◦	•
Financiamento de centrais elétricas	◦	•	•	•	◦	◦	•

◦ Processos de concentração e monopolização são pré-determinados (exceto cogeração) • Processos de concentração e monopolização são tecnicamente ou politicamente evitáveis ou impossíveis - Não aplicável *Tabela 1*

	Aquecimento e eletricidade de energias renováveis com armazenamento de energia	Biomassa para energia e matérias-primas	Fornecimento de energia fóssil ou nuclear
Extrair e processar energia	-	•	◦
Armazenar energia	•	•	◦
Distribuir energia	•	•	•
Instalação de estações de conversão de energia	•	•	◦
Operação de estações de conversão de energia	•	•	◦
Manutenção de estações de conversão de energia	•	•	◦
Design de sistemas de fornecimento de energia	•	•	◦
Taxas municipais ou regionais nas receitas	•	•	◦
Instituições de crédito regional	•	•	◦

◦ Variação Regional Possível • Variação Regional Impossível - Não aplicável

Tabela 2

2.2.2 Dependência Energética

A dependência energética é definida como a proporção de energia importada em relação às necessidades de consumo energéticas (Observatório da Energia; DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística; ADENE – Agência para a Energia, Unidade de Informação, 2019). Assim,

$$\begin{aligned} \text{Dependência Energética (DE)} &= ^1 \\ &= \frac{\text{Importações} - \text{Exportações}}{\text{Consumo Energia Primária} + \text{Navegação Marítima} \\ &\quad \text{Internacional} + \text{Aviação Internacional}} \times 100 \end{aligned}$$

No passado, análises às economias nacionais demonstravam que era impossível um crescimento económico constante ao mesmo tempo que se tomavam ações sustentáveis e ecologicamente responsáveis. Todavia, Nicholas Stern, o antigo chefe economista do Banco Mundial, publica em 2006 o *Stern Report* onde expõe que este conflito já não existe, sendo que a longo prazo torna-se até mesmo essencial ter ambos na base do desenvolvimento (Hegger, et al., 2008).

As energias renováveis tornam-se assim o ponto chave desta mudança, na medida em que estão disponíveis em todo o lado e são passíveis de serem recolhidas e usadas ou convertidas no local ou área, respondendo a esta responsabilidade sustentável ao mesmo tempo que ajudam a substituir as grandes empresas responsáveis pelo monopólio energético, dando assim lugar à descentralização e à independência local ou regional (Hegger, et al., 2008) (Tabela 1 e Tabela 2).

Tabela 1 - Evitar da concentração e monopolização por fonte de energia (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.16)

Tabela 2 - Distribuição regional uniforme das atividades económicas numa comparação de utilização de recursos solares e não solares (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p. 16)

¹ Fonte: DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia, 2019

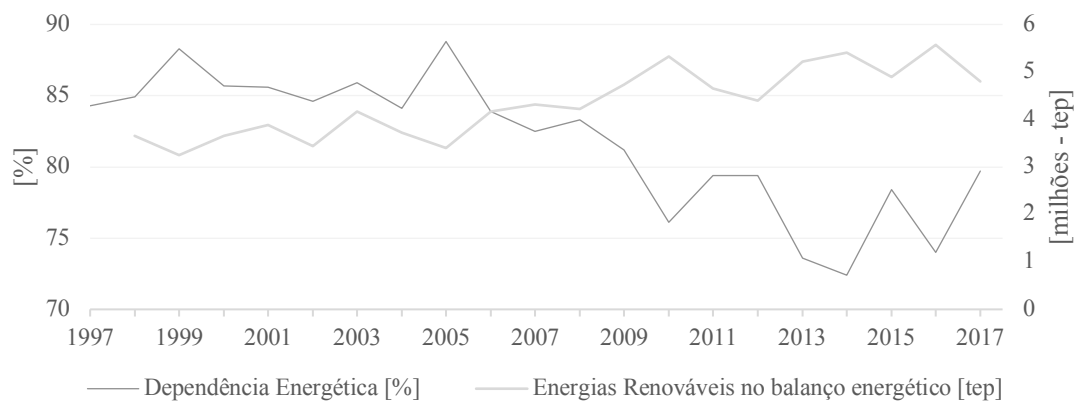


Figura 10 - Evolução da dependência energética e da produção de energias renováveis em Portugal, entre 1997 e 2017 (Fonte: Observatório da Energia, et al., 2019 e PORDATA, 2019)

No contexto português, fortemente marcado pela inexistência de produção proveniente de fontes de energia fósseis, a dependência energética tem variado nos últimos 20 anos entre os 70 e os 90%, tendo como grande responsável dessa amplitude a produção de fontes de energia renováveis (Figura 10) que permitem satisfazer a procura interna com menos importação.

A política energética nacional tem como objetivo a redução da dependência tendo por isso apostado ao longo dos anos nas energias renováveis; no entanto, a variabilidade dos sistemas causa ainda uma grande influência na produção. Em 2017 a produção hídrica foi aproximadamente metade do que a do ano anterior, gerando um aumento na importação de energia e conseqüentemente na dependência energética, colocando Portugal como quarto país mais dependente da União Europeia, muito acima da média (Observatório da Energia; DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística; ADENE – Agência para a Energia, Unidade de Informação, 2019).

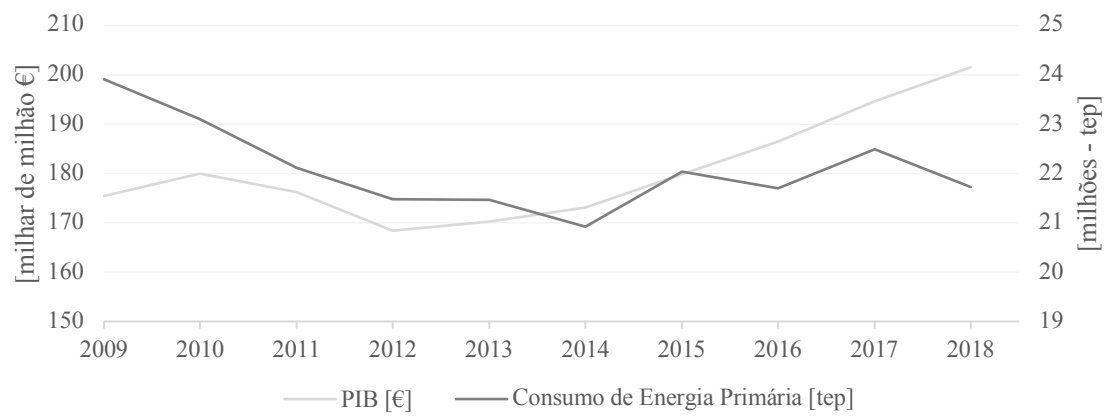


Figura 11 - Relação entre o PIB e o consumo de energia primária em Portugal entre 2009 e 2018 (Fonte: DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia, 2019 e PORDATA)

2.2.3 Intensidade Energética

Neste capítulo serão abordados dois conceitos distintos relativos à intensidade energética, um voltado para uma vertente económica e outro para o uso energético.

No que diz respeito à intensidade energética da economia, esta serve como medida de eficácia apresentando-se como a relação entre a procura de energia, geralmente analisada como primária ou final em toneladas equivalentes de petróleo (tep), com o produto interno bruto (PIB) em milhões de euros (Observatório da Energia; DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística; ADENE – Agência para a Energia, Unidade de Informação, 2019).

Assim, segundo Hegger et al. (2008) era possível no passado estabelecer uma relação de causalidade entre as duas medidas, no sentido em que quanto menor o PIB menor seria a procura de energia dum determinado país, enquanto os países industrializados manifestavam ambos valores elevados. Deste modo,

$$\frac{\textit{Produto Interno Bruto}}{\textit{Consumo de Energia Primária}} = \textit{indicador do padrão de qualidade de vida}$$

Todavia, com a crise petrolífera de 1973 o desenvolvimento económico foi desconectado da energia consumida; assim sendo, atualmente podemos utilizar a relação destes dois fatores para quantificar o quão eficiente é o uso energético, dado que:

$$\frac{\textit{Consumo de Energia Primária}}{\textit{Produto Interno Bruto}} = \textit{eficiência do uso energético}$$

Em Portugal nos últimos anos a relação de consumo energético primário por PIB tem diminuído, demonstrando que a criação de valor tem aumentado relativamente ao consumo de energia (Figura 11).

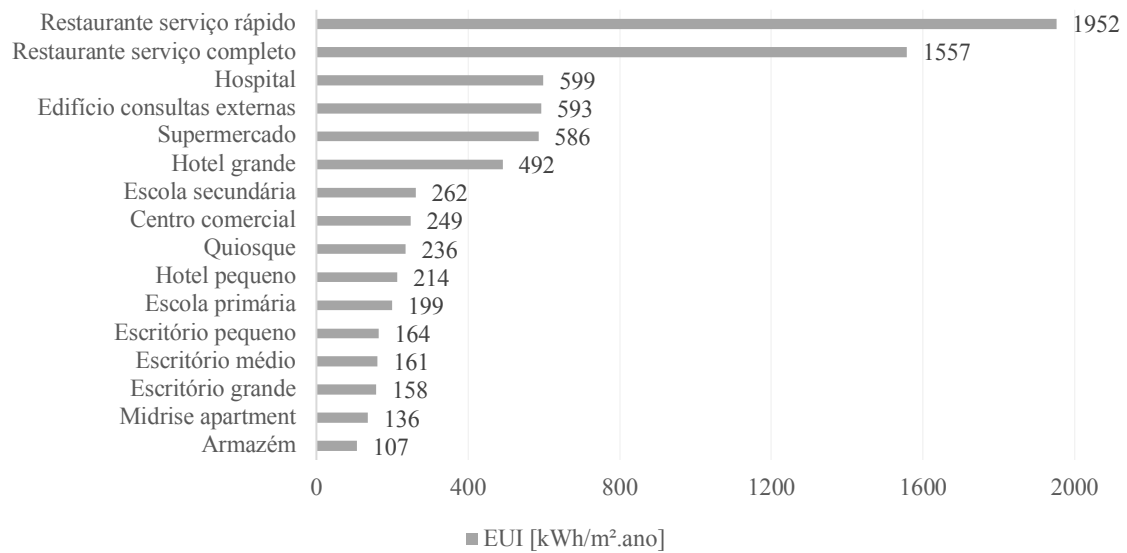


Figura 12 - Comparação do EUI de diferentes tipos de edifícios (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.108)

No que diz respeito à intensidade energética do uso, esta sugere uma métrica útil para comparar as performances energéticas de edifícios em climas semelhantes ou do mesmo tipo ou com bases pré-estabelecidas. As unidades mais comuns para quantificar a intensidade energética de uso anual (o *energy use intensity*, EUI) incluem kBtu/ft², kWh/ft², kWh/m² e MJ/m².

$$\text{Energy Use Intensity} = \frac{\text{Total de energia usada pelo edifício por ano}}{\text{Total de área bruta do edifício}}$$

A importância de não comparar diferentes tipos de edifícios deve-se à grande variação da carga energética, que se encontra bastante dependente da utilização do edifício que determina os horários, as densidades ocupacionais, o tipo de tomadas e processos de carga, cargas de água quente sanitária e de arrefecimento do equipamento e ganhos de calor interno da iluminação. Assim, através da análise da Figura 12 é possível perceber que existe uma discrepância entre os edifícios que utilizam apenas climatização e iluminação, para aqueles que apresentam grandes gastos energéticos nas cozinhas, piscinas e em arrefecimento, podendo ainda perceber-se que os serviços de restauração apresentam uma diferença tão ampla devido ao facto de terem uma intensa carga energética e uma pequena área, ao contrário dos serviços de hotelaria que incluem as cozinhas mas apresentam grandes áreas com baixa carga energética.

Assim sendo, a abordagem NZEB mostra a sua viabilidade influenciada pelo carácter tipológico do edifício, sendo possível perceber através da intensidade energética de uso (EUI) o nível de dificuldade para atingir o balanço zero, considerando que quanto maior foi o valor de EUI mais desafiante será o equilíbrio (Hootman, 2013).

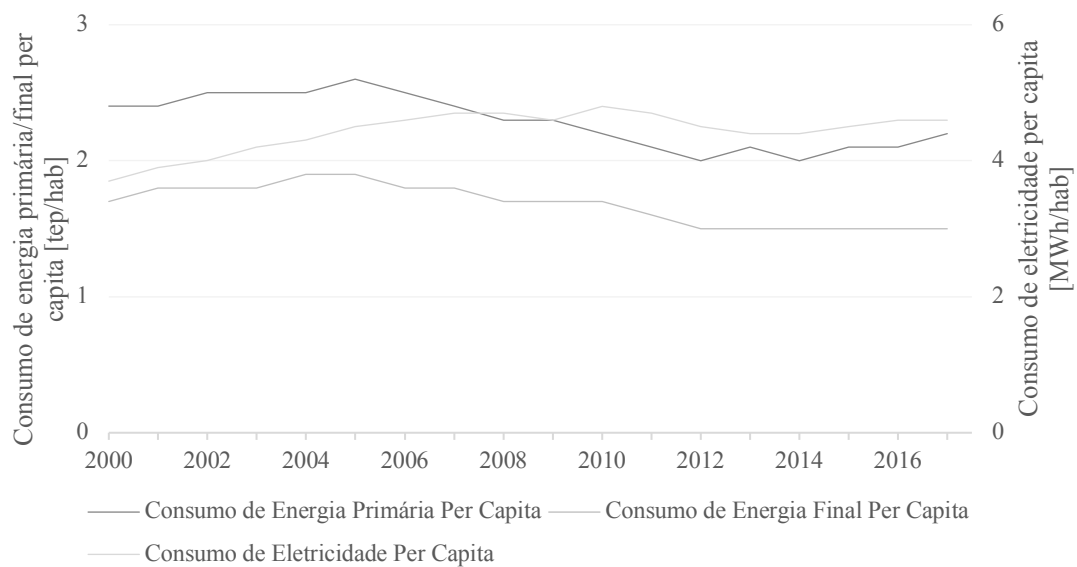


Figura 13 - Consumo de energia por habitante em Portugal entre 2000 e 2017 (Fonte: adaptado de Observatório da Energia, et al., 2019, p. II)

2.2.4 Indicadores de consumo energético per capita

O consumo energético por pessoa em Portugal tem diminuído ao longo dos anos (Figura 13), estando posicionado em 2017 em 5 e 6º lugar nos países com menor consumo de energia primária e final, respetivamente (Observatório da Energia; DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística; ADENE – Agência para a Energia, Unidade de Informação, 2019).

No que diz respeito à energia elétrica por pessoa em 2017, aproximadamente 26% foi utilizada no setor doméstico, 24% no setor não doméstico e 3% em edifícios do estado (Pordata, 2019).

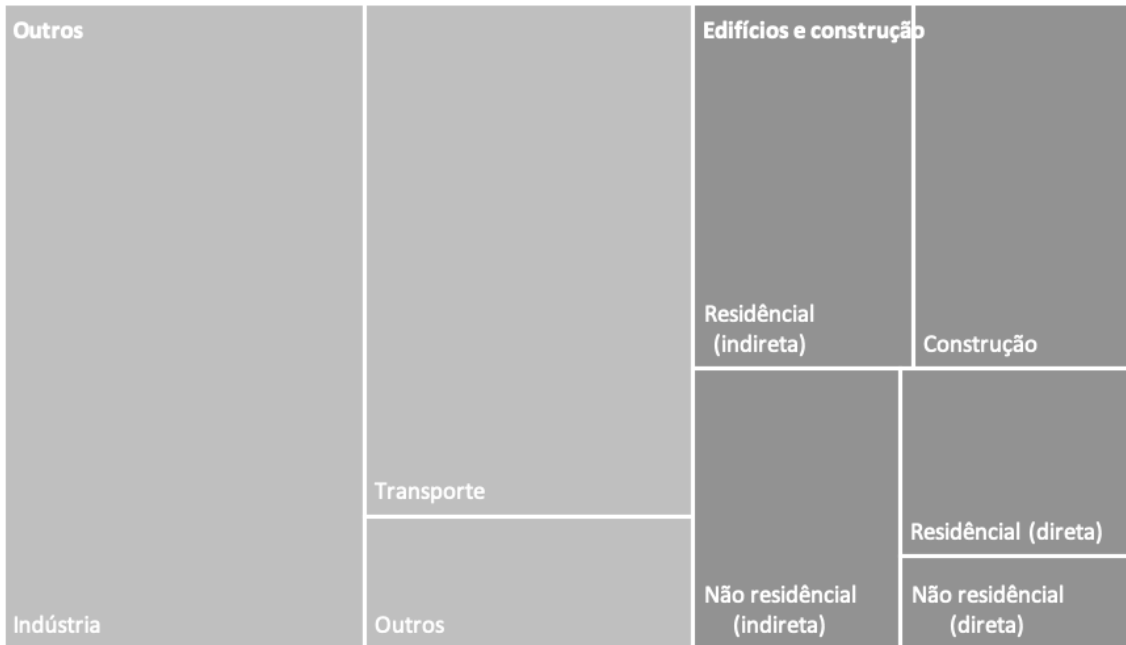


Figura 14 - Quota global de emissões de edifícios e construção (Fonte: International Energy Agency, United Nations Environment Programme, 2018, p.11)

2.2.5 Emissões de Gases com Efeito de Estufa

Apesar de serem muitas vezes referidas como emissões de carbono, o Protocolo de Kyoto identifica seis gases que contribuem para o efeito de estufa, sendo eles dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarboneto, perfluorcarboneto e hexafluoreto de enxofre. Devido ao fato dos gases apresentarem um potencial de aquecimento global variável e ao dióxido de carbono (CO₂), apesar de não ser o que tem maior potencial, pela quantidade de emissões se tornar o mais prejudicial, vemos muitas vezes serem calculados todos os gases em termos equivalente ao CO₂, surgindo a medida de CO₂eq.

Os gases com efeito de estufa (GEE) contribuem para a retenção de calor na atmosfera (Hootman, 2013), sendo o dióxido de carbono proveniente da queima de combustíveis fósseis o maior responsável pelo aquecimento global (Mertz, et al., 2007).

Tendo isto em consideração, as questões que se levantavam eram qual a quantidade de gases com efeito de estufa que o planeta suporta até aos humanos correrem risco, quanto tempo teríamos para alterar o nosso comportamento e quais as medidas que eram necessárias tomar.

A previsão de aquecimento para a latitude europeia para 2100 varia entre os 1,5 e os 5,8°C, o que pode colocar em perigo o sistema climático, já que segundo o World Climate Council a subida máxima tolerável sem danos irreversíveis vai até aos 2°C. Consequentemente, e respondendo à primeira questão, a concentração de CO₂ não deve ultrapassar as 450 partes por milhão (ppm).

Para responder à segunda questão devemos ter em consideração que em 2008 cada pessoa produz em média 4,4 toneladas de CO₂ por ano e a concentração total de CO₂ era de 383 ppm e apresentava uma taxa de subida de 2,5 ppm a cada ano; assim sendo para sermos climaticamente compatíveis deveríamos reduzir a média global por pessoa para 1,3 toneladas de CO₂ até 2050. Sendo ainda recomendado pela Comissão da União Europeia uma redução de 30% até 2020 (Hegger, et al., 2008).

Para atingir esse objetivo a humanidade é desafiada a tornar as suas atividades neutras no que diz respeito a estas emissões (Mertz, et al., 2007). Deste modo, torna-se essencial uma mudança na construção e no uso de edifícios, que representavam cerca de

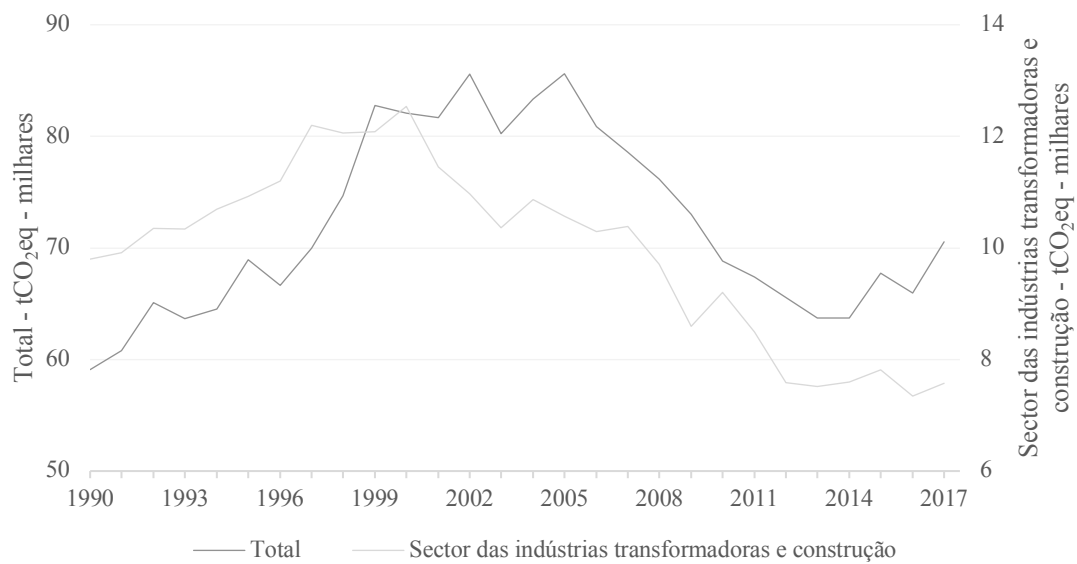


Figura 15 - Emissões de gases com efeito de estufa em Portugal - total e no sector das indústrias transformadoras e da construção (Fonte: adaptado de PORDATA (B), 2019)

40% dos gases com efeito de estufa, devendo ser tomada uma abordagem NZEB, que tem como um dos maiores benefícios a redução destes (Hegger, et al., 2008) (Figura 14).

Devido à implantação de várias destas medidas em Portugal, as emissões totais de GEEs que observaram uma subida na década de 1990, descem 18% de 2005 para 2017, por sua vez acompanhada por uma descida das emissões pelo sector das indústrias transformadoras e da construção (Figura 15). As emissões totais de GEE por habitante sofreram uma descida de 8,4% face a 2007, sendo que em 2017 eram de 6,9t CO₂eq/hab. Podemos assim concluir que apesar de estar 21% abaixo da média da União Europeia continua a representar um valor elevado se compararmos com a meta de 1,3t CO₂/hab (Observatório da Energia; DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística; ADENE – Agência para a Energia, Unidade de Informação, 2019).

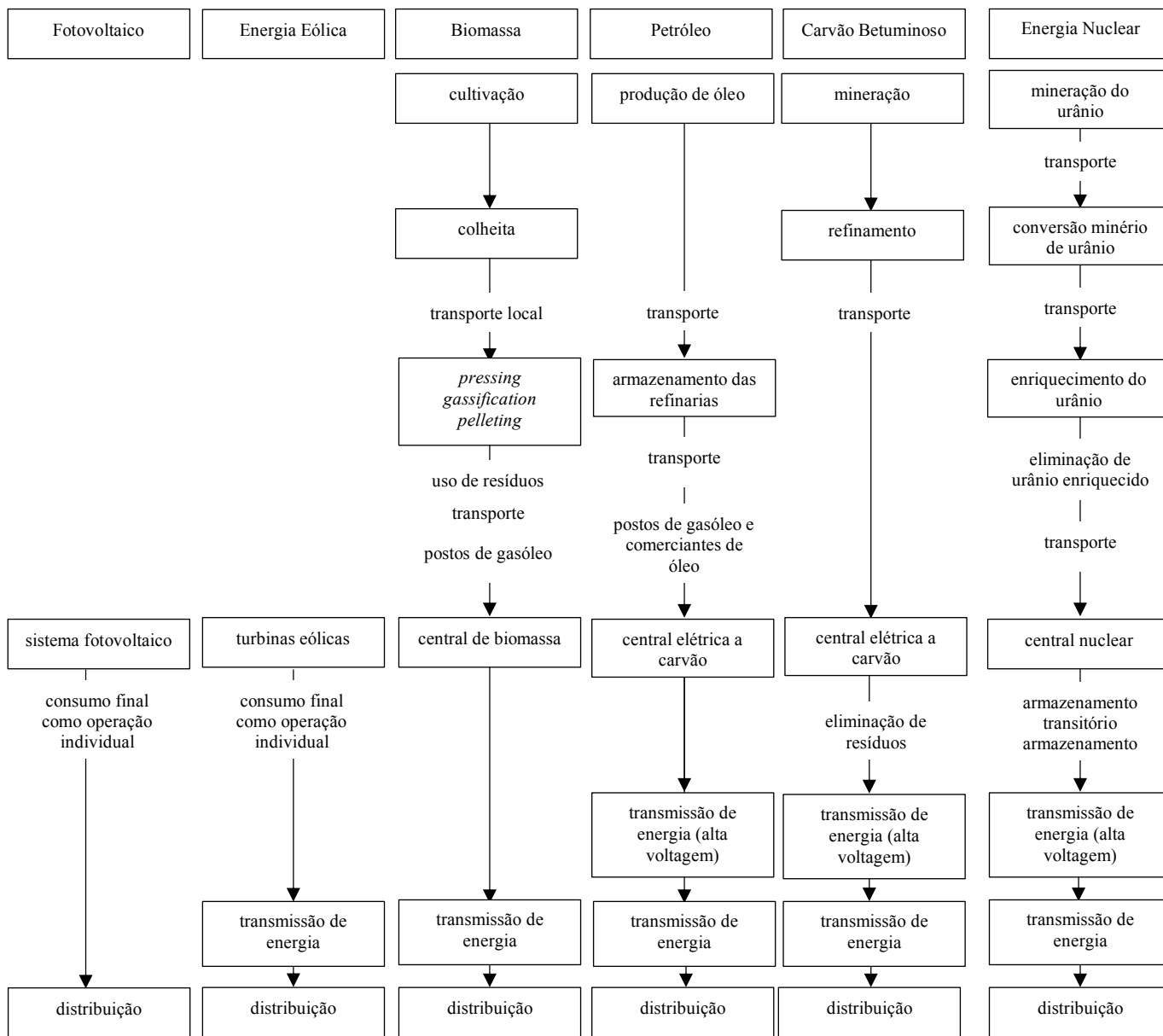


Figura 16 - Comparação de cadeias de fornecedores de energia para a geração de eletricidade (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.15)

2.2.6 Energias Renováveis

A utilização de energias renováveis tem sido impulsionada nos últimos anos devido à finitude e à subida dos preços dos recursos fósseis, à sua disponibilidade global e às consequências negativas das energias fósseis e nucleares, que ficaram mais expostas após o desastre nuclear de Chernobyl (Ucrânia Soviética, 1986) (Hegger, et al., 2008) e mais recentemente no Japão (Fukushima, 2011), bem como pelo derrame petrolífero no Golfo do México (2010) (Hootman, 2013).

Para reconhecer as oportunidades económicas, técnicas, culturais e políticas dos recursos renováveis devemos fazer uma comparação entre as cadeias totais do fornecimento de energia, com as suas constantes e variações, não considerando apenas os seus outputs. Como fator constante temos a fonte de energia, que no caso das renováveis se apresentam mais diversas e difundidas, enquanto os fatores variáveis resultam da variedade e constante melhoramento técnico e consequente esforço económico para obter energia.

Tal como podemos verificar no esquema, a energia fotovoltaica e eólica possibilitam que a recolha e uso ou conversão da energia seja realizado na região ou local, o que torna a sua cadeia mais curta e permite a promoção da independência local.

Por sua vez, devemos ter em consideração que existe uma influência recíproca entre o fator variável e a oscilação da relação entre o potencial técnico e teórico. O potencial técnico (porção do potencial teórico que considera as restrições técnicas necessárias para o uso prático de uma determinada fonte) ainda se encontra muito afastado do total do potencial teórico (toda a energia fisicamente disponível numa determinada área por um espaço temporal, no que diz respeito às energias provenientes de fontes renováveis) (Figura 17 e Figura 18).

No entanto, a intenção de que em 2050 as energias renováveis representem 50% da energia distribuída, promoverá a geração de eletricidade proveniente das fontes com maior potencial, como a radiação solar e o vento. Pelo fato destes recursos serem altamente oscilantes, torna-se necessário reformular as estruturas de fornecimento no que concerne à gestão de cargas, armazenamento de reservas e controlo das centrais elétricas.

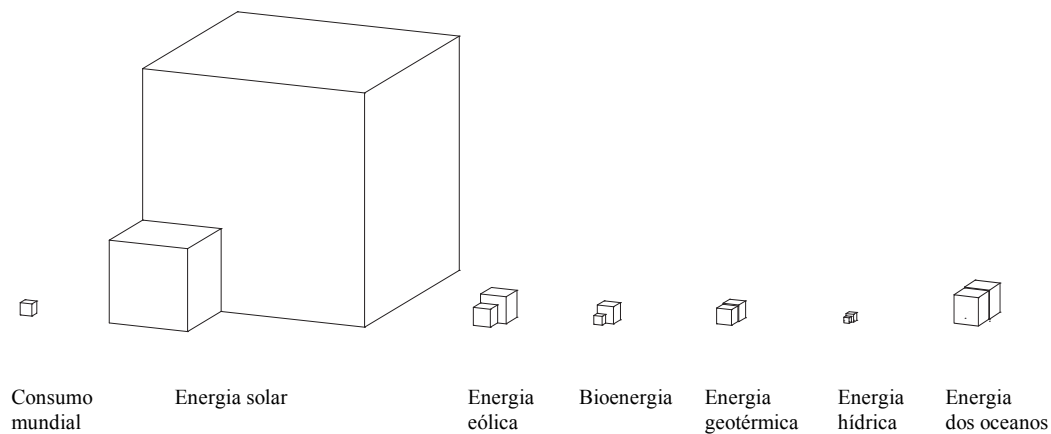


Figura 17 – Potencial teórico anual (2011) e técnico (2012) em comparação com o consumo energético mundial (2015) (Fonte: adaptado de Hegger, et al., 2008, p.46, atualizado com base nos dados de Teske, et al., 2019, p.163)

Economicamente a viabilidade da expansão das energias renováveis tem aumentado, na medida que o seu custo técnico e comercial tem baixado e simultaneamente têm subido os preços da energia fóssil e nuclear, devido à limitação da disponibilidade, às sobretaxas de emissões de CO₂, à incerteza de fornecimento e aos fatores de risco. Sendo por isso previsível que em 2025 o custo operativo destas fontes iguale o preço das finitas.

Por fim, devemos ter em consideração que esta mudança depende das tecnologias que são oferecidas, necessitando por isso analisar-se a viabilidade dos vários sistemas técnicos disponíveis (Hegger, et al., 2008).

Radiação Solar

-Térmica Solar

Possibilita a conversão da radiação em calor e eletricidade, podendo ser usado para aquecer o edifício e a água sanitária, bem como o arrefecimento solar (Hootman, 2013). A sua captação pode ser realizada em grandes centrais elétricas, sendo também viável a instalação de pequenos formatos que podem ou não estar acoplados ou edifícios. Apresenta-se ainda dependente dos diferentes níveis de radiação nas diversas localizações, no entanto no contexto português esse problema não se aplica pelos elevados índices de radiação que apresenta (ADENE - Agência para a energia, 2016).

-Fotovoltaica

Estes painéis são a forma mais comum de captação de energia devido à sua versatilidade, eficiência-custo e capacidade de integração a várias escalas, podendo também ser separado ou integrado no edificado, e possibilita a conversão de energia solar em energia elétrica (Hegger, et al., 2008). Este sistema fixo apresenta uma ampla gama de capacidades e tendencialmente gera mais energia no verão, requer uma baixa manutenção, opera silenciosamente e é livre de poluição (Hootman, 2013).

-Chaminés Solares

O sistema de centrais de chaminés solares são explorações de larga escala que possibilitam a transformação da energia solar em eletricidade. Desenvolve-se através dum processo em que o ar é aquecido sob um coletor transparente, ascendendo por uma chaminé central e mobilizando uma ou mais turbinas na base da chaminé que transformam o fluxo de ar em eletricidade. (Hegger, et al., 2008).

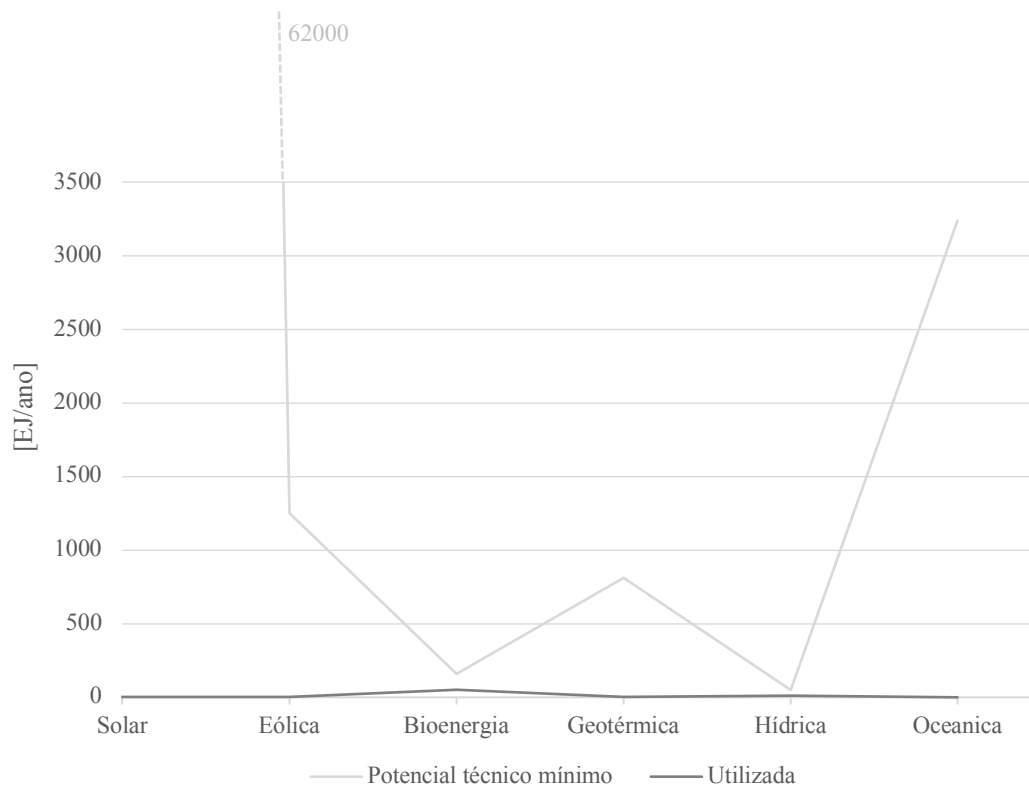


Figura 18 - Potencial técnico mínimo (2012) e energia utilizada (2015)(Fonte: Teske, et al., 2019, p.163)

Vento

A energia eólica é utilizada na sua maioria para geração de eletricidade, e apresenta uma grande variação regional, estando no entanto disponível em todo o mundo. A sua produção pode ser realizada dia e noite desde que exista vento, o que indica que existirão menos picos de produção.

A integração nos edifícios está ainda numa fase embrionária (Hegger, et al., 2008) e os aerogeradores domésticos possibilitam um alcance de potência que varia entre 1 kW e 100 kW. As turbinas mais pequenas geram menos energia, no entanto a diferença não é proporcional dependendo de diversas variáveis (Hootman, 2013).

Geotérmica

A energia geotérmica já encontra disponível na Europa a tecnologia necessária para a sua produção, tendo como grande vantagem não ser intermitente, isto é, está disponível 7 dias por semana durante 24 horas (Hootman, 2013). Pode ser utilizada para produzir eletricidade bem como para aquecimento ou arrefecimento (Hegger, et al., 2008).

Ground Coupling

Pode ser utilizado por toda a Europa e a cada ano são instalados mais de 300 000 sistemas de bombas de calor, sendo empregue para o aquecimento do espaço e da água quente sanitária. Utiliza a energia armazenada nas camadas superiores da terra e nos lençóis de água através de trocas de calor.

Atmosférica

Tal como no ground coupling podem ser instalados sistemas de bombas de calor para o aquecimento do espaço e da água quente sanitária através de trocas de calor com o ar exterior. Pode ser utilizado em várias regiões, sendo que a eficiência deste sistema diminui à medida que a amplitude das temperaturas, interna e externa, aumenta.

Biomassa

Os materiais lenhosos são mundialmente as matérias primas mais utilizadas para a geração de energia. Os seus sistemas tecnológicos conseguem atualmente uma grande eficácia com baixas emissões e o seu output pode variar entre poucos kW e vários MW.

Podendo ainda ser considerada a energia hídrica proveniente das correntes dos oceanos, das marés, das ondas, da térmica oceânica e, por fim, da energia hidroelétrica que através de vários processos possibilitam a transformação desta energia em energia elétrica (Hegger, et al., 2008).

Diretiva 93/76/CEE	Limitação das emissões de dióxido de carbono através do aumento da eficácia energética
Diretiva 2002/91/CE	Desempenho energético dos edifícios
Diretiva 2006/32/CE	Eficiência na utilização final de energia e serviços energéticos
Diretiva 2009/28/CE	Promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis
Diretiva 2010/31/UE	Desempenho energético dos edifícios (Reformulação)
Diretiva 2012/27/UE	Eficiência energética
Diretiva 2018/844/UE	Desempenho energético dos edifícios e eficiência energética

Figura 19 - Diretivas Europeias relativas a performances energéticas de edifícios, nomenclatura e respetivos assuntos

2.3 Políticas europeias

As primeiras preocupações energéticas manifestadas nas políticas europeias surgem, em 1993, aquando da edição da Diretiva 93/76/CEE, que visava limitar as emissões de dióxido de carbono através do aumento da eficácia energética. Considerando necessário, entre outros programas, a certificação energética de edifícios e o isolamento térmico em edifícios novos (Conselho das Comunidades Europeias, 1993).

Posteriormente, em 2002, surge a primeira *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) denominada Diretiva 2002/91/CE. Onde se enunciava que cada estado membro deveria: estabelecer medidas necessárias para assegurar a determinação de requisitos mínimos de desempenho energético, em edifícios novos ou existentes, com uma área útil total superior a 1000 m², quando sujeitos a obras de renovação; assegurar que seja fornecido um certificado de desempenho energético ao proprietário, potencial comprador ou arrendatário; inspeção de caldeiras e dos sistemas de ar condicionado; e, por fim, enquadramento para uma metodologia, nacional ou regional, de cálculo do desempenho energético do edifício.

Esta metodologia de cálculo deveria integrar as características, posição e orientação do edifício, condições climatéricas do local de implantação, instalação de aquecimento, fornecimento de água quente e ar condicionado, ventilação natural e mecânica, sistemas solares passivos, condições climáticas interiores e instalação fixa de iluminação no caso dos edifícios não residenciais. Devendo considerar a influência positiva da produção energética resultante de fontes renováveis, dos sistemas urbanos e coletivos de aquecimento e arrefecimento, da iluminação natural e da eletricidade produzida por co-geração. Devendo, por fim, ser classificados em categorias segundo a sua tipologia (Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2002).

Com o intuito de incentivar a relação custo-eficácia do aumento da eficiência na utilização final de energia dos estados membros, surge a Diretiva 2006/32/CE, que providencia os valores de teor de combustíveis selecionados para utilização final, exemplos de medidas para melhoria da eficiência e a metodologia para o cálculo do objetivo nacional indicativo de economias de energia e respetivo quadro geral para a sua medição e verificação (Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2006).

Torna-se, ainda, necessário promover a utilização de energias provenientes de

ISO/EN 52000-1	Overarching EPB assessment – Part 1: General framework and procedures
ISO/EN 52003-1	Indicators requirements, ratings and certificates – Part 1: General aspects and application to the overall energy performance
ISO/EN 52010-1	External climatic conditions – Part 1: Conversion of climatic data for energy calculations
ISO/EN 52016-1	Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads – Part 1: calculation procedures
ISO/EN 52018-1	Indicators for partial EPB requirements related to thermal energy balance and fabric features – Part 1: overview of options

Figura 20 - Normas gerais onde estão os anexos nacionais que servem de base para a metodologia de cálculo nacional (Fonte: adaptado de ISO, s.d.)

fontes renováveis; neste sentido a Diretiva 2009/28/CE impõe objetivos nacionais obrigatórios no consumo final bruto e para a quota de energias renováveis nos transportes. No caso de Portugal, até 2020 a quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia deveria atingir os 31%, tendo em consideração que em 2005 este valor representava já 20,5%.

Neste documento é disponibilizada a fórmula de normalização para contabilização de eletricidade produzida por energia hídrica ou eólica, os valores de teor energético dos combustíveis para transporte, os critérios para certificação de instaladores, as regras de cálculo do impacto de combustíveis na produção de GEEs, os requisitos mínimos para o modelo harmonizado de planos de ação nacionais de energias renováveis e a fórmula para o cálculo de energia obtida por bombas de calor (Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2009).

Em 2010 é realizada a reformulação da EPBD na Diretiva 2010/31/EU que continuava a ter o mesmo objetivo e a utilizar os mesmos requisitos acrescentando a necessidade de criar planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia e sistemas de controlo independentes de certificados de desempenho energético e de relatórios de inspeção. Disponibilizando também uma metodologia comparativa para a determinação dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos.

No que diz respeito ao enquadramento da metodologia de cálculo do desempenho energético do edifício acrescenta apenas a consideração de cargas internas, mantendo os restantes parâmetros iguais (Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2010).

A eficiência energética sofre uma nova mudança com a Diretiva 2012/27/EU que estabeleceu um quadro de medidas para atingir 20% em eficiência na utilização e aprovisionamento de energia até 2020 (Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2012).

A mais recente mudança surge na Diretiva 2018/844/EU que altera as duas anteriores e esclarece que as metodologias de cálculo nacionais se devem basear nas normas gerais (Figura 20). Devendo o indicador numérico da utilização de energia primária para efeitos de certificação do desempenho energético estar expresso em kWh/(m².a) podendo adicionar um fator de GEEs em kg de CO_{2eq} por (m².a) (Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2018).



Figura 21 - Parque Estadual Serra da Cantareira, paisagem cultural moderna, dicotomia entre a paisagem urbana e paisagem natural (Fonte: Miranda Andrade, 2014)

03

NZEB

Princípios NZEB
Definição
Definição em Portugal

3 NZEB

Neste capítulo serão abordadas as várias componentes necessárias para atingir um NZEB, partindo da organização dos diversos princípios para o conceito de definição, que pode ser repartida em várias conceções.

No final da contextualização da definição é referida a abordagem legislativa portuguesa, baseada nestes fatores e nas políticas europeias, mencionadas no capítulo anterior, complementado com o sistema de certificação energética e respetivos incentivos à eficiência energética.

Conclui-se com alguns casos de estudo internacionais e nacionais, referindo-se ainda a relação da arquitetura com a tecnologia solar, atualmente a mais desenvolvida no mercado.



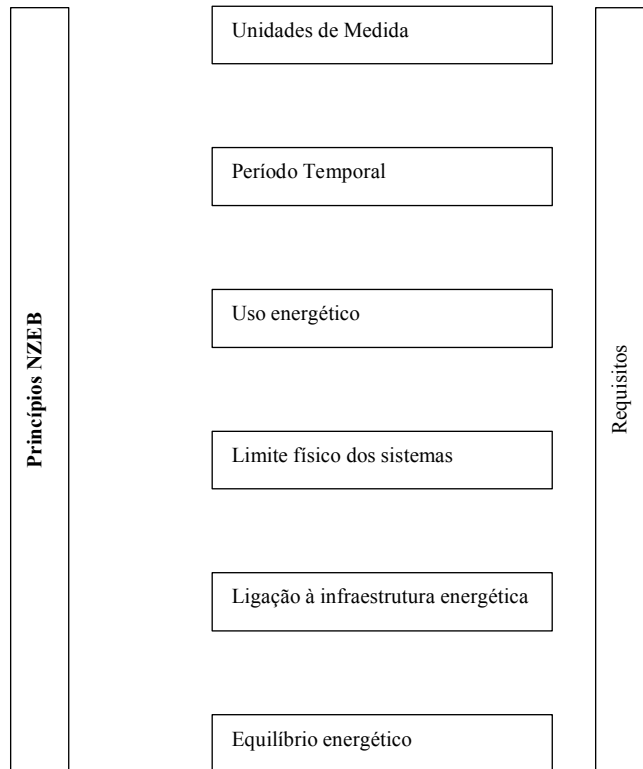


Figura 22 - Princípios NZEB (Fonte: adaptado de Bourrelle, et al., 2013)

3.1 Princípios NZEB

A otimização de elementos isolados com medidas ecológicas desconectadas, como a instalação de painéis solares e uso passivo do sol, não chega para a consolidação dum projeto NZEB, é necessário um conceito total de planeamento orientado com princípios sustentáveis (Hegger, et al., 2008).

Este subcapítulo foi organizado segundo Torcellini et al. (2006), Marszal, et al. (2011) e Sartori et al. (2012).

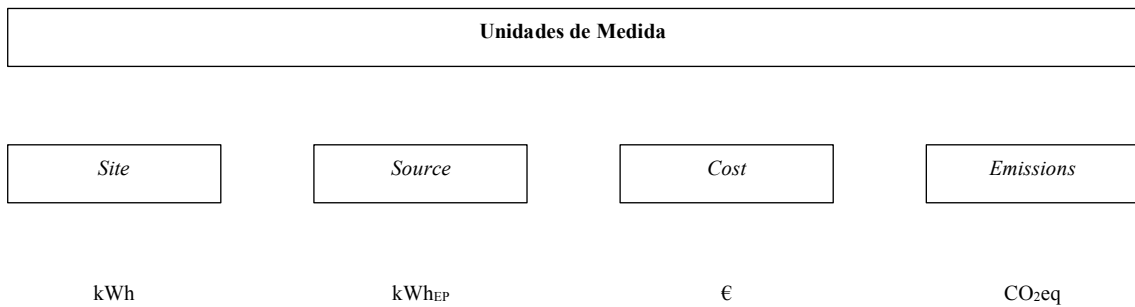


Figura 23 - Unidades de medida

3.1.1 Unidades de Medida

As unidades de medida estabelecidas para a avaliação dos edifícios devem variar consoante o objetivo do projeto e das entidades envolvidas (Torcellini, et al., 2006), podendo haver a tentativa de alcançar apenas uma das medidas (Figura 23) ou o total, visto considerar-se que todas tem igual importância (Hootman, 2013).

O *site ZEB* como unidade de medida é calculado através da energia final e apresenta-se como uma mais valia para o designer por facilitar o acesso aos requisitos dos códigos de energia (Torcellini, et al., 2006); no entanto apresenta grandes desvantagens pelo fato de não contabilizar as perdas durante a conversão e transporte da energia e os seus diferentes tipos (Marszal, et al., 2011).

Visto que a maioria dos edifícios utilizam energia proveniente de diversas fontes, torna-se relevante a análise do *source ZEB* através da energia primária. Na sua maioria é utilizada por organizações (Torcellini, et al., 2006) e tem como grande dificuldade a mudança temporal dos fatores gerados pela evolução das infraestruturas (Marszal, et al., 2011). Utilizar a energia primária como indicador levanta ainda a questão de que fatores de conversão devem ser utilizados, na medida em que os resultados de equilíbrio irão variar consoante o país e a sua rede nacional (Voss, et al., 2011).

A maioria dos edifícios zero são projetos experimentais que não se interessam pelos custos, no entanto é uma questão importante para o público em geral, principalmente para os proprietários dos edifícios (Torcellini, et al., 2006) devendo estes ser cativados por uma análise do ciclo de vida, que representa mais custos iniciais e menos custos no tempo operacional. Assim, o *cost ZEB* apresenta-se aliciante, no entanto instável e a carecer de desenvolvimento científico (Marszal, et al., 2011), dependente das mudanças a longo prazo e da influência política nos custos (Voss, et al., 2011).

Por fim o *emission ZEB* coloca as alterações climáticas como tópico central (Voss, et al., 2011) e está fortemente ligado a metas nacionais e internacionais para a redução de carbono e ações para reduzir as emissões de GEE (Marszal, et al., 2011).

Para além das métricas apresentadas, Sartori (2012) indica que é possível utilizar medidas pertencentes à parte não renovável da energia primária, como a exergia, créditos ambientais e fatores estabelecidos política e estrategicamente.

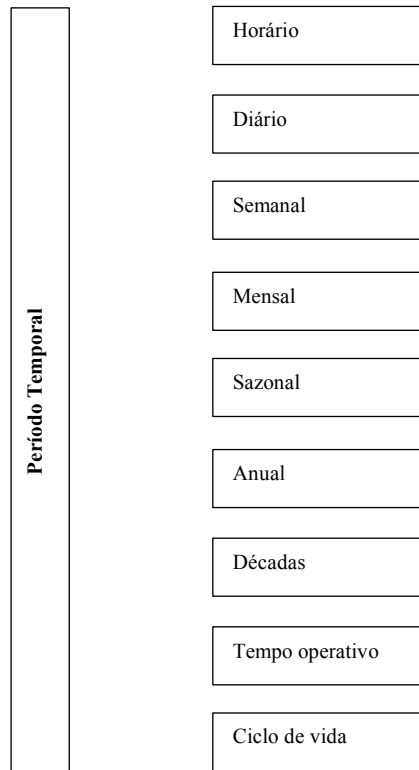


Figura 24 - Período temporal

3.1.2 Período Temporal

O balanço temporal de um edifício de energia zero pode variar entre um período horário, diário, semanal, mensal, sazonal, anual, de décadas, do tempo operativo do edifício, em média 50 anos, até ao ciclo de vida total (Figura 24).

No caso do balanço anual este é o mais utilizado e defendido na literatura pelo fato de cobrir toda a operação, considerando as condições climáticas e a sucessão de estações (Sartori, et al., 2012), sendo por isso a mais utilizada pelos programas de simulação computacional (Marszal, et al., 2011).

Se quisermos no entanto um balanço mais exigente do ponto de vista do design deveremos observar a variação sazonal ou mensal (Sartori, et al., 2012).

Por sua vez, o balanço do tempo operativo do edifício pode ser vantajoso se tivermos em consideração que anualmente podem existir variações muito amplas, influenciadas por exemplo por invernos longos e intensos, verões quentes, novos ocupantes, entre outros. Neste caso é necessária uma revisão da ligação à rede ao longo dos anos devido à mudança dos fatores (Marszal, et al., 2011).

Por fim, o ciclo de vida completo possibilita contabilizar não só a energia da utilização, mas também a energia incorporada nos materiais e na construção, demolição e instalações técnicas do edifício (Hernandez & Kenny, 2010).

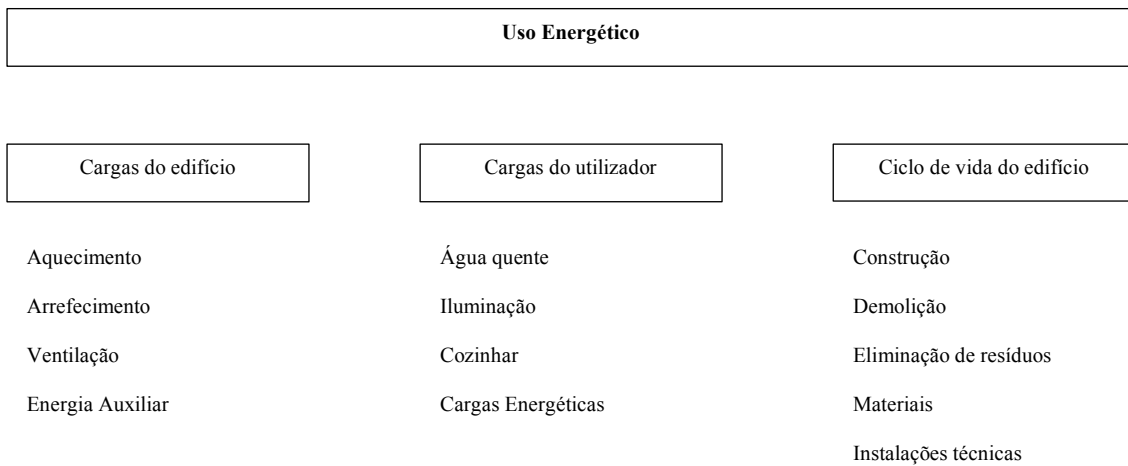


Figura 25 - Uso Energético

3.1.3 Uso energético

Quando analisamos o limite do balanço do sistema energético podemos considerar apenas as cargas relacionadas com o edifício (aquecimento, arrefecimento, ventilação e energia auxiliar), bem como lhes adicionar-lhes as cargas relacionadas com o utilizador (água quente, iluminação, cozinhar, cargas energéticas, entre outros) devendo a combinação variar consoante as normas nacionais e internacionais (Sartori, et al., 2010). No caso das normas europeias, a EN 15603:2008 sugere que sejam apenas contabilizados os usos que não estejam dependentes do comportamento do ocupante, das condições climáticas momentâneas e outras condições momentâneas ambientais ou interiores. Assim, deve ser considerado o aquecimento, arrefecimento, desumidificação, ventilação e humidificação, no caso dos edifícios residenciais, a que se soma o fornecimento de água quente e iluminação nas restantes tipologias. A exclusão da energia dependente dos comportamentos do utilizador deve-se à grande incerteza e à falta de informação, podendo no entanto ser utilizada se assim entendermos (Marszal, et al., 2011).

Se observarmos a evolução da investigação publicada poderemos perceber que o limite de usos a considerar tem vindo a alterar-se ao longo do tempo. A princípio, Esbensen e Korsgaard (1977) apenas referem o aquecimento do espaço e fornecimento de água quente. Posteriormente, Gilijamse (1995) e Iqbal (2004) abordam exclusivamente o uso elétrico. Surgindo depois dessa data diversas combinações, como fornecimento de água quente, eletrodomésticos, iluminação e HVAC (Mertz, et al., 2007), uso elétrico e fornecimento de água quente (Rosta, et al., 2008) e, por fim, aquecimento, arrefecimento, fornecimento de água quente, iluminação e eletrodomésticos (Sartori, et al., 2012).

Por fim pode ainda ser realizada uma avaliação ao ciclo de vida do edifício que contabilize a energia que não é utilizada na sua fase operacional (Sartori, et al., 2012) como energia incorporada dos materiais, construção, demolição e eliminação de resíduos. No entanto, como representa uma pequena percentagem quando comparada com a energia operacional, cerca de 20-30% da energia primária num edifício com um ciclo de vida de 80 anos (Voss, et al., 2011), é muitas vezes ignorado (Hernandez & Kenny, 2008). Contudo, devemos considerar a sua importância visto que o aumento da eficiência energética e os edifícios produzirem energia irá aumentar a sua importância e a procura de materiais e de instalações técnicas energeticamente intensivas (Sartori, et al., 2010).

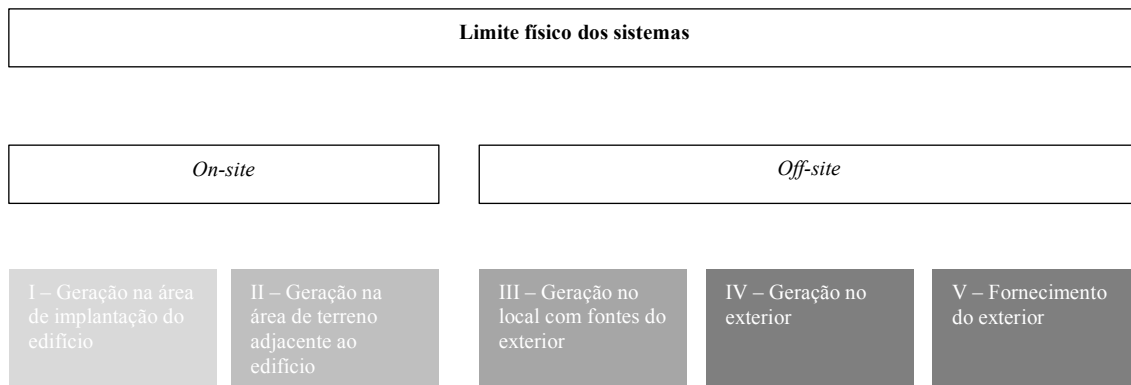


Figura 26 - Limite físico dos sistemas (Fonte: adaptado de Marszal, et al., 2011)

3.1.4 Limite físico dos sistemas

As energia renováveis podem provir de diversas fontes; assim, quando analisamos a definição NZEB, devemos ter em conta uma hierarquia que tipicamente as distingue entre *on-site* e *off-site* (Sartori, et al., 2012) o que indica que o limite do sistema pode ser diferente da sua área de implantação.

Deste modo, para Tocellini, et al. (2006) um bom edifício de energia zero deve ser aquele que encoraja a eficiência energética, bem como utiliza as energia renováveis on-site, pois a compra de energias renováveis off-site reflete-se num menor incentivo para a redução da carga energética. Denotando ainda que um off-site está no limite de ser considerado um NZEB, devido ao fato de estar pouco relacionado com o design e mais com o tipo de compra da energia. Consequentemente o autor cria um ranking (Figura 26) com base nos seguintes princípios: em primeiro lugar minimizar o impacto ambiental utilizando um design eficiente energeticamente que reduz os transportes e as perdas na conversão; está disponível durante o ciclo de vida do edifício e, por fim, apresenta-se facilmente disponível tendo um grande potencial para ser replicado nos futuros projetos.

Assim, hierarquicamente teremos em primeiro lugar a energia gerada na área de implantação, que geralmente é a superfície disponível on-site no ciclo de vida do edifício, podendo esta advir de painéis fotovoltaicos, coletor solar térmico ou turbinas eólicas. Alguns locais já criaram regulamentos que assegurem o acesso à energia solar, como é o caso da cidade de Boulder que limita a sombra que os novos edifícios podem fazer (Torcellini, et al., 2006). No entanto, o balanço dependente das energias renováveis disponíveis na área de implantação apresenta-se ainda limitado. Considerando que a energia eólica é significativa apenas em alguns casos (Voss, et al., 2011) e que a produção solar integrada no edifício depende do rácio superfície-volume, pode ser problemático o aumento do número de pisos, pois as exigências aumentam mais fortemente que a superfície necessária para a produção (Hegger, et al., 2008).

Em segundo lugar temos a produção de energia on-site proveniente de fontes renováveis disponíveis no terreno adjacente ao edifício, pertencente ao mesmo proprietário, devendo acrescentar-se às fontes anteriormente apresentadas a produção hídrica de baixo impacto. Uma das grandes problemáticas deste limite é a falta de garantia a longo-prazo por estar dependente do desenvolvimento da cidade.

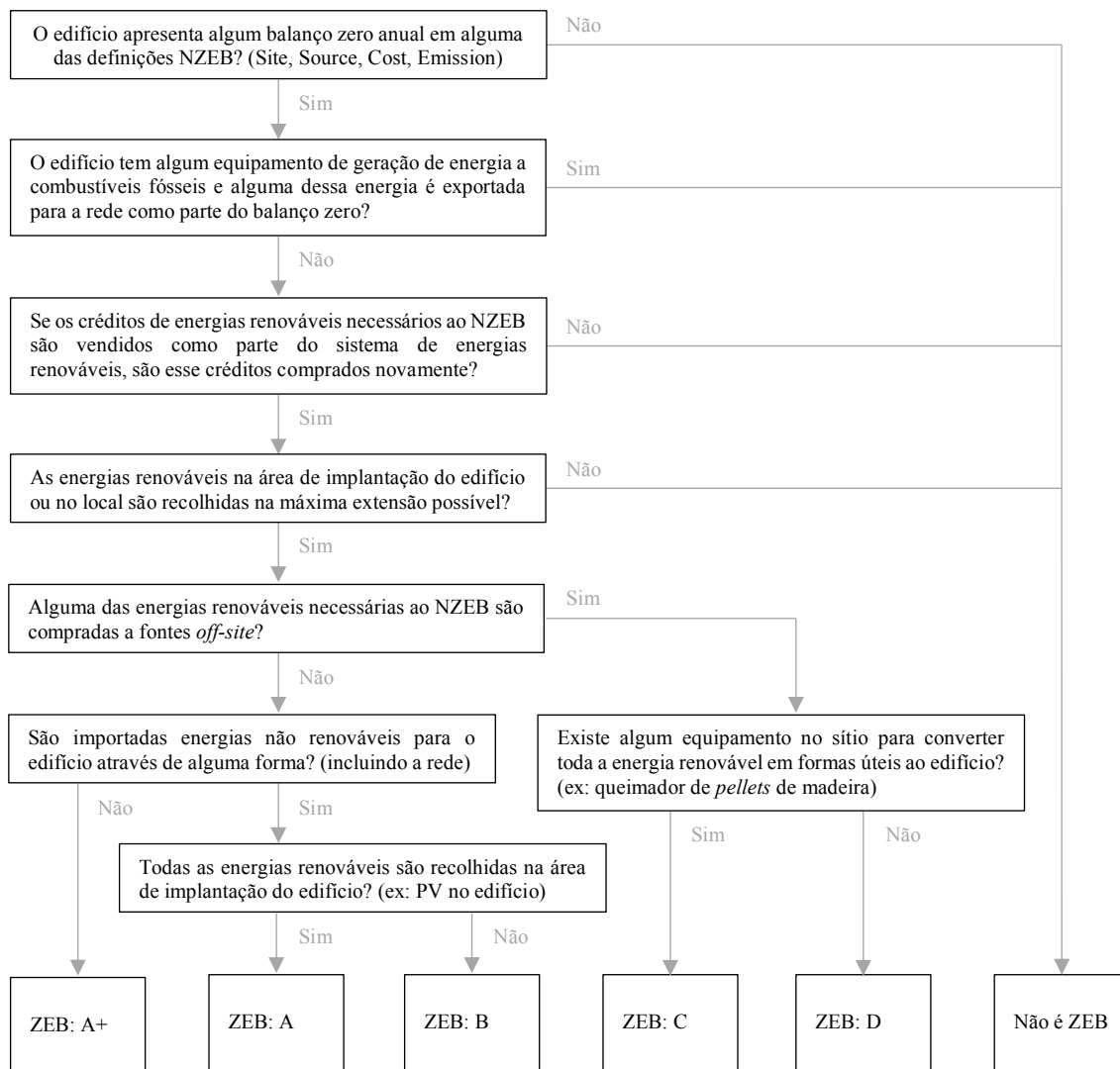


Figura 27 - Fluxograma da classificação NZEB (Fonte: adaptado de Pless & Torcellini, 2010, p.13)

No que diz respeito à produção *off-site* podemos considerar as energias renováveis importadas para local, como é o caso da biomassa, pellets, etanol ou biodiesel (Torcellini, et al., 2006), a produzida *off-site* proveniente de investimento do proprietário do edifício em centrais elétricas (Marszal, et al., 2010) e, por fim, o fornecimento *off-site* realizado através da compra de energias verdes. A disponibilidade de infraestruturas que levem estes recursos até ao edificado podem no entanto ser uma problemática, visto nem sempre existirem (Torcellini, et al., 2006).

Utilizando as informações das opções de fornecimento, Shanti Pless e Paul Torcellini criam em 2010 uma classificação de A a D para os NZEB (Figura 27), bem como as definições que cada um atinge, continuando com a hierarquização anteriormente descrita.

No entanto, devemos ter em consideração que, apesar da hierarquia apresentada, a escala do edifício nem sempre é a mais adequada, pois cada projeto tem os seus obstáculos (Hootman, 2013). Assim, podemos realizar a análise a um conjunto de edifícios que não são NZEB na sua individualidade, mas atingem esse objetivo graças à sinergia entre o grupo (Sartori, et al., 2012).

Ligação à Infraestrutura Energética



Figura 28 - Ligação à Infraestrutura Energética

3.1.5 Ligação à Infraestrutura Energética

As redes de energia são sistemas de fornecimento que podem ter uma ou duas direções, isto é, podem apenas entregar energia ou recebê-la de volta (Sartori, et al., 2012). Um edifício de energia zero conectado à rede deve importar a energia necessária para as suas necessidades e no período de um ano exportar a mesma quantidade para neutralizar o balanço (Marszal, et al., 2011). As grandes vantagens desta ligação são a possibilidade de exportar para a rede a produção excessiva, utilizando posteriormente o saldo para o balanço energético e evitando ainda a necessidade de armazenamento (Torcellini, et al., 2006).

Por sua vez, um edifício desconectado da rede deve ser autónomo e ter capacidade para se manter sozinho, utilizando a energia armazenada nos períodos de mais produção naqueles que apresentem produtividade insuficiente (Marszal, et al., 2011). Assim, um edifício desconectado da rede apenas utiliza energias renováveis, o que faz com que consiga atingir as quatro definições (Hootman, 2013), estando impedido de utilizar energias fósseis, pois não tem a possibilidade de exportação para balancear a importada (Hootman, 2013), acabando por recorrer ao gás propano e a geradores de recurso. Deste modo, a produção tem que ser feita exageradamente para diminuir a necessidade de fontes externas, desperdiçando o excesso de energia produzido no verão que poderia ser transformado em saldo energético (Torcellini, et al., 2006). No entanto apresenta-se adequado para locais onde a ligação à rede não exista ou seja dispendiosa (Hootman, 2013), bem como nos locais onde o mercado não compre energia (Torcellini, et al., 2006).

Para concluir, existe uma defesa generalizada da ligação à rede tendo em conta que o conceito NZEB dependente da capacidade de armazenamento e das reservas de energia da rede irá ser mais dispendioso do que aquele que se baseia na importação e exportação (Voss, et al., 2011).

Equilíbrio energético

Load/Generation (L/G)

Energia primária não renovável

Carga evitada

$$\Delta E = \sum_i E_{del,i} w_{del,i}^{nr} - \sum_j E_{exp,j} w_{exp,j}^{nr}$$

$E_{del,i}$ – energia de todas as fontes importadas pelo edifício
 $E_{exp,j}$ – energia de todas as fontes exportadas do edifício
 w^{nr} – fator de energia não renovável

Payback

$$\Delta E_{source} = \sum (E_{exp,i}) - \sum (E_{del,i} f_{del,i}^p) - \sum (E_{emb,building}^p) - \sum E_{emb,RES}^p$$

$E_{exp,i}$ – energia de todas as fontes exportada do edifício
 $E_{del,i}$ – energia de todas as fontes importadas pelo edifício
 $f_{del,i}^p$ – fator de energia primária para energia exportada
 $E_{emb,building}^p$ – energia primária incorporada no edifício
 $E_{emb,RES}^p$ – energia primária incorporada no sistemas de energia renovável

Delivered/Exported (D/E)

Fração de energia renovável

$$OREF = \frac{\sum_k E_{on,use,k} + \sum_i E_{del,i} (w_{del,i}^t - w_{del,i}^{nr})}{\sum_k E_{on,use,k} + \sum_i E_{del,i} w_{del,i}^t}$$

$E_{on,use}$ – energia gerada e consumida no local
 $E_{on,exp}$ – energia gerada no local e exportada
 w_{del}^t – fator de energia primária total importada
 w_{del}^{nr} – fator de energia não renovável importada

Figura 29 – Equilíbrio energético (Fonte: Panão, 2016, p.738,744, Bourrelle, et al., 2013, p.89)

3.1.6 Equilíbrio energético

O equilíbrio energético num edifício desconectado da rede é facilmente calculado através do balanço entre o uso energético e a geração de energias renováveis. Porém a complexidade aumenta quando analisamos um edifício conectado à rede, na medida em que temos duas metodologias distintas de cálculo e a principal diferença entre elas está no período de aplicação; assim, devemos considerar na fase de projeto o balanço entre a procura de energia e a geração de energia renovável (*load/generation* – L/G), e na fase da monitorização o balanço entre o que é entregue ao edifício e o que é enviado para a rede (*delivered/exported* – D/E) (Marszal, et al., 2011).

A correspondência de carga, calculada na diferença entre carga e produção local, serve para analisar o grau de sobreposição entre os perfis de geração e carga, isto é, a percentagem de carga coberta por geração *on-site* num período de tempo. Os indicadores disponibilizados com os dados adquiridos permitem ter conhecimento sobre quanta da procura pode ser assegurada pela energia fornecida no local e quanta deve ser comprada à rede ou a frequência com que a energia local não é suficiente para assegurar as necessidades (Salom, et al., 2011).

Esta informação pode ser útil para guiar os projetistas e os proprietários a comparar diferentes cenários e selecionar equipamentos, no caso dos projetistas comunitários ou urbanistas, ajuda na gestão das cargas da comunidade por longos períodos (Salom, et al., 2011).

Por fim, no que diz respeito aos parâmetros quantitativos de desempenho a energia primária não renovável pode ser calculada segundo a abordagem de carga evitada ou payback. Na primeira é utilizada a premissa de que a energia que deve ser enviada para a rede deve igualar a energia recebida, independentemente do desperdício numa fase inicial, sendo por isso mais fácil atingir o estatuto de NZEB (Bourrelle, et al., 2013), devendo ser utilizados fatores de ponderação de energia não renovável simétricos (Panão, 2016).

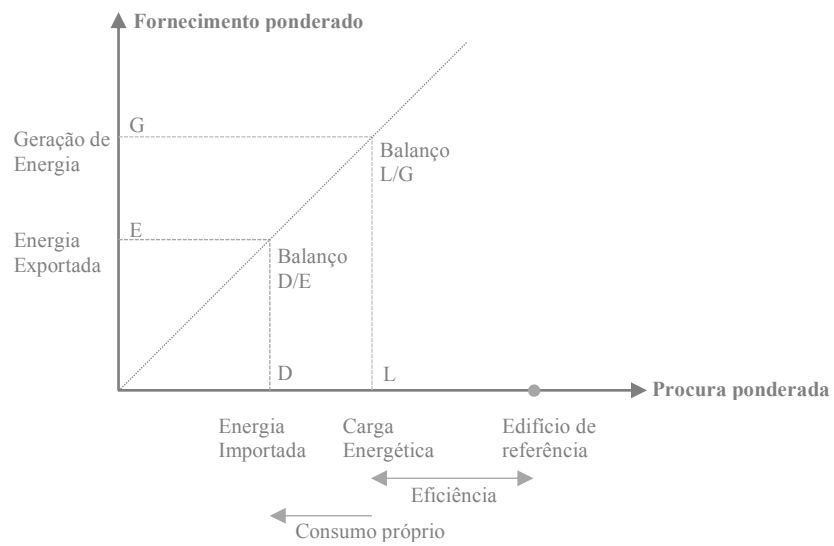


Figura 30 - Representação gráfica dos balanços Load/Generation e Delivered/Exported entre procura e fornecimento ponderado (Fonte: adaptado de Sartori, et al., 2012)

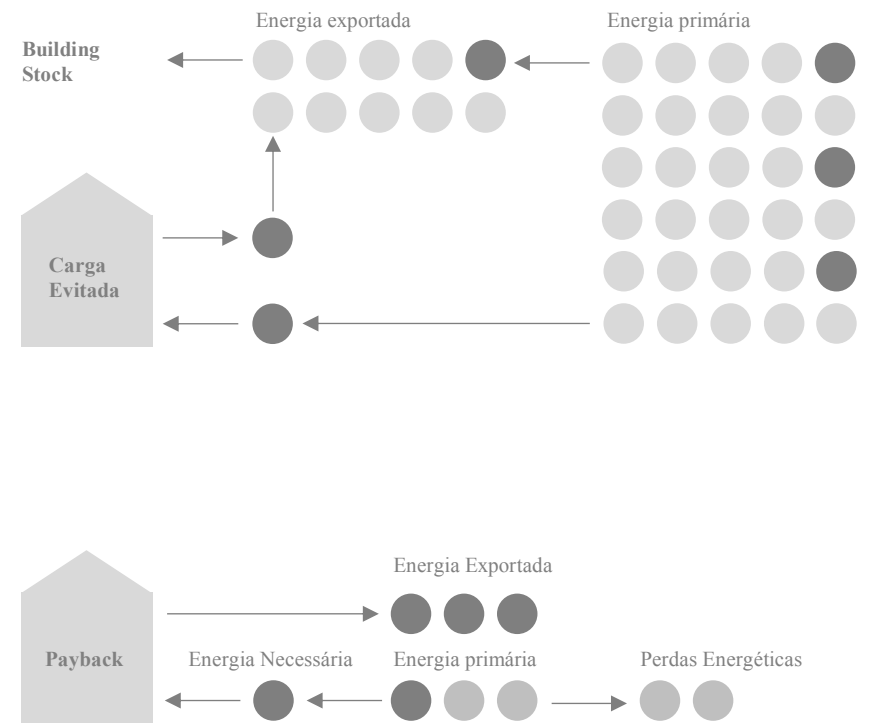


Figura 31 – Diagrama de Carga evitada e abordagem payback (Fonte: adaptado de Bourrelle, et al., 2013, p.87,89)

A abordagem *payback*, por sua vez, pode utilizar fatores de ponderação assimétricos e é mais exigente para atingir o objetivo NZEB, visto que a energia exportada deve contabilizar não só a recebida, bem como a energia desperdiçada (Bourrelle, et al., 2013).

Por outro lado, a interação da rede calculada através de *Delivered* e *Exported* como a troca de energia em importação e exportação, tem em conta aspetos da parte não coincidente dos perfis de geração e carga (Salom, et al., 2011). É mais complexa e mais difícil de calcular numa fase inicial pela falta de informação dos padrões de consumo e de simulação detalhada, para além de precisar de informações da rede (Sartori, et al., 2012).

Apresentam especial importância para os projetistas de edifícios e proprietários pois possibilitam tirar vantagens dos tempos de utilização das taxas de eletricidade ou das tarifas de energias renováveis, os projetistas comunitários ou urbanistas podem beneficiar destes indicadores para uma resolução de curto prazo (Salom, et al., 2011).

Requisitos

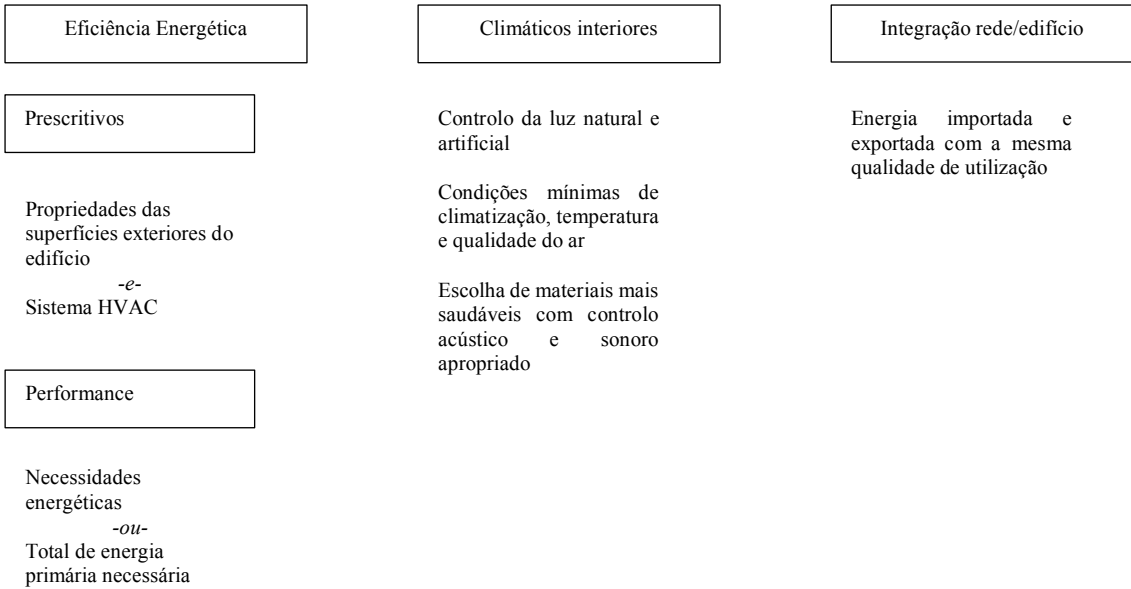


Figura 32 - Requisitos

3.1.7 Requisitos

A qualidade de um edifício de energia zero é fortemente influenciada pelos requisitos que se aplicam ao seu projeto; assim, segundo Marszal (2011) devem ser aplicados requisitos de eficiência energética, climáticos interiores e de interação da rede com o edifício (Figura 32).

Os requisitos de eficiência energética são negligenciados em algumas abordagens que resumem um projeto zero àquele que produz tanta energia como a que consome; no entanto, existe por contraste uma outra teoria que defende a importância da redução da necessidade energética (Marszal, et al., 2011). Esta, pode ser realizada utilizando requisitos prescritivos, ligados à construção do edifício, aplicados às propriedades das componentes das superfícies exteriores do edifício e aos sistemas HVAC, ou recorrendo a requisitos de desempenho, nas necessidades energéticas ou no total de energia primária necessária (Sartori, et al., 2012). Nunca perdendo de vista que a otimização do desempenho do edifício inteiro necessita de medidas rígidas que possibilitem atingir um elevado grau de poupança energética (Charron, 2008). Para a definição deste fator deveríamos considerar os climas de referência e criar padrões que ajudassem a calcular as cargas necessárias, úteis para comparar edifícios semelhantes e verificar os dados de projeto por oposição à monitorização, que contabiliza as variações reais do clima e das necessidades dos ocupantes (Sartori, et al., 2010).

Os requisitos de clima interior necessitam de uma maior definição, sendo abordados em apenas alguns debates sobre questões energéticas. No entanto, com base em projetos anteriores poderíamos ter em conta o controlo da luz natural e artificial, condições mínimas de climatização, temperatura e qualidade do ar e uma escolha de materiais mais saudáveis com controlo acústico apropriado (Marszal, et al., 2011).

Por fim, a interação da rede com o edifício apesar de muitas vezes mencionada não tem em conta a qualidade da energia enviada e recebida (Kilkis, 2007). Assim, numa relação de importação/exportação a energia deve ter a mesma qualidade de utilização.

3.2 Definição

Apesar da primeira referência a preocupações energéticas dos edifícios ter surgido há aproximadamente 40 anos (Esbensen, 1977), e ter sido posteriormente apresentada em diversos artigos científicos e na legislação, bem como ser alvo de várias revisões, apresenta-se ainda uma carência na uniformização da definição de edifícios zero.

A evolução da definição na literatura científica apresenta diversas variações na apresentação dos indicadores anteriormente descritos. Sendo em 1995 que Gilijamse realizava já uma análise bastante completa onde considerava que não era possível a utilização de combustíveis fósseis, o consumo de eletricidade tinha que ser igual à produção, requeria uma grande eficiência e o uso de medidas passivas, bem como referia que no caso de uma avaliação mais aprofundada deveriam incluir-se os efeitos das trocas com a rede, a energia incorporada nos materiais, as instalações e os requisitos energéticos de outras atividades, como transportes.

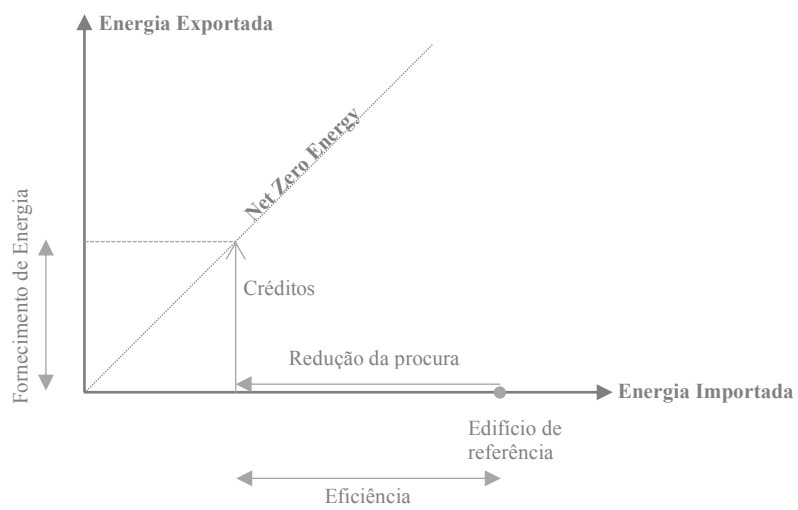


Figura 33 - Diagrama do Net Zero Energy Building (Fonte: adaptado de Sartori, et al., 2012 e Voss, et al., 2011)

3.2.1 Net Zero Energy Building (NZEB)

A expressão *Net Zero Energy Building* é utilizada para descrever a sinergia entre a eficiência energética do edifício e a utilização de energias renováveis (Figura 33), tendo como objetivo primordial um balanço neutro (Voss, et al., 2011), devendo por isso o valor do uso de energia primária ser igual a 0 kWh/(m²a), calculado segundo a equação (Kurnitski, et al., 2011):

$$E = \sum (E_{del,i} f_{del,i}) - \sum (E_{exp,i} f_{exp,i})$$

Onde,

$E_{del,i}$ – energia importada por fonte i

$E_{exp,i}$ – energia exportada por fonte i

$f_{del,i}$ – fator de energia primária por fonte importada i

$f_{exp,i}$ – fator de energia exportada por fonte i, que pode ser igual ou diferente do importado segundo definições nacionais

O termo *Net* pressupõe que este balanço depende da conexão à rede (Voss, et al., 2011), sendo por isso calculado entre a energia importada e exportada ou entre a carga e a geração.

A estratégia principal passa por reduzir o consumo de recursos e emissões de carbono associadas, bem como explorar os recursos disponíveis no local, aumentando a partilha de energias renováveis com a rede e consequentemente reduzindo as suas limitações (Sartori, et al., 2012).

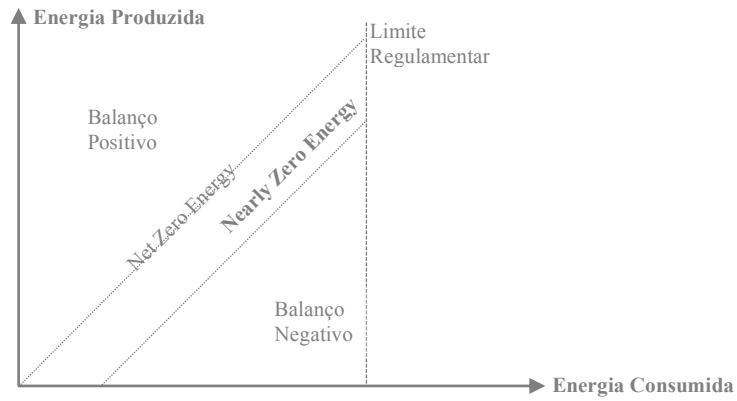


Figura 34 – Diagrama Nearly Zero Energy Building (nZEB) (Fonte: adaptado de DGEG - Direção Geral Energia e geologia, sd, p.7)

3.2.2 Nearly Zero Energy Building (nZEB)

Um edifício que fique próximo de atingir um balanço zero ou falhe em atingir o objetivo todos os anos não deve ser considerado um falhanço, mas sim uma performance energética excelente (Hootman, 2013). Assim, surge o conceito de *nearly zero energy buildings* representando todos os projetos com uma alta performance energética, onde os indicadores de energia primária traduzam uma necessidade baixa de energia coberta por uma quantidade significativa de energias renováveis. Quantitativamente apresenta um valor de energia primária positivo mas inferior ao limite nacional de energia primária não renovável (Figura 34).

Os níveis de performance devem ser decididos nacionalmente tendo em conta o nível de ambição da definição e os custos envolvidos, um nível de energia primária razoavelmente alcançável tecnicamente e os incentivos financeiros disponíveis para energias renováveis e medidas de eficiência energética, devendo ainda ser criados valores variáveis consoante o tipo de edifício (Kurnitski, 2013).

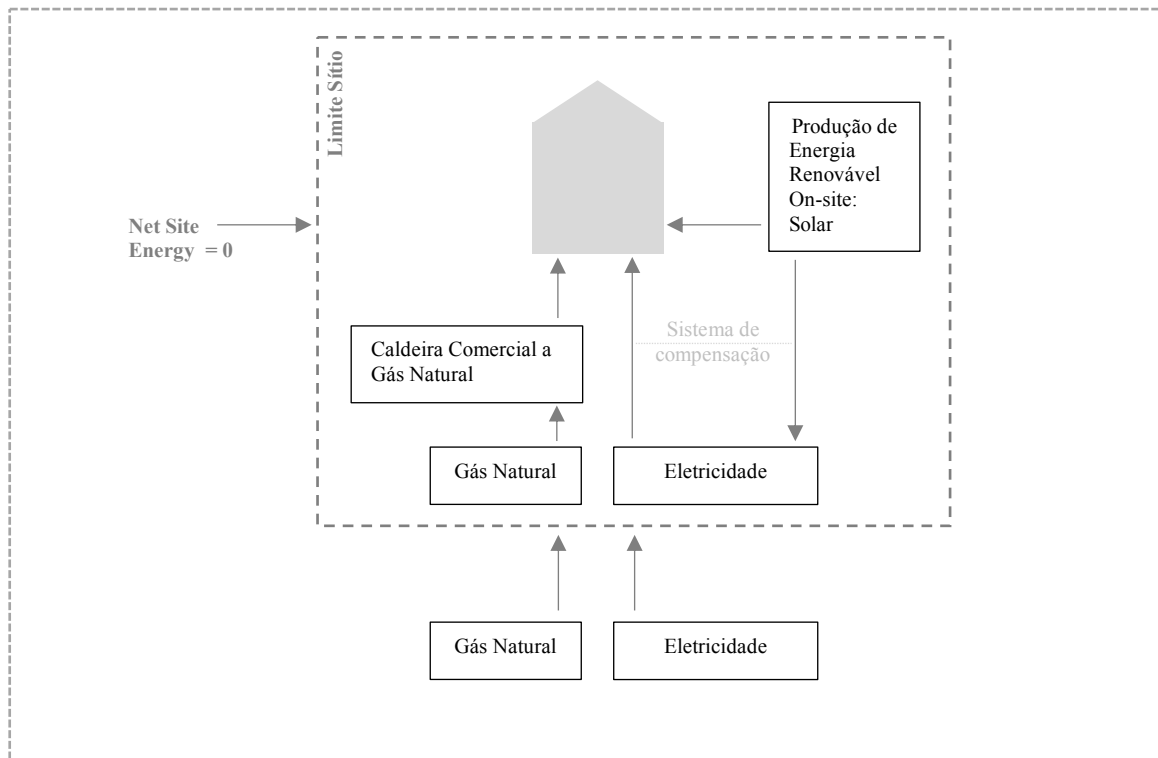


Figura 35 – Diagrama Net Zero Site Energy (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.6)

3.2.3 Net Zero Site Energy

Ao analisar o conceito *Net Zero Site Energy Building* é possível perceber que este se baseia num balanço entre a energia que produz e a que consome, considerando que a sua produção pode ser realizada na área de implantação do edifício ou no terreno adjacente (Figura 35). É facilmente verificável e apresenta uma definição mais consistente, pois existem menos fatores externos a influenciar os objetivos; no entanto pelo fato de não considerar a energia necessária na fonte para produzir uma unidade de energia final, requer uma maior produção e torna-se mais difícil de atingir.

Exemplo:

Uma unidade de energia elétrica no sítio tem o mesmo valor que uma unidade de energia gás natural no sítio, no entanto na fonte a eletricidade é mais de três vezes valorizada visto que necessitou de três vezes o mesmo recurso para produzir uma unidade final, o que significa que quanto mais valorizada for a fonte mais difícil será atingir um balanço zero na abordagem de energia final (Torcellini, et al., 2006).

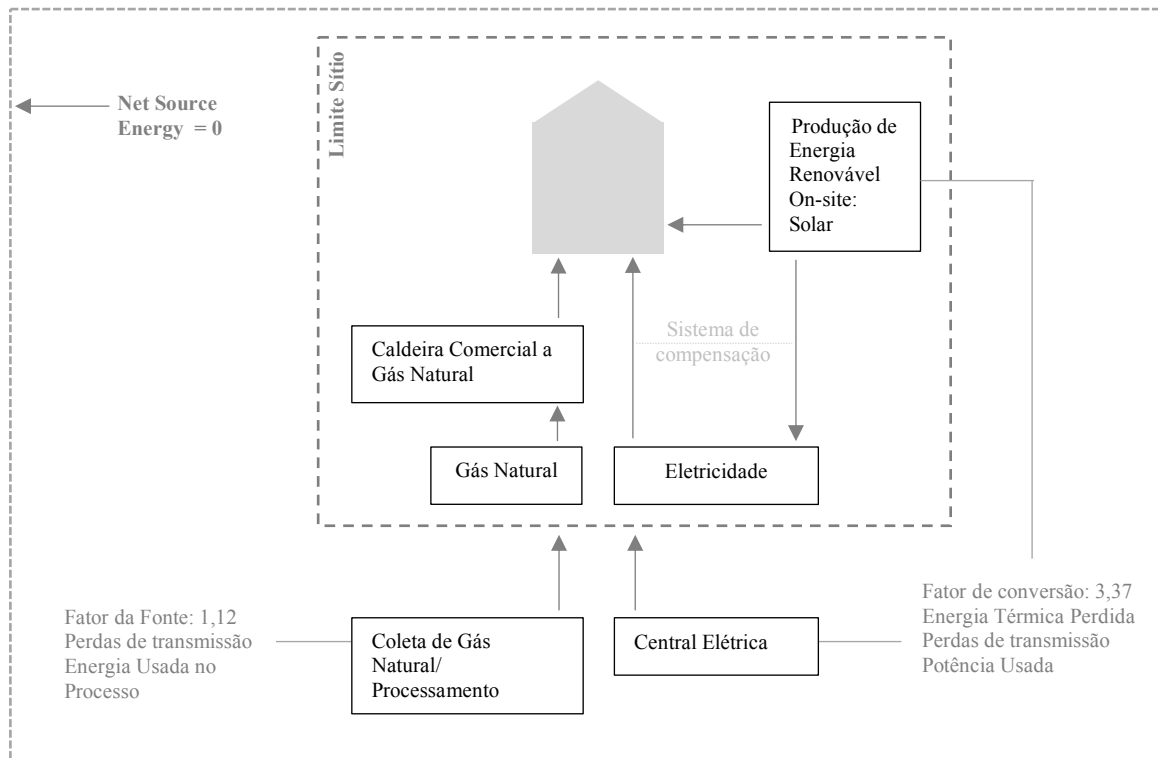


Figura 36 - Net Zero Source Energy (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.7, fatores de conversão adaptados segundo Torcellini, et al., 2006)

3.2.4 Net Zero Source Energy

O conceito Net Zero Source Energy é caracterizado por uma produção igual àquela que é medida na fonte de energia primária, devendo a energia importada e exportada ser multiplicada pelos fatores de conversão de modo a contabilizar a energia total da fonte do edifício (Figura 36). Apresenta uma maior facilidade de atingir o balanço e é o melhor modelo no que diz respeito ao impacto no sistema energético nacional, contudo está muito dependente dos fatores utilizados e não contabiliza com as variações regionais e horárias.

Exemplo:

Se considerar um fator de 3,37 para a eletricidade e de 1,12 para o gás natural, podemos concluir que devemos priorizar o uso de gás natural pois necessitaremos de um sistema de produção menor e iremos atingir o balanço mais facilmente (Torcellini, et al., 2006).

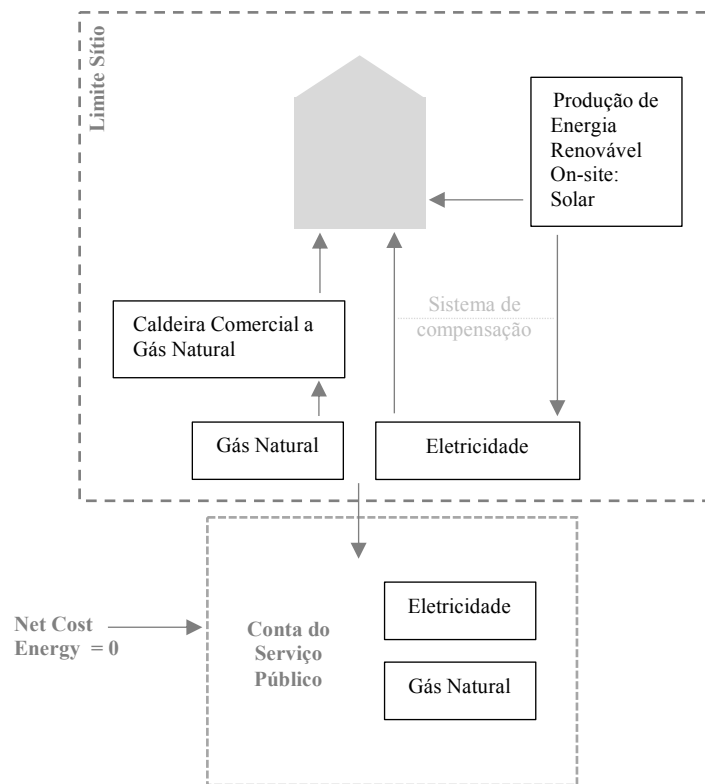


Figura 37 - Net Zero Energy Cost Building (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.9)

3.2.5 Net Zero Energy Cost Building

Por sua vez o *Net Zero Energy Cost Building*, tal como o nome indica, é definido por receber tanto crédito financeiro pela energia que exporta, contabilizando a energia, a distribuição, o pico de procura, as taxas e o preço do uso de eletricidade e gás, como por aquela que lhe é cobrada nas contas (Figura 37). Assim, no caso das taxas de serviços públicos não permitirem creditar a geração líquida não relacionada à energia, não será possível alcançar um *cost ZEB*.

As variações das taxas de serviços públicos são ainda responsáveis pela falta de eficácia da definição, visto limitarem uma implementação a larga escala, bem como o alcance do balanço zero anual sucessivo mesmo em edifícios com performances energéticas consistentes. Deste modo, as soluções ótimas devem ser definidas pela energia disponível localmente e pelo custo dos combustíveis fósseis.

Os apoios a esta definição encontram-se igualmente limitados pois a sua generalização propiciaria a falta de recursos para manter a infraestrutura e as empresas teriam que aumentar as suas tarifas fixas e os custos de procura.

Por fim, no caso de não ser possível a ligação à rede deve ser considerado o aumento do armazenamento e gestão da procura energética, considerando o design e a operação do edifício e partindo do pressuposto que poderá ser mais eficaz armazenar a energia e utilizá-la mais tarde para reduzir a procura (Torcellini, et al., 2006).

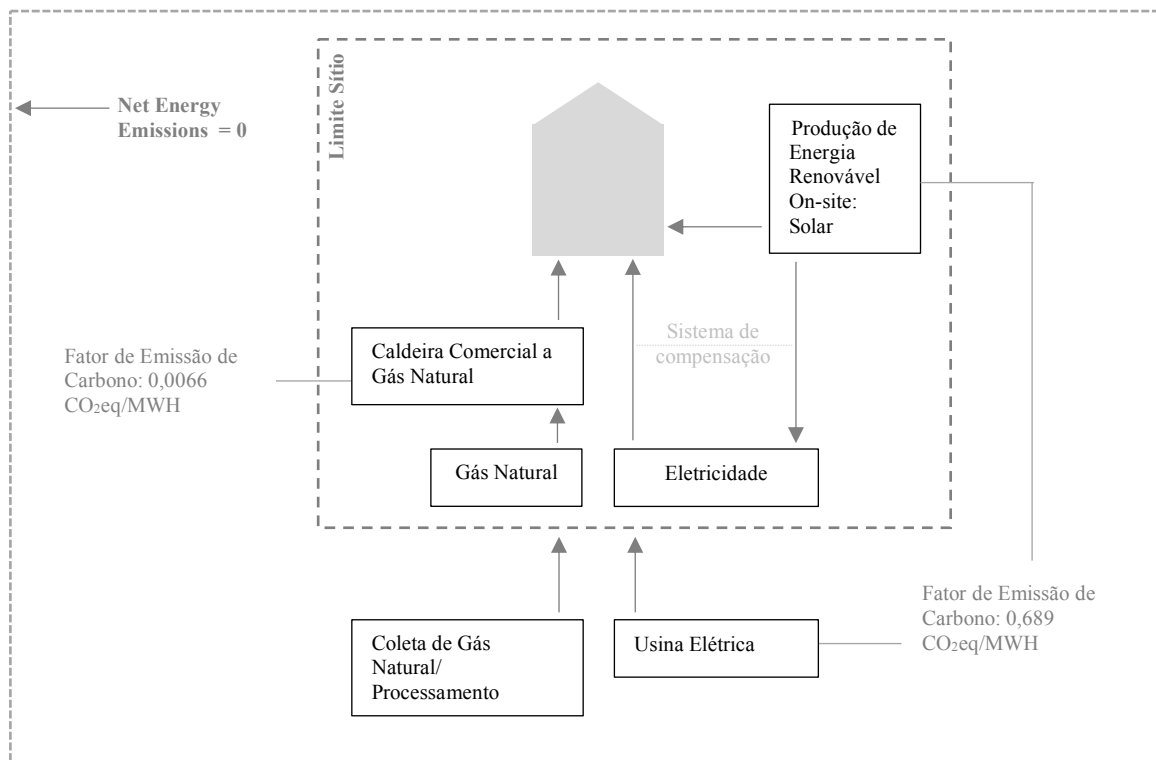


Figura 38 - Net Zero Energy Emissions Building (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.8)

3.2.6 Net Zero Energy Emissions Building

Um edifício com um balanço de emissões zero pressupõe a produção de uma quantidade de energia sem emissões proporcional às emitidas pelas fontes que recebe, a compra de eletricidade proveniente de fontes sem emissões ou a compra de certificados de energia renováveis (Figura 38) (Mertz, et al., 2007).

No caso da primeira hipótese o objetivo de emissões zero está fortemente dependente da determinação das fontes de onde provém a energia e das respectivas emissões, assim, se a rede tiver uma grande contribuição de fontes não emissoras, como energia hídrica ou nuclear, o edifício terá que produzir menos energia do que uma rede que utilize combustíveis fósseis.

O segundo só se aplica a edifícios que utilizem apenas redes elétricas, considerando que no caso de combinar com uso o de gás natural para aquecimento tem que gerar e exportar o suficiente para a diferença dessas emissões (Torcellini, et al., 2006).

Por último, a compra de certificados de energia renovável é tão legítima como a produção, podendo até ser economicamente mais viável (Mertz, et al., 2007).

3.3 Definição em Portugal

Em Portugal existe ainda a falta de uma definição concisa, no entanto ao longo dos últimos anos têm acontecido diversas mudanças, impulsionadas em grande parte pelas diretivas europeias. Assim, devem ser analisadas não só as mudanças legislativas, mas também os esforços para atingir os objetivos de uma maior eficiência energética, utilizando o método da certificação energética e disponibilizando diversos incentivos.

Decreto-Lei 40/90	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)
Decreto-Lei 156/92	Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE)
Decreto-Lei 118/98	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)
Decreto-Lei 78/2006	Sistema de Certificação Energética (SCE)
Decreto-Lei 79/2006	Reformulação RSECE
Decreto-Lei 80/2006	Reformulação RCCTE
Decreto-Lei 118/2013	SCE e Regulamento de Edifícios de Habitação (REH)/ Comércio e Serviços (RECS)

Figura 39 -Decretos-Lei, nomenclatura e respetivos assuntos

3.3.1 Legislação em Portugal

Em 1990 surgiu a primeira base regulamentar relativa à energia utilizada nos edifícios em Portugal, com o Decreto-Lei 40/90, denominado Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Numa aproximação às medidas comunitárias deste domínio, reflete sobre a conservação de energia e utilização de energia bioclimática nos edifícios, tirando partido do clima para integrar o aproveitamento da energia solar ou ambiente na arquitetura e nas tecnologias construídas.

O seu sucesso teve por base a aplicação na fase de licenciamento, demonstrando que seria apenas necessário conhecimentos das propriedades dos materiais e das técnicas construtivas. A falta de precedentes legislativos sobre o tema facilitou a formulação do regulamento, dificultando a sua implementação apenas pela ausência de práticas. Assim, foram facultados instrumentos facilitadores para a sua aplicação, como organização dos concelhos por zonas climáticas, valores etiqueta para estação de aquecimento/arrefecimento por m^2 por ano, explicação dos métodos de cálculo e respetivos valores, folhas de cálculo e exemplos (Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 1990).

No seu seguimento e do Regulamento de Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE) de 1992, surge o Decreto-Lei 118/98, também designado Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Neste documento, foram disponibilizadas regras relativamente ao dimensionamento de sistemas energéticos de climatização e instalação, fixando limites de potência de modo a evitar o sobredimensionamento, e prescreviam uma qualidade térmica da envolvente superior à exigida no RCCTE (Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território, 1998).

A transposição da Directiva 2002/91/CE iria no entanto alterar o panorama instalado, surgindo o Sistema de Certificação Energética (SCE) no Decreto-Lei 78/2006, que pretendia obter informação sobre o consumo de energia potencial, tendo como finalidade certificar o desempenho e qualidade do ar interior, identificar medidas de melhoria de desempenho energético e de qualidade do ar de sistemas e edifícios e assegurar a aplicação do RCCTE e do RSECE, que seriam reformulados (Ministério da Economia e da Inovação, 2006).

U [W/(m².C°)] Portugal Continental		Zona Climática		
Zona corrente da envolvente:		I1	I2	I3
Em contacto com o exterior ou com espaços úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}>0,7$	Elementos opacos verticais	0,5	0,4	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,4	0,35	0,3
Em contacto com outros edificios ou espaços não úteis Com coeficiente de redução de perdas $b_{tr}\leq 0,7$	Elementos opacos verticais	0,8	0,7	0,6
	Elementos opacos horizontais	0,6	0,6	0,5
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,8	2,4	2,2
Elementos em contacto com o solo		0,5		

U máx [W/(m².C°)]		Zona Climática		
Zona corrente da envolvente:		I1	I2	I3
Elementos opacos horizontais	Coberturas	0,8	0,7	0,6
	Pavimentos sobre o exterior	1	0,9	0,8
Elementos opacos verticais	Paredes	1,7	1,5	1,4
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		4,5	4	4

Tabela 3 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, após 1 de Janeiro 2016 (Fonte: adaptado de Ministério do Ambiente, ordenamento do território e energia, 2015)

Tabela 4 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos de elementos opacos e envidraçados (Fonte: Ambiente e Transição Energética, 2019)

Tendo em conta a abrangência do DL 118/98, continuando os sistemas a ser tratados numa base de fornecedor-cliente, ao mesmo tempo que aumentava a procura de sistemas de climatização, movidos pela melhoria do nível de vida, pelo grau de exigência de conforto e pelo crescimento do parque construído, apresentava-se uma maior necessidade de mudança, surgindo assim a reformulação do RSECE com o Decreto-Lei 79/2006 que revogava o anterior.

Os seus principais objetivos eram definir as diversas condições de conforto térmico e de higiene, melhorar a eficácia energética em todos os consumos promovendo a sua limitação com padrões aceitáveis, impor regras de eficiência dos sistemas de climatização e monitorizar com regularidade práticas de manutenção desses sistemas (Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006).

Por sua vez, a reformulação do RCCTE é aprovada com o decreto-lei 80/2006 que revoga o anterior DL 40/90. Ao contrário da indiferença sofrida no primeiro RSECE, o primeiro RCCTE foi um marco significativo na melhoria da construção em Portugal. Contudo, a Directiva sugeria um aumento das exigências, assim, passam a ser definidas taxas de renovação de ar adequadas e é imposto um limite ao consumo de energia da potencial existência e uso, surgindo igualmente a obrigatoriedade de contabilizar necessidades para águas quentes sanitárias e instalação de coletores solares térmicos.

Em ambas as reformulações são impostos mecanismos mais efetivos de comprovação, intensificam-se as penalizações ao incumprimento e aumenta-se a exigência no nível de competência dos responsáveis de verificação (Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006).

Posteriormente à Directiva 2010/31/EU, são revogados os três decretos de lei de 2006 com o aparecimento do Decreto-Lei 118/2013, que aglomera todos em apenas um documento, harmonizando e facilitando a sua compreensão. No entanto, cria uma separação entre o Regulamento de Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) reconhecendo as suas especificidades e melhorando desempenhos. Propondo padrões mínimos de eficiência na climatização, preparação de água quente sanitária, iluminação e aproveitamento de energias renováveis.

Sugerindo ainda o conceito de ‘Edifícios com necessidades quase nulas de energia’, que define como todos: “os que tenham um elevado desempenho energético e em que a satisfação das necessidades de energia resulte em grande medida de energia

Fonte de Energia	Fator de Conversão [kWh_{EP}/kWh]
Eletricidade	2,5
Outras fontes não renováveis	1
Fonte de Energia	Fator de Conversão [kgCO₂/kWh_{EP}]
Eletricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL canalizado (propano)	0,170
GPL garrafas	0,170
Renovável	0

Tabela 5 - Fatores de conversão de energia final em primária e de determinação das emissões de CO₂ associadas ao consumo de energia nos edifícios (Fonte: adaptado de Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2013)

proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades.” (Artigo 16º, 2) (Ministério da Economia e do Emprego, 2013)

Por fim, ao contrário das definições encontradas em outros países, não é pré-estabelecido um indicador de energia primária nem uma quota de energias renováveis. No entanto foi complementada por diversos Despachos e Portarias que esclarecem as metodologias da sua aplicação.

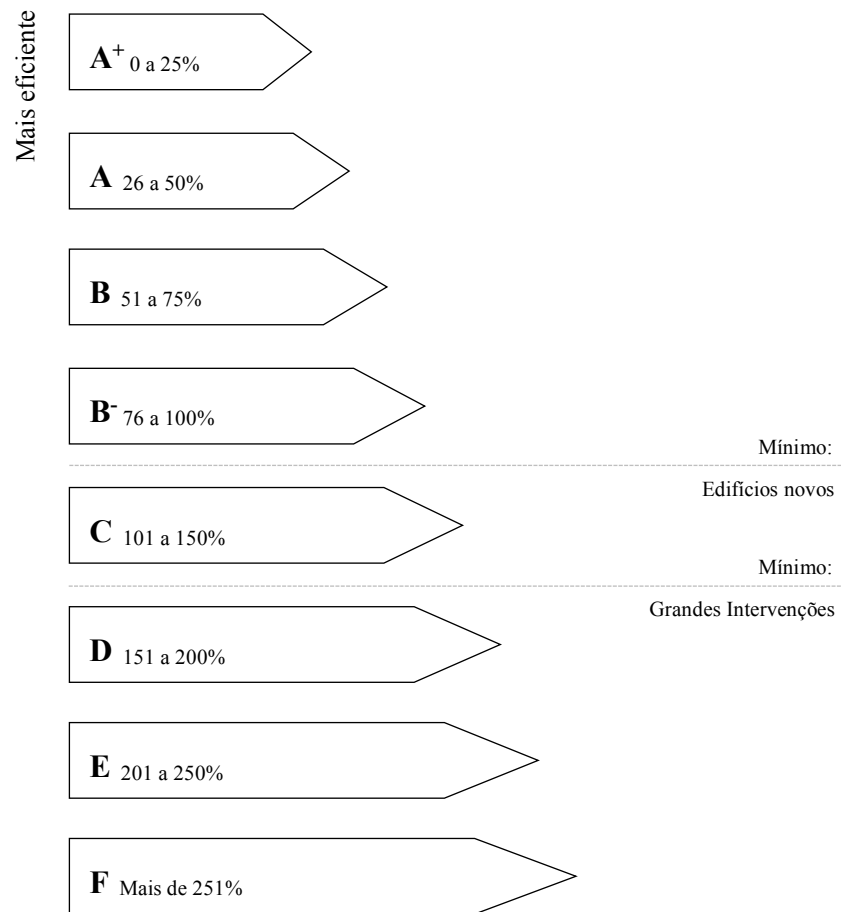


Figura 40 – Classes de certificação energética e percentagem de eficiência, com referência às metas mínimas atuais (Fonte: ADENE, 2019)

3.3.2 Certificação Energética

Devido às alterações na legislação relativas à obrigatoriedade de certificação energética em edifícios, as preocupações com esta temática têm vindo a aumentar, podendo observar-se não só um aumento do número de edifícios certificados, bem como um aumento percentual das classes mais eficientes (ADENE, 2019).

Atualmente, gerida pela ADENE e fiscalizada pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), a certificação disponibiliza informação sobre a classe energética do imóvel, informações sobre as componentes e o seu desempenho, medidas que têm como intuito a redução do consumo enquanto simultaneamente melhoram o conforto e, por fim, potenciam benefícios fiscais e acesso a financiamentos. Devendo ser realizada em edifícios novos, existentes sujeitos a grandes intervenções, existentes de comércio ou serviços com área de pavimento igual ou superior a 1000m² ou 500m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados ou piscinas cobertas, públicos com área superior a 250m² que sejam ocupados por entidades públicas e frequentemente ocupados pelo público e aquando da celebração de contratos de venda ou arrendamento (ADENE (B), 2019).

Os certificados são emitidos por peritos qualificados e devem descrever o desempenho energético do imóvel, apresentando o cálculo de consumos anuais de energia previstos e qualificando a qualidade do ar interior, classificando-o (Figura 40). A escala abrange oito classes, que vão desde A+, a mais eficiente, a F, a menos eficiente (DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia, 2019).

As metas para edifícios novos deve apresentar no mínimo uma classe B-, enquanto para grandes intervenções pode chegar à classe C. Para além desta diferenciação, existe uma separação entre edifícios de habitação e de comércio e serviços (ADENE (B), 2019).

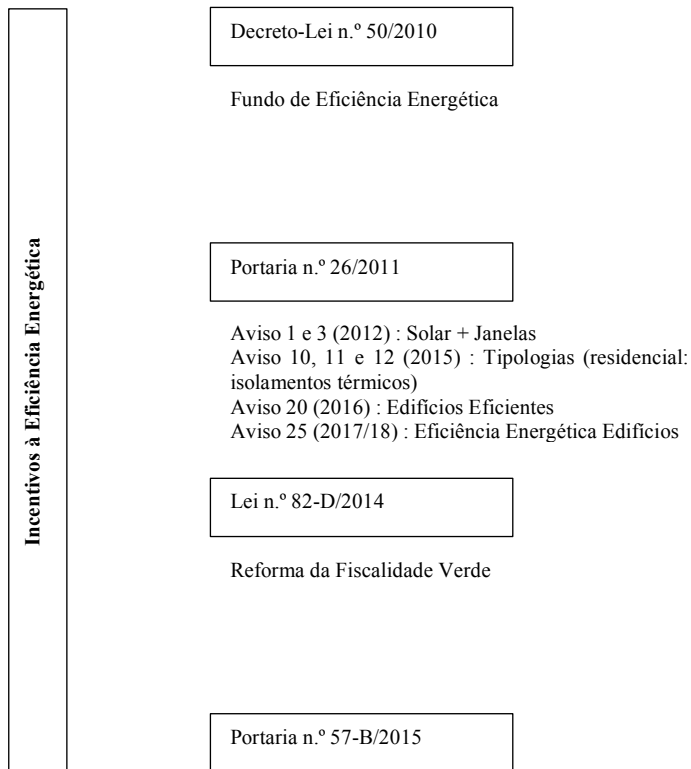


Figura 41 – Incentivos à Eficiência Energética (Fonte: Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética, 2018)

3.3.3 Incentivos à eficiência energética

O Fundo de Eficiência Energética (FEE) foi criado pelo Decreto-Lei 50/2010 que tinha como objetivos principais: o incentivo de cidadãos e empresas à eficiência energética, apoiar projetos de eficiência energética em áreas que revelassem uma carência destes projetos e promover a alteração de comportamentos. Assim, iriam financiar programas e medidas previstas no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) apoiando projetos principalmente tecnológicos nas áreas dos transportes, residencial e serviços, indústria e sector público e ações eficientes relacionadas com comportamentos, fiscalidade, incentivos e financiamentos. Podendo ainda apoiar projetos não abrangidos pelo PNAEE mas que contribuam para a eficiência energética (Ministério da economia, da inovação e do desenvolvimento, 2010).

Posteriormente, a Portaria 26/2011 dá cumprimento ao anterior Decreto-Lei, lançando Avisos onde são beneficiários todos os que cumpram os seus requisitos (Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética, 2018).

Com a reforma da fiscalidade verde realizada na Lei n.º 82-D/2014, é ainda decretado que os municípios podem, mediante deliberação da assembleia municipal, reduzir a taxa de imposto municipal sobre imóveis até 15% para prédios urbanos com elevada eficiência energética. Contabilizando para o caso aqueles que tenham um classe igual ou superior a A, todos os edifícios que após alteração altere a sua classe energética subindo pelo menos duas posições ou que aproveite águas residuais tratadas ou pluviais, segundo termos a definir pelo Governo responsável (Assembleia da República, 2014).

Por fim, a Portaria n.º 57-B/2015 refere-se às condições de acesso e às regras gerais de financiamento ao abrigo das Prioridades de Investimento e das Áreas de Intervenção. Sendo elegíveis para apoio todas as que promovam a eficiência energética e a utilização de energias renováveis, através de: intervenções que aumentem a eficiência dos edifícios e equipamentos; intervenções com soluções integradas para promoção de energias renováveis para autoconsumo, como instalação de painéis solares térmicos e sistemas de produção de energia; auditorias, estudos, diagnósticos e análises necessárias à realização de investimentos e campanhas de sensibilização e promoção da eficiência (Presidência do Conselho de Ministros e Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2015).

uns são protegidos outros não!

Os edifícios protegidos permitem um habitat mais saudável, confortável, melhor Qualidade de Vida; os outros, não!

A protecção pelo exterior com o isolamento **dryvit** basta à eliminação de correntes de ar e diminuição das humidades no interior;

dryvit proporciona poupança de energia térmica e evita a fissuração.

O sistema **dryvit** isolamento termohidrófugo contínuo por medida, está em vias de ser homologado pelo LNEC, é adequado a todos os tipos de construção, dispensa as paredes duplas e outros sistemas complicados de isolamento.



Revestimento Primário
Tela de vidro tecida
Esfervite
Estrutura do edifício

Orçamentos sem encargos
Colocação por equipas especializadas
Peça mais informações técnicas

dryvit

isolamento por medida

UM PRODUTO DE

ESFEROVITE, LDA.

R. Inácio de Sousa, 17, 1.º, Dt.º — 1500 LISBOA
Telets. 78 09 43 - 78 59 93

Figura 42 - Publicidade presente na brochura da Casa-Laboratório Térmicamente Optimizada de 1983 (Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial; Departamento de energias renováveis; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; Departamento de Mecânica, 1983)

3.4 Projetos NZEB – Casos de Estudo

Neste capítulo são referidos os principais casos de estudo, abrangendo tanto projetos nacionais como internacionais relacionados com o conceito NZEB ou com preocupações ambientais.

No contexto nacional seria ainda importante referir a importância da Casa-Laboratório Tecnicamente Optimizada, de 1983 no Porto, e a residência Schäfer (1988), em Porto Santo, devido ao seu enquadramento histórico.

The David and Lucile Packard Foundation

Local	Califórnia
Radiação global anual	1914 kWh/m ² a
Temperatura média anual	13.6 °C
Contexto	Urbano

PARAMETROS DA ENVOLVENTE W/m²K

Valor de U, paredes exteriores	0.04
Valor de U, janelas	0.17
Valor de U, cobertura	0.03

PARAMETROS DO EQUIPAMENTO

Número de Painéis	850 +110
Capacidade PV	285 kW

PARAMETROS DO EDIFÍCIO

Área bruta	4567 m ²
Número de utilizadores	120

PARAMETROS DE CONSUMO kWh/m²a

Uso energético anual	351000
Eletricidade gerada anualmente	418000

Tabela 6 - Dados gerais da fundação David and Lucile Packard (Fonte: Reeder, 2016; Solargis, 2016; The American Institute of Architects, s.d.)

Figura 43 - Pátio da Fundação David e Lucile Packard (Fonte: fotografia de Jeremy Bittermann disponível em The American Institute of Architects, s.d.)



3.4.1 The David and Lucile Packard Foundation

A criação de um edifício de escritórios de energia zero em Los Altos da fundação de David e Lucile Packard, tinha como objetivo a criação de um espaço de trabalho agradável e saudável que encorajasse a colaboração e a integração da sociedade. Assim, é desenhado possibilitando uma interação de boa vizinhança e integrando-se na malha urbana através do alinhamento com a rua, mesmo implicando uma perda de 5% da eficiência energética, tanto pela problemática criada pelas fachadas a sudoeste e sudeste que carecem de mais atenção devido aos ganhos solares, com pela diminuição da produção de energia dos PVs que não estão na posição ótima.

No que diz respeito ao design do edifício, este desenvolve-se em dois blocos paralelos organizados por módulos, que criam uma espécie de pequenos bairros no seu interior, possibilitando ainda a criação de um pátio com um micro clima através do encerramento das extremidades com dois corpos secundários transparentes.

Construído em madeira, cobre e pedra e com isolamento de lã mineral, apresenta especiais cuidados no que diz respeito à resistência e a pontes térmicas, do mesmo modo que buscam materiais com baixas emissões. Contudo, cerca de 46% das fachadas são ocupadas por janelas triplas com alta eficiência, que maximizam a transparência, as vistas e a luz natural, que representa 80% da iluminação dos espaços interiores.

O funcionamento das janelas possuía um sistema de avisos de controlo dados por um sistema informático, no entanto a operação tem que partir do ocupante tendo em conta o seu conforto e satisfação. Ao contrário da ventilação que possui mecanismos automáticos de modo a exceder em 30% os valores de admissão de ar propostos por ASHRAE standard 62.1-2007.

No que diz respeito à simulação, o fato de não conseguirem simular toda as escolhas dos designers fez com que os designers antecipassem um EUI de 56,8 kWh/m²/ano pelo que utilizaram um fator de segurança de 20% nos PVs.

Por fim, uma das coisas mais notáveis é ainda o respeito pelo ecossistema local através da utilização das águas pluviais para regas e descargas sanitárias e a cobertura ajardinada com vegetação nativa, que pressupunha comida e abrigo para pássaros e insetos, bem como a redução de estacionamento e incentivo aos transportes coletivos, que evitaria construção, utilização de materiais, emissões e dinheiro (Reeder, 2016).

Marché Corporate Headquarters

Local	Kemptthal
Radiação global anual	1120 kWh/m ² a
Temperatura média anual	8.9 °C
Contexto	Rural

PARAMETROS DA ENVOLVENTE W/m²K

Valor de U, paredes exteriores	0.11
Valor de U, janelas	0.48-0.73
Valor de U, cobertura	0.08
Valor de U, laje	0.10
Valor de U, média invólucro	0.24

PARAMETROS DO EQUIPAMENTO

Área de PV	486 m ²
Área de sistema por m ²	0.38 m ² /m ²
Capacidade PV	45 kW
Capacidade por m ²	35.20 Wp/m ²

PARAMETROS DO EDIFÍCIO

Área de chão	1267 m ²
Área bruta	1550 m ²
Volume bruto	5757 m ³
Número de utilizadores	50

PARAMETROS DE CONSUMO kWh/m²a

Consumo para aquecimento do espaço	22
Consumo de eletricidade	31
Consumo total de energia primária	97
Produção total de energia primária	81

*Tabela 7 – Dados gerais do caso de estudo
Marché Corporate Headquarters (Fonte: Voss, et al., 2013)*

Figura 44 - Marché Corporate Headquarters em Zurich (Fonte: fotografia de Willi Kracher em Detail, s.d.)



3.4.2 Marché Corporate Headquarters

Num país fortemente caracterizado por preocupações ambientais, a filosofia da cadeia alimentar Marché não deixou descuidar a sua filosofia sustentável e ecológica no momento da criação do edifício de escritórios em Kemptthal, Suíça.

Desenhado apenas para responder a requisitos energéticos, o edifício de design compacto construído em madeira apresenta um isolamento térmico excelente, a utilização de vidro triplo e o mínimo possível de pontes térmicas. Estando a sua orientação Norte-Sul apenas fundamentada pelas futuras vantagens de energia solar passiva e ativa, desconectando-se do sítio e dos edifícios e ruas em redor, ao contrário da Fundação David e Lucile Packard que sempre tiveram em vista a interação e integração da comunidade.

No que respeita às soluções passivas a fachada sul tira partido de grandes envidraçados que possibilitam a entrada de energia solar, protegendo-se com varandas contínuas de 1,3 metros de largura que criam sombreamento e impossibilitam o aquecimento excessivo no verão.

As soluções ativas estão fortemente relacionadas com os painéis fotovoltaicos que se colocam numa posição ótima. No entanto, podemos considerar que este sistema pertence à rede elétrica e não ao balanço do edifício, visto que apesar de integrados neste não pertencem ao seu dono mas sim ao fornecedor de energia de Zurich, a quem posteriormente é comprada $\frac{1}{4}$ da energia necessária ao preço de mercado.

Contudo, apesar das várias preocupações energéticas e de design do edifício, o objetivo de balanço zero não é atingido devido a necessidades energéticas e de iluminação maiores do que as planeadas, resultantes em parte por perfis de operação diferentes dos programados, bem como por equipamentos que consomem mais do que apresentado pelas empresas, não sendo um problema de geração que energia, visto que os PVs produziram tanta ou mais energia do que a esperada (Voss & Musall, 2013).



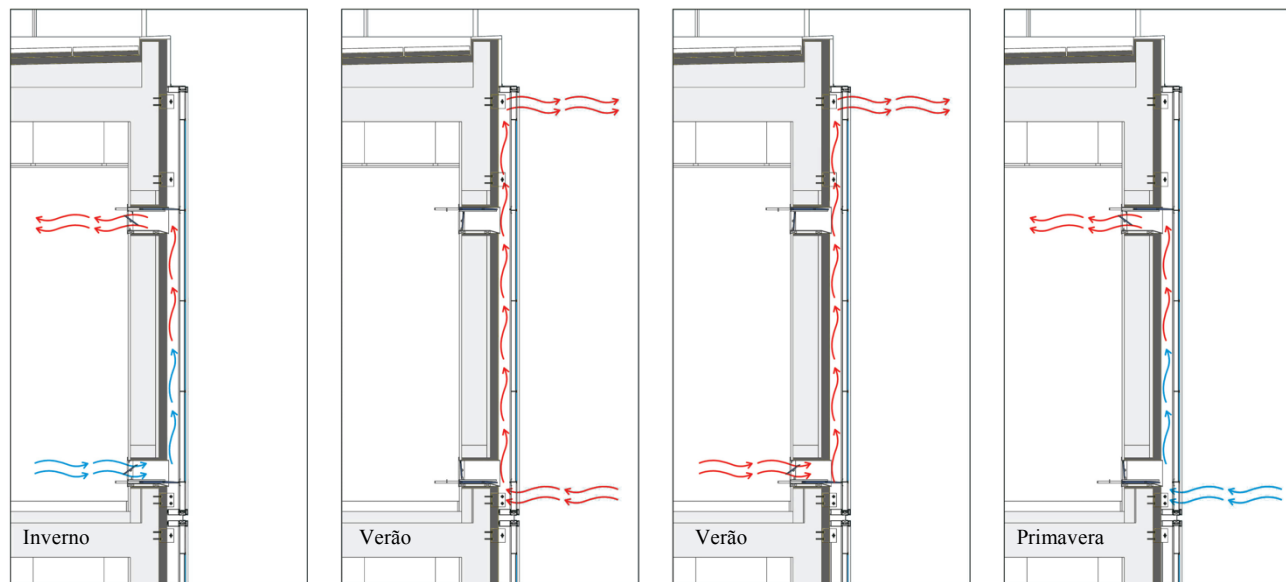


Figura 45 - Integração dos painéis fotovoltaicos na fachada do Solar XXI (Fonte: fotografia de Daniel Malhão em Cabrito & Diniz, 2016)

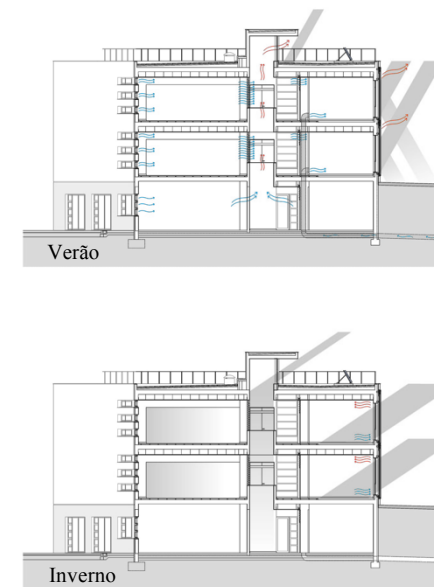


Figura 46 - Diagramas das estratégias de projeto do Solar XXI (Fonte: adaptado de Cabrito & Diniz, 2016)

3.4.3 Solar XXI

O edifício Solar XXI desenhado por Pedro Cabrita em 2006 para o Laboratório Nacional de Energia e Geologia permanece ainda como o mais mencionado na literatura de eficiência energética de edifícios em Portugal. Inicialmente concebido com o objetivo de um balanço quase nulo, veio a destacar-se por no período de um ano a sua produção ter excedido em 5% a energia utilizada pelo edifício, sendo ainda fortemente prestigiado por utilizar apenas 10% da energia requerida nos edifícios padrão desta tipologia em Portugal (François, et al., 2017).

Localizado num clima que requer preocupações nos meses de aquecimento e arrefecimento, recorre à aplicação de estratégias passivas e ativas. Com um proporção de aproximadamente metade da fachada principal envidraçada disponibiliza calor e luz natural aos espaços permanentemente ocupados (Aelenei, et al., 2010), recorrendo a venezianas para sombrear e proteger do brilho.

Fortemente caracterizado pela integração dos painéis fotovoltaicos na fachada sul, denuncia as suas intenções na arquitetura, ao contrário dos projetos anteriormente analisados que recorrem à instalação dos painéis na cobertura dissimulando-os, local onde neste caso localizam um concentrador parabólico como coletor solar (François, et al., 2017).

Utilizam ainda os painéis para a criação de duas camadas de fachada, onde instalam um sistema de ventilação que deve ser manipulados manualmente pelo ocupante consoante as suas necessidades, providenciando ventilação cruzada. É ainda importante referir o sistema de arrefecimento através do solo que providencia ar pré arrefecido para o interior do edifício (Aelenei, et al., 2010).

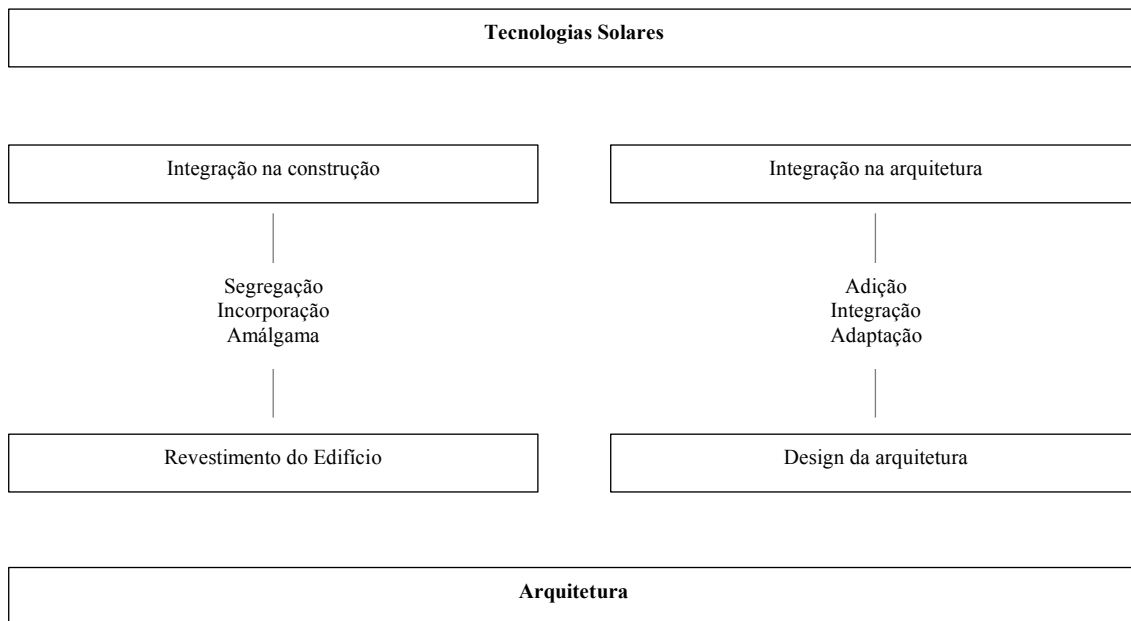


Figura 47 - Estratégias de design e construção para tecnologias solares ativas (Fonte: Hegger, et al., 2008)

3.4.4 Tecnologia Solar e Arquitetura

A integração das tecnologias solares na construção e na arquitetura continuam em desenvolvimento, na medida em que a integração de coletores solares no edifício é um desafio, contudo um benefício se considerarmos o seu efeito sinérgico. Deste modo, devem ser analisadas as diversas estratégias de aplicação (Figura 47 e Figura 48).

No que diz respeito à sua integração na construção, estaremos a analisar a relação do revestimento do edifício, dos serviços técnicos e da capacidade de carga da estrutura. Assim, esta relação pode ser organizada segundo três estratégias: segregação, incorporação ou amálgama. A segregação acontece se os elementos solares forem autônomos, como por exemplo a aplicação de painéis numa cobertura que já tenha telhado. Já no caso da incorporação, os elementos solares integram o edifício como uma camada de revestimento, substituindo materiais convencionais e criando proteção. Considerando-se, por fim, um situação amálgama quando os elementos solares preenchem todas as funções, podendo por exemplo ser responsáveis por revestir, isolar, gerar energia, entre outros.

Por sua vez, a integração das tecnologias solares na arquitetura relacionam-se mais com a harmonia entre o edifício e as tecnologias solares e a atratividade da representação arquitetônica, organizando-se igualmente em três estratégias: adição, integração e adaptação. A adição acontece quando o edifício é planeado sem tecnologias solares, sendo que quando se colocam estes sistemas a arquitetura e a configuração geométrica são esquecidas, servindo apenas de estruturas de apoio, acabando por não se encaixar. Ao contrário da integração, que pressupõe uma incorporação consciente no conceito arquitetônico, visível na atenção dada a proporções, padrões, juntas e superfícies. Por fim, no caso da adaptação, as necessidades da tecnologias solares como orientação e sombreamentos dominam o projeto, existindo uma adaptação do edifício.

No que diz respeito ao tipo de tecnologias a utilizar, devemos ainda ter em consideração as diferenças entre a aplicação de sistemas de painéis solares térmicos ou fotovoltaicos.

Ambos podem ser aplicados em fachadas, que apesar de terem uma menor incidência da radiação acabam por permitir grandes áreas superficiais, criando uma



Segregação
Constance, Schaudt Architekten



Incorporação
Tübingen Arena, Allmann Sattler
Wappner



Amálgama
Lahrter Station, von Gerkan Marg &
Partner



Adição



Integração
Burgweinting sports hall, Tobias Ruf



Adaptação
SMA, Hegger Hegger Schleiff

Figura 48 -Exemplos da relação das tecnologias solares com a construção e com a arquitetura (Fonte: Hegger, et al., 2008, p.108,109; Cavanagh, 2018)

imagem marcada por soluções personalizadas que se adequem à malha do design do edifício, bem como pela cor e propriedades óticas da sua face exposta.

No entanto, acabam por ser maioritariamente aplicados na cobertura, e convencionalmente diretamente na inclinação das águas. Contudo, o caso dos painéis fotovoltaicos reduz consideravelmente a sua produção se houver sombra nas suas células, devendo por isso ser procuradas superfícies que potencialmente não fiquem em sombra. Assim, no caso das coberturas planas, os painéis teriam que estar inclinados para garantir um eficiência ótima, no entanto na latitude abrangida pela Europa, significaria que iriam fazer sombra de uns para os outros, logo teriam que ser afastados, diminuindo a sua área e consequentemente a produção final, devendo por isso ser considerada a relação entre ambos estabelecendo a inclinação mais benéfica (Hegger, et al., 2008).

Em Portugal existem vários casos de estudo relativos à integração de tecnologias solares, apresentando-se como caso de estudo o Centro de Controlo Operacional da Brisa, dos arquitetos Carrilho da Graça, Flávio Barbini e Maria João Barbini, em Carcavelos, próximo ao terreno de intervenção. O projeto é fortemente caracterizado pelos alçados marcados por uma sequência de painéis solares que criam um paradoxo entre a autoestrada controlada pela Brisa, que fica à face, consumidora de energia e produtora de grandes emissões de CO₂ (Graça, 2009).



Figura 49 - Sumba Rumah Adat inserido na Farnsworth House fornecendo abrigo contra o calor, inserido no projeto Progress, Death, Assemblage and Life - Michael Daane Bolier and Dorus Meurs vencedor do concurso VEX 2018 (Fonte: Abdallah, 2018)

04

Decisões Projectuais e NZEB

Metodologia do Projeto Integrado

4 Decisões Projectuais e NZEB

De modo a organizar a evolução do projeto tornava-se necessária uma base metodológica que pudesse ser utilizada como guia no desenrolar das várias etapas. Assim, é feita uma breve pesquisa sobre o projeto integrado e estabelecida uma metodologia própria, organizada em tabela.



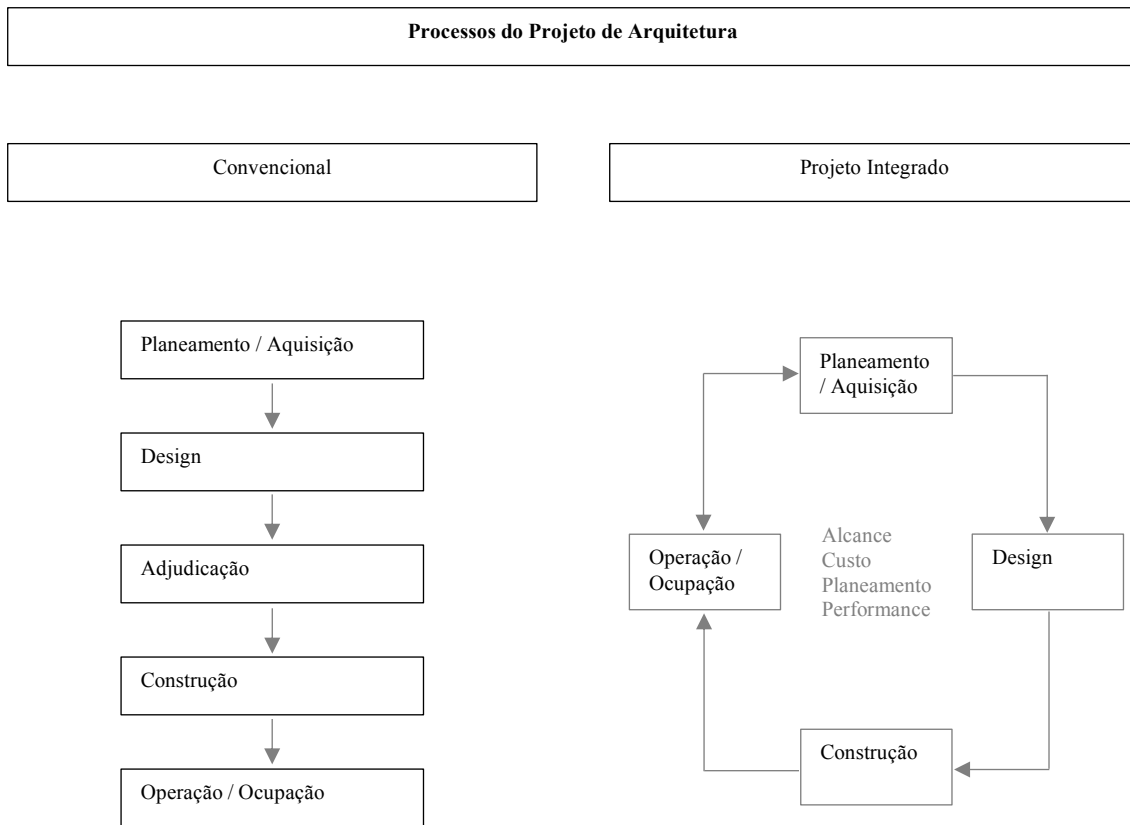


Figura 50 - Processo do Projeto de Arquitetura: convencional e integrado (Fonte: adaptado de Hootman, 2013, p.28)

4.1 Metodologia de Projeto Integrado

Apesar de alguns documentos sobre a organização das fases de projeto de arquitetura já enunciarem o projeto integrado, ainda não existe uma metodologia projetual detalhada e unânime que considere os edifícios zero ou de energia quase nula. Assim, tendo em conta o Guia de Projeto Integrado para a Construção de Edifícios de Necessidades de Energia Quase Nulas, o RIBA *Plan of Work* 2013 e a Norma Portuguesa 4526/2014, organizei a metodologia que iria aplicar ao caso de estudo.

O projeto integrado pode ser definido pela colaboração dos vários intervenientes no processo de design desde as fases iniciais e pela implementação de soluções que garantam um elevado desempenho energético, privilegiando as soluções passivas (Jørgensen, et al., s.d.).

Assim, numa primeira fase de iniciativa, devem ser identificados e discutidos os objetivos, bem como avaliar o seu nível de ambição, para que em seguida seja possível desenvolver os objetivos e as restrições, considerando estudos de viabilidade. Realiza-se ainda a procura do local mais adequado, um levantamento do terreno e dos seus constrangimentos e, por fim, uma análise climática. Posteriormente, tendo em conta os levantamentos realizados e uma análise social, considerando as necessidades do local, analisar a carência programática.

Passa-se de seguida para uma fase de definição de estratégia, onde são realizados vários esboços de projeto, considerando e debatendo todas as possibilidades e realizando as escolhas que se apresentem mais compatíveis com o objetivo final. Partindo para o desenvolvimento do design onde são estudadas: implantações e o impacto da sua forma e orientação no edifício e na produção de fontes de energia renováveis integradas, escolhas de estruturas, sistemas construtivos e suas materialidades, bem como de sistemas a utilizar. Reúnem-se, por fim, todas as peças necessárias para o projeto de execução e caderno de encargos, que no caso de um edifício de energia zero se deve fazer acompanhar por um manual de funcionamento para o utilizador.

Neste caso a etapa da obra não é verificada, voltando a ser revisto o uso de operação através da Simulação Energética, utilizando os valores padrão de utilização, possibilitando um posterior confronto entre os objetivos iniciais e os resultados finais.

	Iniciativa	Início		
		Definição Estratégica	Estudo da Viabilidade	Programa preliminar
Objetivos	X	X		X
Procura do Local		X		
Levantamento do terreno			X	
Geologia e Bacias Hidrográficas			X	
Poluição sonora e visual			X	
Vegetação			X	
Topografia			X	
Limites e construções da envolvente			X	
Pontos de interesse visuais			X	
Acessibilidade			X	
Análise histórica envolvente e terreno			X	
Levantamento dos constrangimentos			X	
Mapa de uso dos solos			X	
Análise Climática			X	
Exposição Solar			X	
Ventos			X	
Programa				X
Características (espaços, relações e funcionamento)				X
Implantação				
Estudos complementares				
Acessibilidade ao terreno				
Orientação do edifício				
Estimativa de Custo				
Estudos de Sustentabilidade				
Elementos de Comunicação			X	
Consultoria				
Compartimentação Genérica				
Estruturas e Sistema				
Ventilação				
Iluminação				
Abastecimento e drenagem de águas				
Sistemas de aquecimento e arrefecimento				
Soluções Construtivas				
Aproveitamento de fontes de energia renováveis			X	
Caderno de Encargos (quantidades/execuções)				
Certificação				
Gestão				

Projeto Conceito de Design	Desenvolvimento de Design	Projeto de Execução	Obra Construção	Uso Operação e manutenção	Fim de vida Renovação ou desmantelamento
X					
X					
X					
X					
X					
X					
X					
X					
X					
X					
X					
X					
X					
	X				
	X				
X	X				
X					
X					
X	X				
X	X				
X	X	X			
X	X	X			
X	X	X			
	X	X			
	X	X			
	X	X			
	X	X			
	X	X			
		X			
		X			
		X	X		
		X	X	X	X
				X	X



Figura 51 - Ortofoto com marcação da Ribeira de Sasseiros - Terreno de intervenção

05

Casa dos Pátios

Cascais – Território em Análise
Clima
Fontes energéticas
Emissões de Carbono
Local de Intervenção
Projeto
Decisões Projetuais e Simulação Energética

5 Casa dos Pátios

Neste capítulo serão aplicados os conceitos anteriormente apresentados, tentando conseguir atingir um edifício de energia zero para uma residência de idosos.

O capítulo desdobra-se desde a escolha do local de implantação, análise climática e energética do concelho, a estratégias a aplicar e, por fim, evolução das opções tomadas até ao balanço final e comparação com outros edifícios da mesma tipologia.





5.1 Cascais – Território em análise

O território de estudo para o Projeto Final de Arquitetura insere-se na Área Metropolitana de Lisboa, mais precisamente no Concelho de Cascais entre a Ribeira de Caparide e de Sassoeiros. Tendo como temática principal a relação do território construído com estas ribeiras de caudal torrencial, que têm sido marginalizadas ao longo dos últimos anos.

Numa primeira análise espacial foi possível caracterizar a Ribeira de Caparide como aquela que permanece com uma referência de um território mais natural, resistindo aos avanços da construção, sendo uma grande área em torno da Ribeira delimitada como Unidade de Paisagem de Vale de Ribeira. Deste modo, tendo em conta a abordagem sustentável que foi proposta como um princípio de projeto definiu-se uma estratégia de salvaguarda da paisagem natural não intervindo nesta área.

Partindo assim para uma posterior investigação da Ribeira das Marianas e de Sassoeiros, concluindo que a primeira se encontrava atualmente inserida num território mais desenvolvido, saturado e marcado por uma forte ocupação, enquanto a segunda se caracterizava ainda por uma unidade de paisagem mais natural colocada em risco pela pressão imobiliária gerada pela abertura da School of Business and Economics.

Iniciando-se um processo de crítica à construção massiva, a abordagem de grupo que tem como ponto essencial a manutenção da Ribeira de Sassoeiros tem sempre em vista manter ao máximo o território verde ao mesmo tempo que o habita e qualifica.

O sentido Norte-Sul que caracteriza a Ribeira apresenta-se fortemente fragilizado pelas intensas marcas geradas no território pela marginal, pelo comboio e, posteriormente, pela auto-estrada. Podendo ainda perceber-se que existe um amplo território livre em torno da Ribeira em ambos os lados da auto-estrada, enquanto nas zonas de maior concentração habitacional a Ribeira se encontra emparedada.

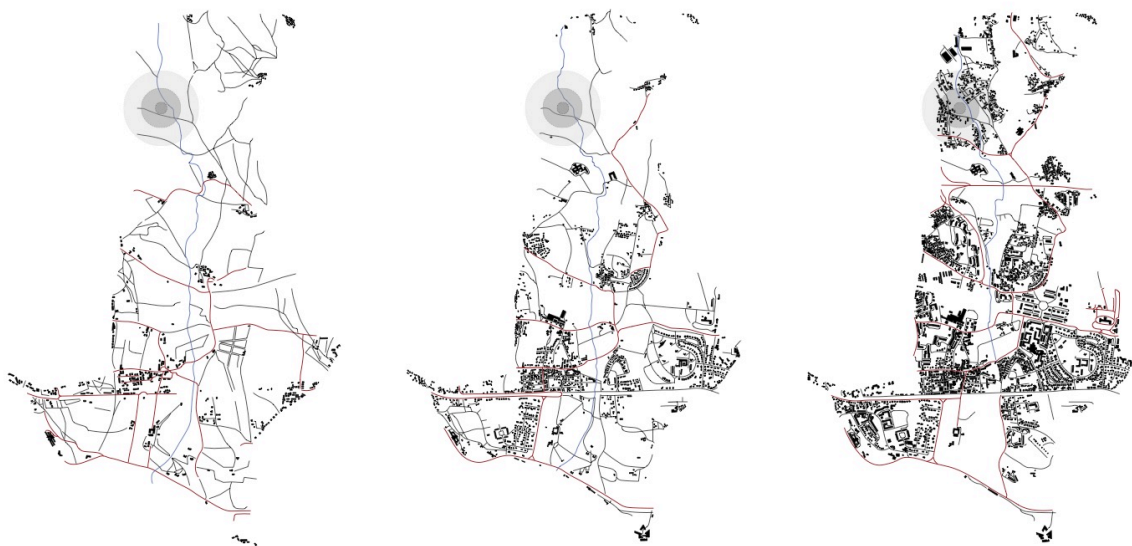


Figura 53 - Evolução da distribuição populacional ao longo da Ribeira de Sassoeiros - 1942, 1970 e 1992 (Fonte: Cartas militares)

A evolução histórica permite ainda perceber que a relação homem-água marcou fortemente o ocupar deste espaço, tanto pela evolução dos acessos construídos como pelos próprios núcleos habitacionais e prever que é necessária uma proteção das restantes zonas naturais da cidade.

Para além de ser o território mais denso, abaixo da auto-estrada é ainda onde se localiza o poder económico bem como a grande maioria de serviços e comércio. Deste modo, a proposta do grupo parte dum pressuposto de integração económica, sociocultural e estímulo da relação natureza-urbano, criando um corredor verde que acompanha a Ribeira, constituído por espaços de lazer e um ciclovia que facilitaria as ligações territoriais, aproximando a zona norte e sul.

“O clima é o que você
espera, o tempo é o que
você recebe”

(Heinlein cit. Heywood, 2015, p. 46)

5.2 Clima

A meteorologia, também designada como tempo, é uma medida da atmosfera num momento particular, no entanto quando realizamos a análise de um espaço devemos considerar a climatologia, uma condição atmosférica em um longo período de tempo, que apesar de algumas condições atípicas consegue ser resumida num padrão (Heywood, 2017).

No ano de 2013 foi editado pelo LNEG o relatório de ‘Climatologia e anos meteorológicos de referência para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios’, onde os municípios estão organizados por Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III. Recorrendo à ferramenta Climas-SCE versão 1.05, baseada naquele relatório, é possível modificar a altimetria atingindo dados climáticos mais fidedignos para cada concelho, podendo posteriormente abrir esse ficheiro no programa Climate Consultant que organiza em gráficos os diversos parâmetros.

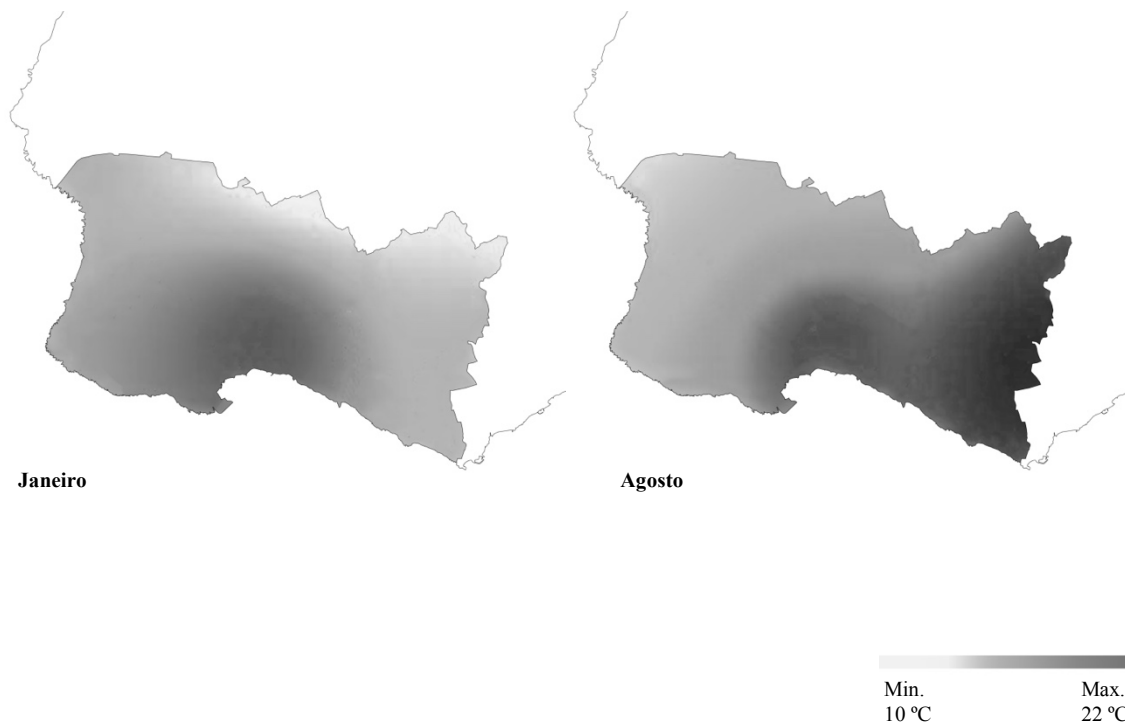


Figura 54 - Mapa da temperatura média no mês de Janeiro e Agosto (Fonte: Moreira, et al., 2015, p.21)

5.2.1 Temperatura

O concelho de Cascais apresenta uma grande influência da proximidade marítima quando analisamos as variações de temperatura anuais. Deste modo, verificamos uma variação da temperatura em latitude e altitude, bem como um aumento da temperatura máxima e uma diminuição da temperatura mínima com o afastamento da orla costeira (Figura 54).

No Verão as zonas mais quentes são as urbanizadas junto à costa, como Cascais e Estoril, juntamente com Sassoreiros e Talaíde. O aumento da temperatura no sentido Oeste-Este faz ainda que as localidades limítrofes do concelho, como Outeiro de Polima e Torre d'Aguilha, sejam as que apresentam as temperaturas mais altas. Verificamos ainda que não apresenta temperaturas tão altas como os concelhos vizinhos nesta estação, devido aos ventos do Norte que afastam as águas quentes para o largo e contribuem para que as águas frias arrefeçam o ambiente costeiro.

No Inverno, o facto de não apresentar temperaturas tão baixas como os concelhos limítrofes deve-se à proximidade ao mar, à boa exposição a sul, à Serra de Sintra que abriga dos ventos de Norte, às correntes do golfo que passam perto da costa e, nos meios urbanos, ao efeito de ilha de calor (Moreira, et al., 2015). (Figura 54)

Segundo dados do Clima-SCE v.1.05, para a localização anteriormente descrita, a estação de aquecimento tem uma duração de 5,2 meses, com uma temperatura média de 10,9 °C e soma 1034 °C de Graus-dia e a estação de arrefecimento apresenta uma temperatura média de 21,9 °C.

Por conseguinte, é possível definir um zonamento climático regulamentar, que se baseia em três zonas climáticas de inverno e de verão, de modo a aplicar os requisitos de qualidade térmica da envolvente.

As zonas climáticas de inverno são definidas pelo valor de Graus-dias (GD) na base de 18 °C, sendo a zona I1 aquela que apresenta um número de GD inferior a 1300 °C tal como ocorre no local em estudo.

As zonas climáticas de verão são definidas através da temperatura média exterior, sendo a zona V2 a correspondente ao caso de estudo, pelo facto de se apresentar entre o intervalo de 20 °C e 22 °C (Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2013).

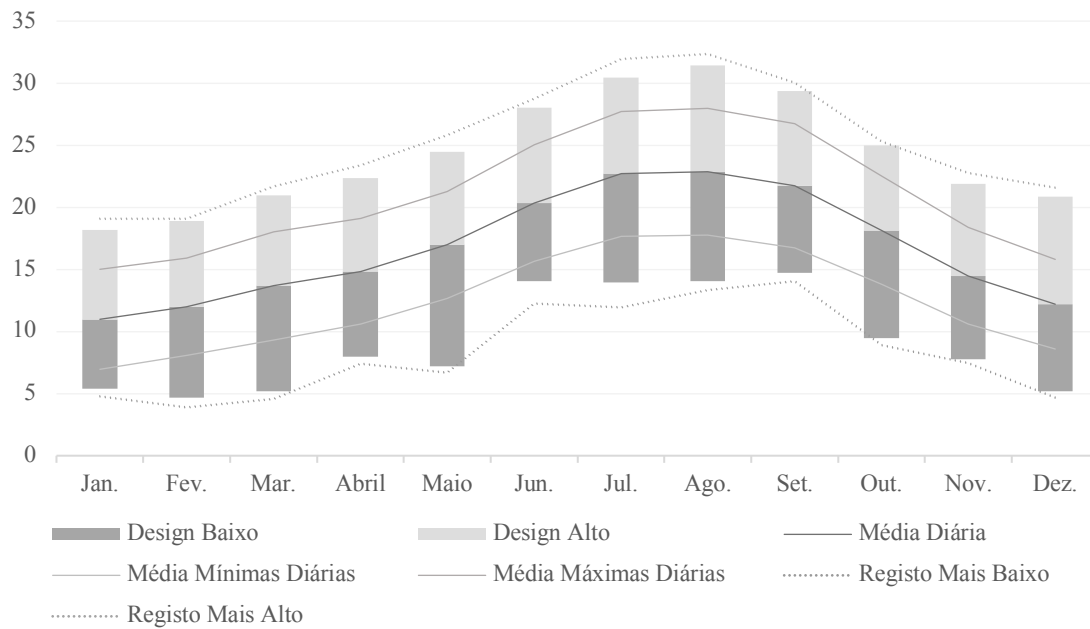


Figura 55 - Valores médios de temperatura na estação de São Domingos de Rana (Fonte: LNEG)

As temperaturas analisadas são de bulbo seco, isto é, a temperatura do ar é medida com um termómetro padrão sem exposição à radiação direta do sol ou humidade.

Anualmente podemos verificar uma grande amplitude térmica, de 32,35°C em Agosto para 3,89°C no mês de Fevereiro, estando no geral fora da zona de conforto estabelecida (Figura 55).

O Verão apresenta temperaturas altas, geralmente acima dos 20°C. Encontrando-se nestes meses acima e abaixo da zona de conforto, este fato deve-se para além das variações diárias às variações horárias que apontam para um arrefecimento noturno (LNEG, 2013). Assim, ao nível projetual este arrefecimento noturno poderia ser aproveitado para perder o calor, bem como para as variações de mais de 10°C seria benéfico o uso de massa térmica (Hootman, 2013).

O Inverno, por sua vez, é marcado por temperaturas abaixo dos 15°C, nunca chegando a temperaturas negativas, mas apresentando-se sempre abaixo da zona de conforto, devendo por isso ser aproveitados todos os ganhos solares.

As barras apresentadas no gráfico que representam o design alto e baixo servem como indicadoras para o cálculo do tamanho do equipamento de aquecimento e arrefecimento considerando que 1% das horas mensais não são cumpridas (LNEG, 2013).

As temperaturas de conforto tidas em conta para esta primeira análise basearam-se no *ASHRAE Standard 55 and Current Handbook of Fundamentals Model* que disponibilizam os seus valores no programa *Climate Consultant*.

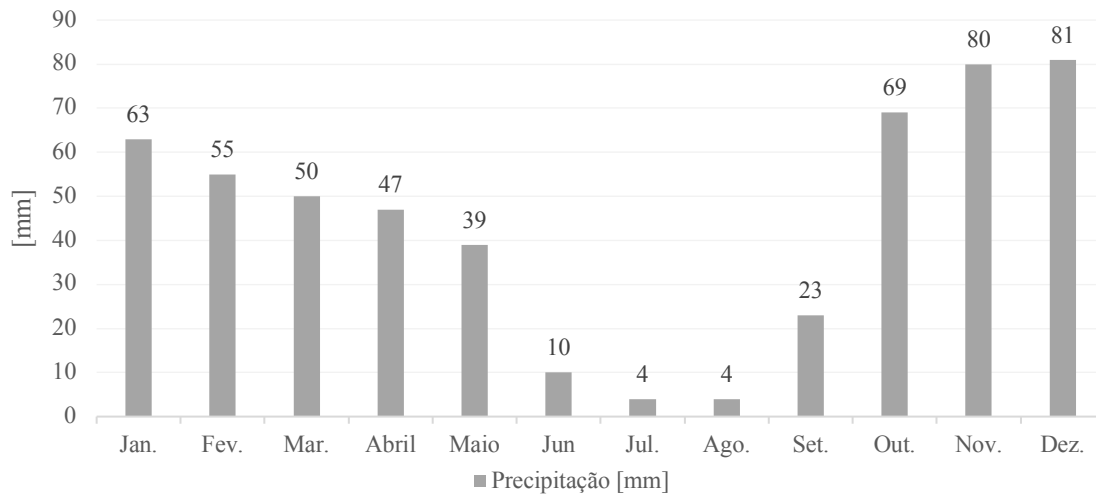


Figura 56 - Precipitação anual na estação de São Domingos de Rana (Fonte: Meteoblue)

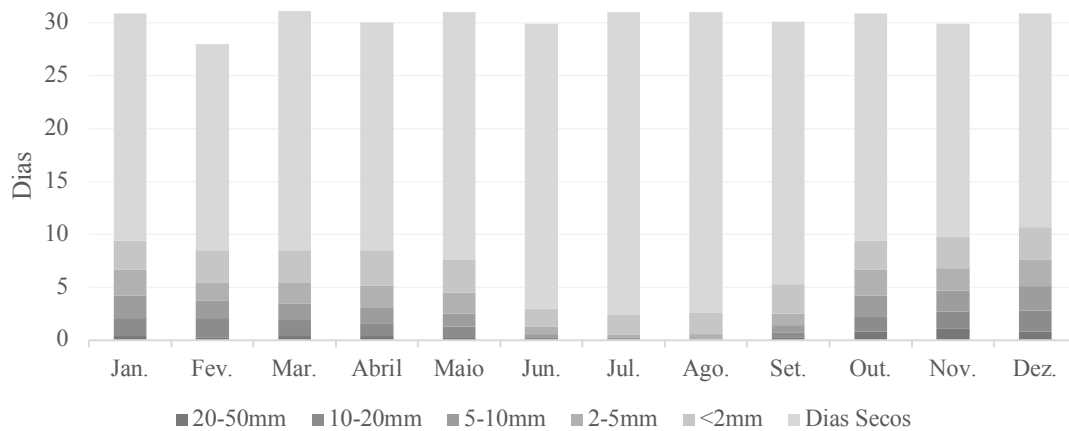


Figura 57 - Quantidade de precipitação na estação de São Domingos de Rana (Fonte: Meteoblue)

5.2.2 Precipitação

Em conformidade com o Plano de Pormenor do Espaço de Reestruturação Urbanística de Carcavelos – Sul, é considerada precipitação toda a queda de água no estado líquido ou sólido resultante do vapor de água existente na atmosfera. Os seus valores são contabilizados através da quantidade de água por unidade de área, expressos em milímetros de altura de água por metro quadrado [mm] ou em litros por metro quadrado [l/m^2] (Biodesign, 2010).

No que diz respeito ao concelho de Cascais, conseguimos perceber que o mar influencia o regime de chuvas inversamente ao que é expectável, ocorrendo no litoral a menor quantidade de precipitação. Sendo visível um aumento da precipitação de Oeste para Este e de Sul para Norte, o litoral ocidental apresenta-se como uma das zonas menos chuvosas e o limite Norte uma zona problemática devido à proximidade à Serra de Sintra (Moreira, et al., 2015).

Na freguesia de São Domingos de Rana podemos verificar que os meses de Outubro a Janeiro apresentam valores mais elevados de precipitação, por oposição aos meses de Junho a Agosto em que esta é quase inexistente (Figura 56).

No que diz respeito à quantidade de precipitação é possível constatar que ao longo do ano existem muitos dias secos, mesmo no inverno, sendo o aumento da quantidade de precipitação nestes meses justificado pelo aumento da precipitação diária; isto é, apesar de existirem dias secos no inverno, naqueles que chove a intensidade é maior (Figura 57).

Como podemos verificar no gráfico acima, à exceção do mês de Fevereiro, todos os meses apresentam mais do que 20 dias secos, perfazendo um total de 279 dias secos, o equivalente a aproximadamente 76% do ano.

A precipitação e a temperatura apresentam uma relação inversamente proporcional, isto é, os meses em que as temperaturas médias mensais se apresentam mais elevadas coincidem com os meses em que a precipitação média mensal apresenta os valores mais baixos (Biodesign, 2010).

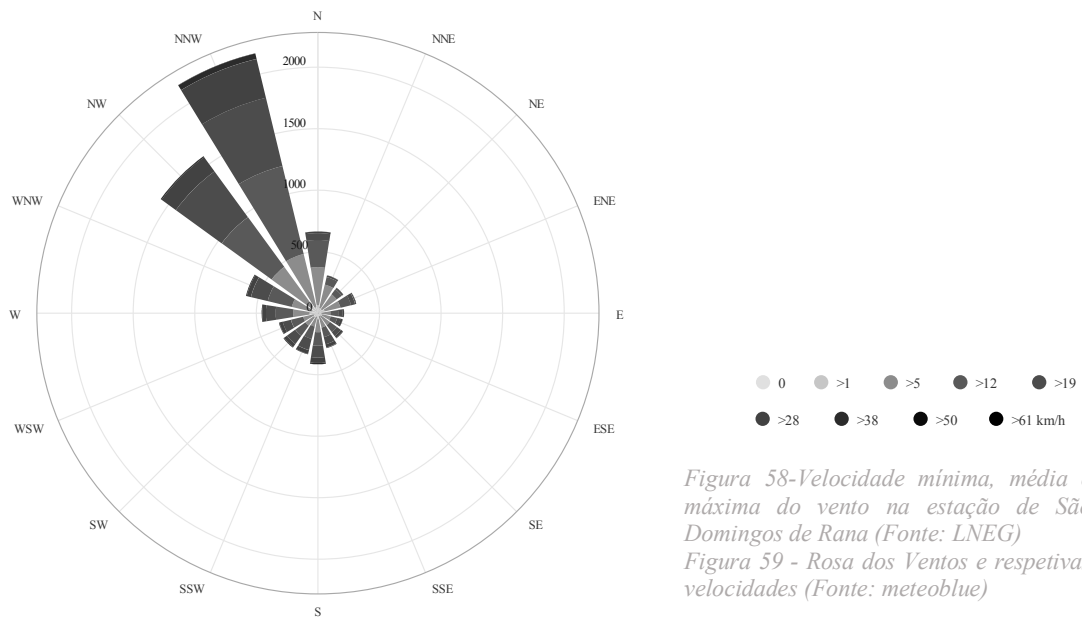
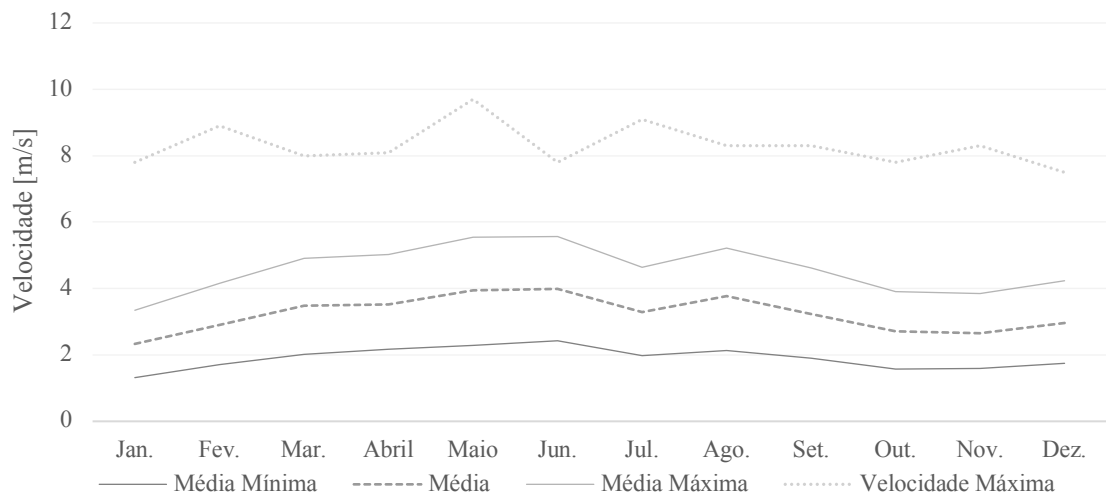


Figura 58-Velocidade mínima, média e máxima do vento na estação de São Domingos de Rana (Fonte: LNEG)
 Figura 59 - Rosa dos Ventos e respetivas velocidades (Fonte: meteoblue)

5.2.3 Ventos

No que se refere aos ventos, uma análise climatológica deve avaliar o rumo, através da rosa-dos-ventos, e a velocidade, que se expressa em quilómetros por hora [km/h] ou metros por segundo [m/s]. (Biodesign, 2010)

Na freguesia de São Domingos de Rana, pode observar-se uma predominância dos ventos de Noroeste, sobrepondo-se amplamente a todas as outras direções visto que representa a direção de aproximadamente 50% das horas anuais (Figura 59).

No que respeita à sua intensidade, a velocidade média anual é de 11,62 km/h, sendo as velocidades médias mais elevadas expressas nos meses de verão e com origem em Noroeste. A velocidade mínima registada é 0 km/h para todos os meses e a velocidade máxima varia entre os 27 km/h no mês de Dezembro e os 34,92 km/h no mês de Maio (LNEG, 2013), existindo apenas 4 horas anuais em que a velocidade ultrapassa os 50 km/h (Figura 58).

De modo a perceber o potencial de utilizar a ventilação natural como sistema passivo para arrefecimento, deve-se avaliar a direção e a velocidade do vento para os horários de início da manhã e final da tarde para os meses de verão. Assim, durante os meses de Julho, Agosto e Setembro, os mais quentes, entre as 6 e as 10 horas da manhã o vento provem de Noroeste a uma velocidade média de aproximadamente 14,4 km/h, enquanto entre as 18 e as 22 horas a direção continua a mesma mas a velocidade aumenta para aproximadamente 16,2 km/h. Deste modo, podemos concluir que a ventilação natural é um sistema passível de utilizar no projeto. Demonstra ainda que não é estritamente necessária a proteção de nenhuma fachada, pelo fato de não existirem ventos muito fortes e nos meses de inverno as velocidades serem mais baixas.

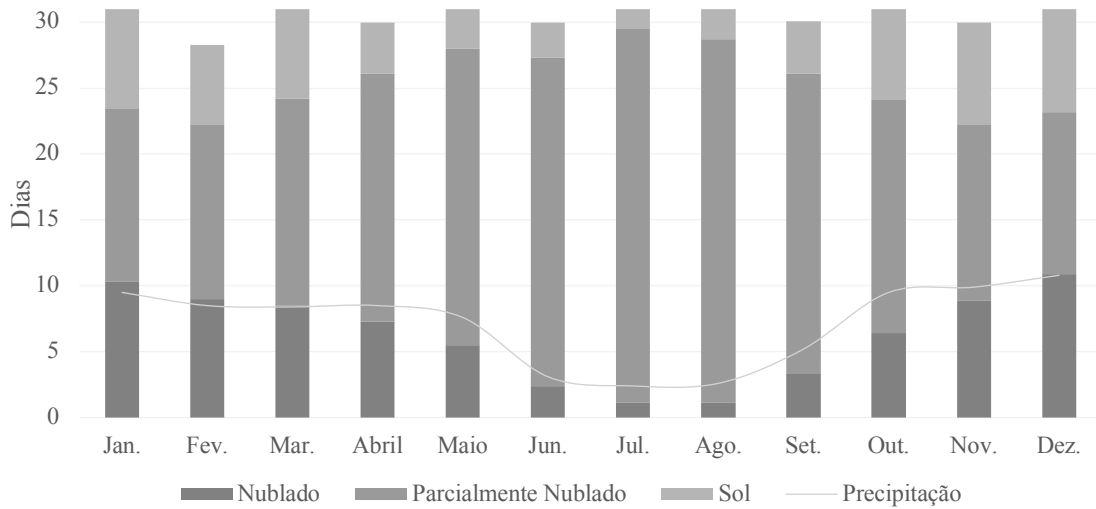


Figura 60 - Céu nublado, sol e dias de precipitação na estação de São Domingos de Rana (Fonte: Meteoblue)

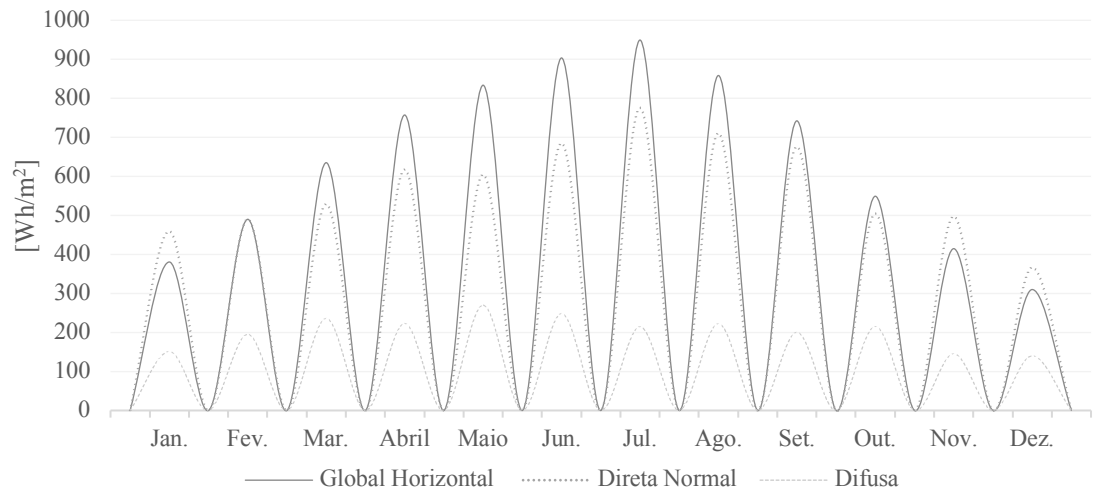


Figura 61 - Média máxima diária de radiação direta normal, difusa e total horizontal (Fonte: LNEG)

5.2.4 Insolação e irradiação

A insolação refere-se ao período temporal em que o céu se apresenta descoberto num determinado local, devendo estar expresso em horas (Biodesign, 2010). Podendo também ser uma medida de radiação que tem como unidades a energia por área, estando por isso muitas vezes apresentada em Wh/m^2 , assim a insolação é a irradiação ao longo de um determinado período de tempo normalmente expressa por dia ou por ano. Já a irradiação representa a potência em W/m^2 como um valor instantâneo (Hootman, 2013).

Como podemos verificar no gráfico, a freguesia de São Domingos de Rana apresenta ao longo do ano um céu predominantemente parcialmente nublado, sendo ainda considerável o período em que se encontra nublado. O valor médio anual de insolação é de aproximadamente 1450 horas (Figura 60).

Considerando que a radiação solar direta normal é medida perpendicularmente ao feixe direto e que a radiação solar global horizontal apresenta a combinação da radiação direta e difusa medida numa superfície horizontal (Hootman, 2013) seria expectável que a segunda manifestasse os valores mais elevados. No entanto nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro tal não acontece devido ao fato da altura solar diminuir, assim a potência da energia por área horizontal torna-se inferior (Figura 61).

A radiação difusa mede a radiação resultante da reflexão e da dispersão da radiação direta do feixe (Hootman, 2013), sendo por isso a que apresenta os valores mais baixos.

Através duma análise à radiação juntamente com a temperatura, podemos perceber que existe a necessidade de sombrear no verão para não sofrer um sobreaquecimento, inversamente ao inverno que deve aproveitar o potencial de todos os ganhos solares.

No que diz respeito à geração de energia devemos observar os valores de irradiação solar global horizontal, que representa uma média a longo prazo das médias anuais ou diárias de radiação solar global horizontal (Solargis, s.d.). Assim, para o território em questão a irradiação solar global horizontal apresenta um valor de $1767,3 \text{ kWh/m}^2$ (LNEG, 2013).

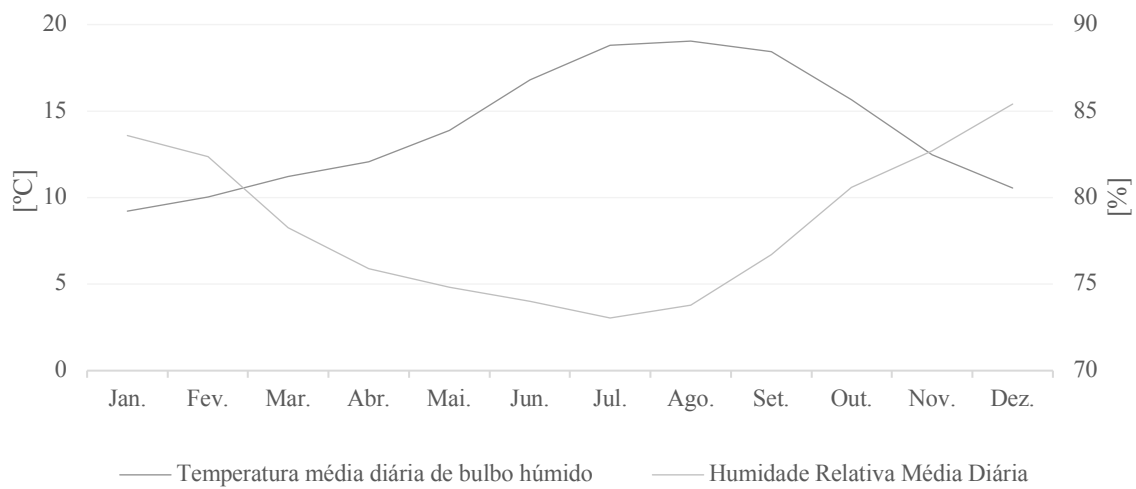


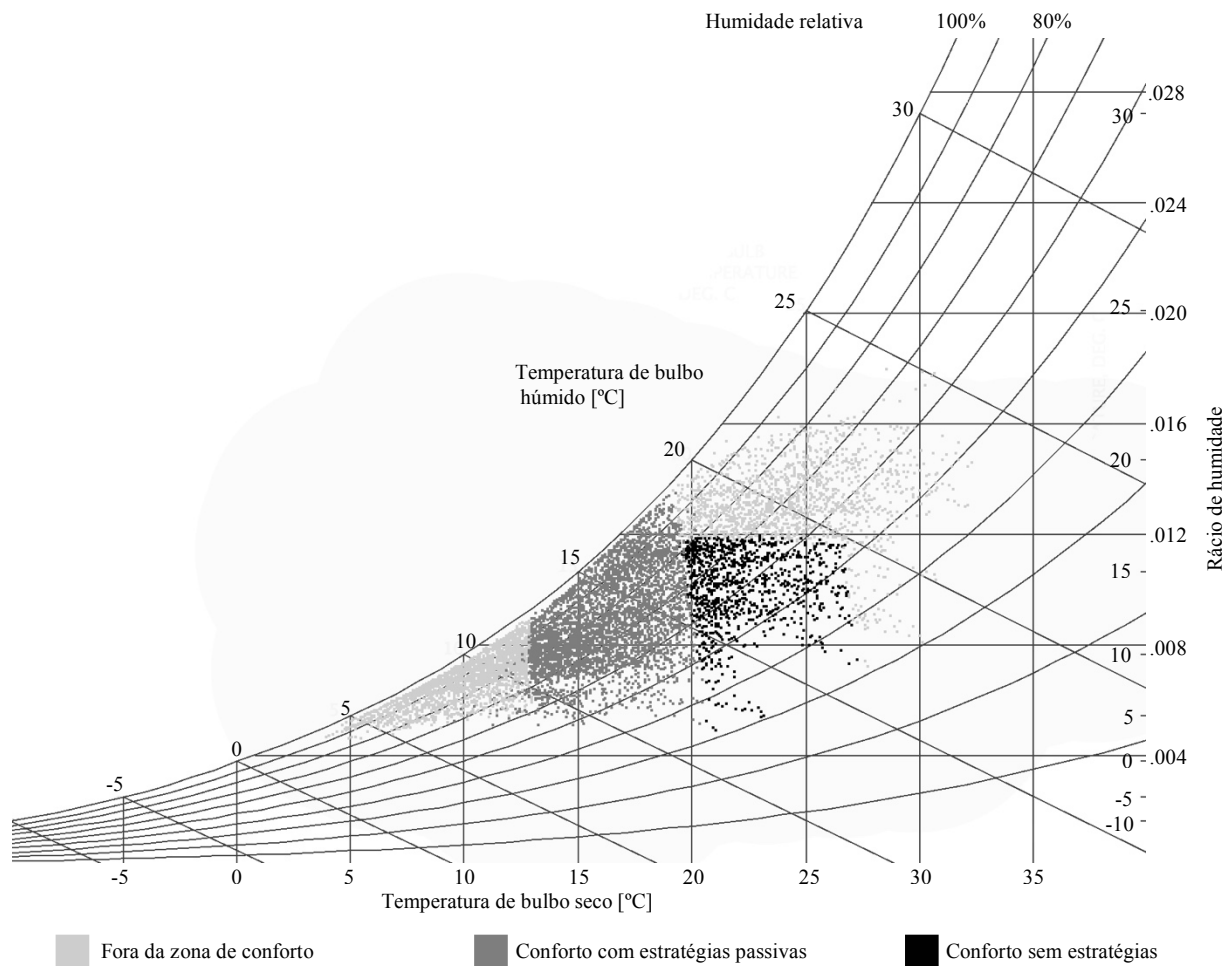
Figura 62 - Relação entre a temperatura de bulbo húmido com a humidade relativa - médias diárias (Fonte: LNEG)

5.2.5 Humidade relativa

A humidade relativa do ar resulta da relação entre a humidade absoluta e o ponto de saturação, isto é, entre a quantidade de água existente no ar e a quantidade máxima para a temperatura em questão, apresentando-se em percentagem (Rodrigues, et al., 2009).

No caso de Cascais, devido à proximidade marítima, a humidade relativa apresenta-se geralmente elevada, com reduções expressivas apenas nos meses de verão. A estimativa dos valores médios anuais de humidade relativa do ar às 9 h variam entre os 79% (Aguiar, 2010) e os 77%, considerando-se por isso um clima sub-húmido (Biodesign, 2010).

A comparação dos valores de humidade relativa com a temperatura de bulbo húmido (Figura 62) possibilitam ainda que se compreenda que na medida em que a temperatura aumenta a humidade diminui. Deste modo, nos meses de inverno deveriam-se aproveitar os ganhos internos de calor e os ganhos de calor solar passivo através de materiais de alta inércia térmica para aumentar a temperatura, bem como utilizar um sistema de aquecimento mecânico. Enquanto no verão para dissipar os ganhos internos, necessitamos de utilizar como estratégias ativas a desumidificação e o arrefecimento mecânico (LNEG, 2013).



	Jan.	Fev.	Mar.	Abril	Maió	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
<i>Sem Estratégias</i>	0%	0%	4%	10%	19%	35%	15%	11%	15%	26%	6%	2%
<i>Com Estratégias</i>	34%	43%	59%	67%	88%	81%	37%	35%	49%	80%	66%	45%

5.2.6 Análise geral

Constatamos por fim que a freguesia de São Domingos de Rana apresenta um clima ameno, marcado por um verão mais rígido que o inverno quando analisamos as temperaturas, podendo ser comparado à Região de Lisboa e a vários concelhos do centro e do Litoral Sul e Algarve (Gonçalves & Graça, 2004). O ano é ainda marcado pela maioria dos seus dias sem precipitação com o céu parcialmente nublado, sendo o período de maior precipitação no inverno, no entanto apresentando um clima sub-húmido com a humidade relativa do ar a variar na sua maioria entre os 74 e os 82%. Por fim, os ventos são predominantes de noroeste e com intensidade moderada.

Podemos perceber ainda que existe uma ligação entre a temperatura e a precipitação quando analisamos os cursos de água, sendo que estes apresentam um regime torrencial caracterizado por leito seco no verão e com caudal variável no inverno dependente da precipitação (Moreira, et al., 2015).

Por fim, através da análise do diagrama psicrométrico (Figura 63) foi possível perceber que as horas totais de conforto não utilizando qualquer estratégia de adaptação se apresentam muito reduzidas, sendo apenas 1047 em 8760 horas, o que representa 12% do ano. Subindo para um total de 56,9% utilizando como estratégias passivas: sombreamento solar das janelas, aproveitamento dos ganhos internos de calor e dos ganhos de calor solares passivos diretos através de materiais com uma baixa massa.

Figura 63 - Diagrama psicrométrico da relação entre a temperatura de bulbo húmido e a humidade relativa, com as horas de conforto no interior (Fonte: LNEG)

Tabela 8 - Percentagem mensal de horas confortáveis no interior do edifício (Fonte: LNEG)

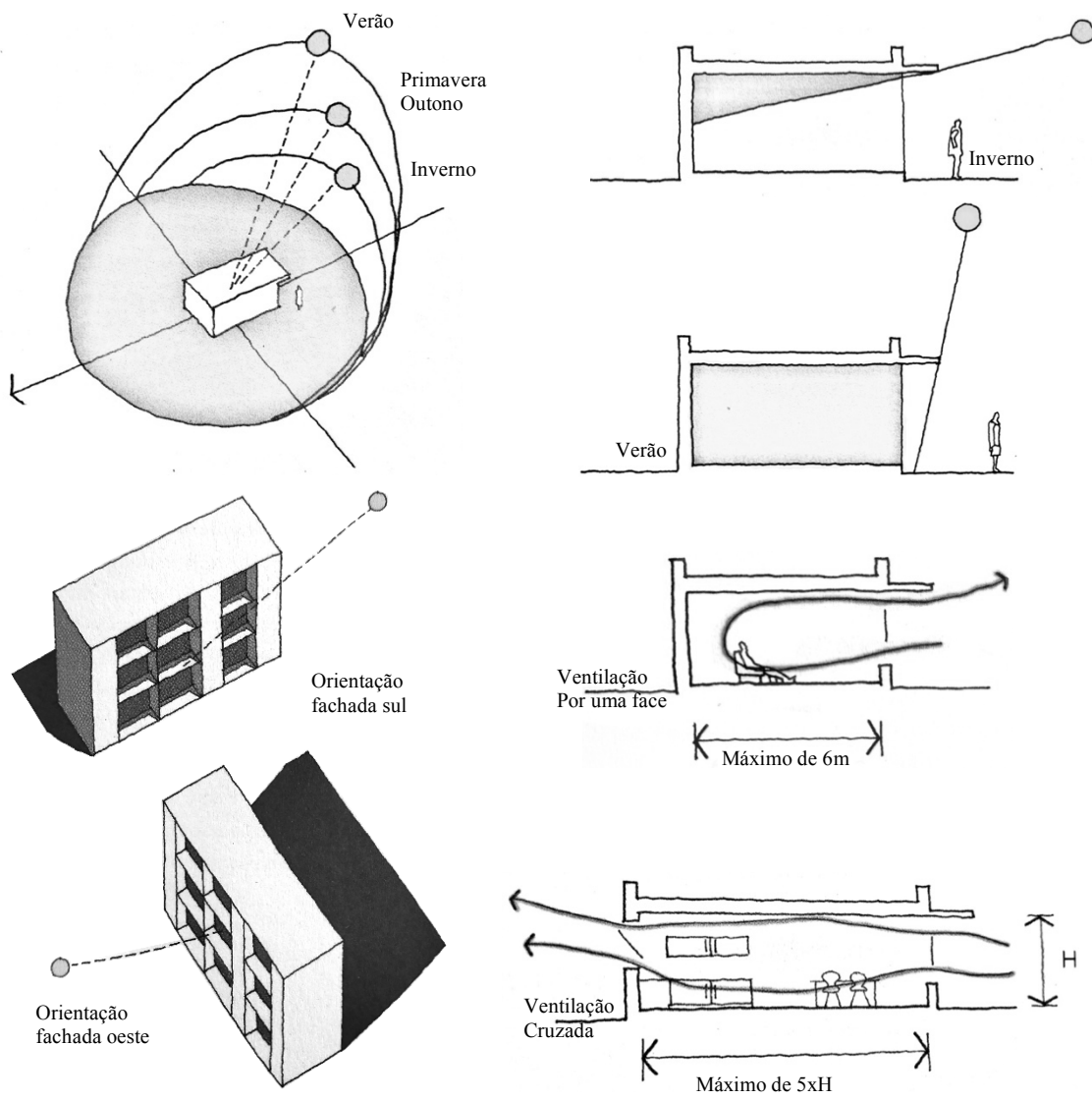


Figura 64 – Diagramas de estratégias utilizadas de resposta ao clima (Fonte: adaptado de Heywood, 2017)

5.2.7 Estratégias de resposta ao clima

De acordo com o zonamento climático regulamentar de I1 e V2, o manual de Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal (2004) estipula que o verão necessita de mais cuidados que o inverno. No entanto devemos ter em consideração que ambas as estações necessitam de cuidados, assim:

Inverno:

- Promover ganhos solares (Gonçalves & Graça, 2004) (Liggett & Milne, 2018), captar a energia do sol baixo e evitar o sombreamento excessivo (Heywood, 2017);

- Restringir perdas por condução isolando a envolvente (Gonçalves & Graça, 2004) e colocar tampos internos com isolamento nas janelas (Heywood, 2017);

- Recuperar o calor com um sistema mecânico, principalmente o proveniente da cozinha e das instalações sanitárias (Heywood, 2017) e aproveitar os ganhos de calor internos provenientes de pessoas, iluminação e equipamento para reduzir a necessidade de aquecer (Liggett & Milne, 2018);

Verão:

- Restringir ganhos solares sombreando os envidraçados (Gonçalves & Graça, 2004) (Heywood, 2017) (Liggett & Milne, 2018);

- Restringir ganhos por condução isolando a envolvente (Gonçalves & Graça, 2004);

- Promover a ventilação transversal noturna ou através de tubos enterrados (Gonçalves & Graça, 2004) (Liggett & Milne, 2018);

No que diz respeito às soluções que abrangem todo o ano, as orientações principais seriam preferencialmente para Norte e Sul e poderiam ser plantadas árvores de folha caduca, de modo a sombrear no verão e permitir a passagem de cerca de 70% dos raios no inverno, devendo ser colocado um cinturão de árvores a oeste, que protegesse principalmente do sol de final de tarde (Heywood, 2017).

Relativamente às janelas, Huw Heywood (2015) recomenda ainda que para um clima temperado seja utilizado um vidro com um fator solar elevado, isto é, com ganhos térmicos elevados, mas que esteja essencialmente sombreado no verão, um valor U baixo, que representa mais isolamento e uma película com um baixo valor de E, que mantém mais calor internamente.

	Cascais	Portugal
Número de Habitantes	210.361	10.358.076 *
Total de Energia Final	177.417 tep	~16.038.200 tep *
Total de Energia no Setor Doméstico	55.726 tep	~2.620.700 tep *
Energia Final por Habitante	0,84 tep/hab	1,55 tep/hab *
Energia Final por Habitante no Setor Doméstico	0,26 tep/hab	0,25 tep/hab
Energia Final por Alojamento	0,51 tep/alojamento	0,43 tep/alojamento

Tabela 9 – Comparação energética de Cascais com os valores nacionais (Fonte: Segurado e Pereira, 2017, Pordata, 2019)

5.3 Fontes Energéticas

A “Matriz Energética e de Emissões de Gases de Efeito de Estufa do Concelho de Cascais” surge, em 2017, da encomenda de um relatório por parte da Empresa Municipal de Ambiente de Cascais onde foram atualizados os dados de 2010 com dados relativos ao ano de 2015.

Todos os valores de consumo de energia final são apresentados em toneladas equivalentes de petróleo [tep], uma unidade de energia normalizada que utiliza fatores de conversão e permite comparar as diferentes fontes de energia com a quantidade aproximada que pode ser extraída de uma tonelada de petróleo, possibilitando a comparação de energia proveniente de diferentes fontes (Europe.eu, 2018).

Utilizando os dados do Concelho de Cascais, o balanço provisório de Portugal e alguns dados da Pordata, é possível realizar uma comparação entre os contextos municipal e nacional. Assim, tendo em conta o consumo total de energia final, podemos perceber que o município de Cascais representa 1,11% do total nacional. Por outro lado, pode ainda observar-se um consumo por habitante inferior à média nacional e um consumo por alojamento que apresenta um valor mais elevado. Deve-se no entanto ter em conta os valores calculados para o sector doméstico, onde a energia final por habitante já se apresenta superior à nacional. Pode-se por isso concluir que o município em causa apresenta um poder de compra elevado e poderá ter em média uma área de alojamento superior à nacional.

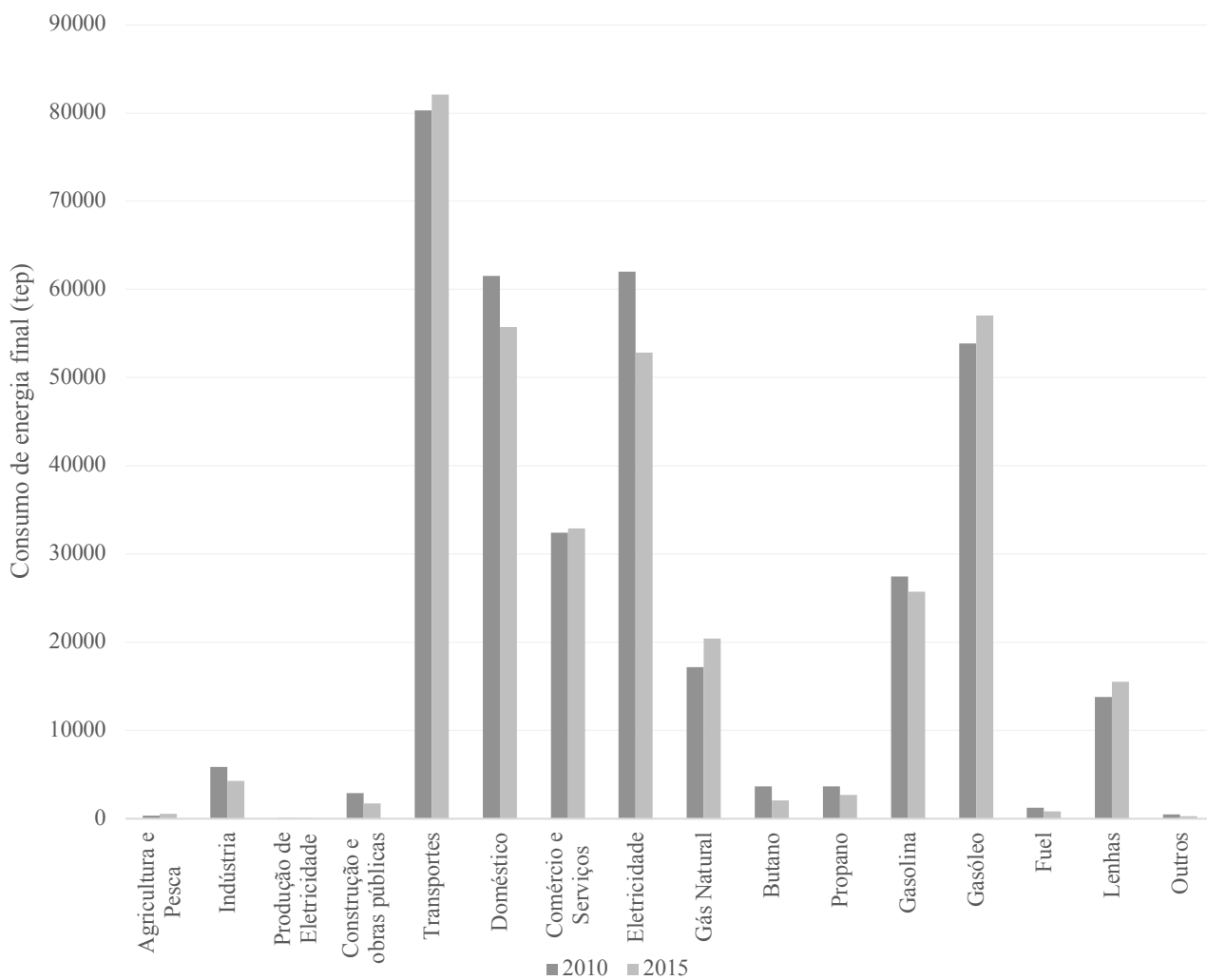


Figura 65 - Energia final por sector de atividade e por tipo de fonte (Fonte: Segurado e Pereira, 2017)

No que respeita ao tipo de fonte de energia, os que representam a maioria do consumo são o gasóleo e a eletricidade; no entanto, deve ter-se em atenção as lenhas e os resíduos vegetais que representam 9% das fontes de energia, tornando este recurso significativo.

Entre 2010 e 2015 podemos observar uma queda na utilização da eletricidade, do butano e do propano, por oposição ao gasóleo e ao gás natural cujo consumo aumentou.

Em relação aos sector de consumo, os transportes representam 46% da energia final, sendo na sua quase totalidade proveniente do gasóleo. O sector doméstico e de comércio e de serviços perfaz um total de 51%, sendo que o primeiro recorre a eletricidade, gás natural, lenhas e resíduos vegetais e os outros sejam baseados na eletricidade com uma pequena quantidade de gás natural (Segurado & Pereira, 2017).

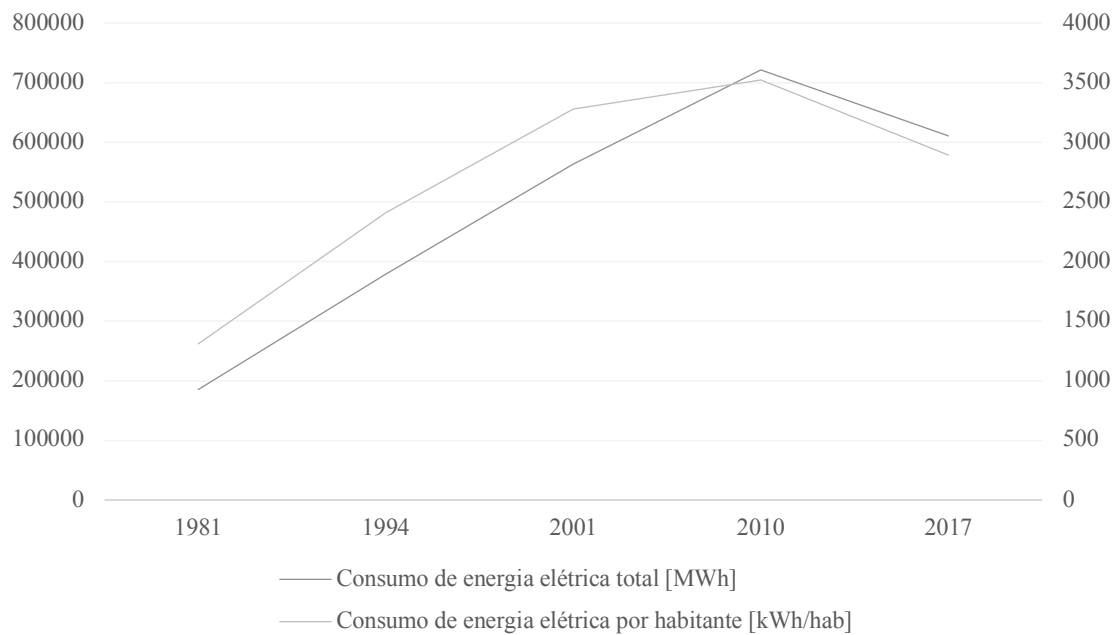


Figura 66 - Consumo de energia final e por habitante no concelho de Cascais (Fonte: adaptado de PORDATA, 2019)

5.3.1 Eletricidade e gás natural

Os edifícios são os maiores consumidores de eletricidade, representando 92% do consumo total da eletricidade de Cascais. Em 2015, foram consumidos 614.482 MWh de eletricidade, menos 15% do que em 2010. O sector que apresentou a maior quebra foi a indústria com 42%, seguido pelo sector doméstico com 22%. Por alojamento, o consumo de energia passou de 3,2 MWh em 2010 para 2,5 MWh em 2015, o que pode ser justificado tanto pela crise económica como pela progressiva e mais abrangente consciencialização da população relativa à necessidade de reduzir consumos (Segurado & Pereira, 2017).

Torna-se assim visível que num concelho tão marcado pela necessidade de energia elétrica se otimizem as redes com uma maior contribuição de energias renováveis, que podem facilmente ser geradas através da implantação de painéis fotovoltaicos nos edifícios.

Já o consumo de gás natural aumentou 19% de 2010 para 2015, contrariamente ao butano e ao propano cujo consumo diminuiu 45% e 31%, respetivamente. Pode assim concluir-se que esta mudança se deve à alteração do fornecimento das habitações de butano e propano para gás natural (Segurado & Pereira, 2017).

5.4 Emissões de Carbono

A grande densidade populacional do concelho de Cascais influencia amplamente os valores das emissões de carbono por unidade de área. De facto, enquanto Cascais emite 5.076 tonCO₂/km², o país emite 477 tonCO₂/km². No entanto, quando são analisados os valores per capita, Cascais destaca-se com 2,4 tonCO₂/hab ao passo que o país apresenta-se com 4,2 tonCO₂/hab.

Em 2015, foram emitidas 494.410 tonCO₂ no concelho de Cascais, observando-se um aumento de 8% relativamente a 2010. Tal aumento comprova-se pelo crescimento do consumo de gás e gasóleo. Este aumento foi também influenciado pelo consumo de eletricidade que, apesar da diminuição do seu consumo, alterou o fator de conversão de 202 tonCO₂/GWh em 2010 para 217 tonCO₂/GWh em 2014. Este fator de conversão varia anualmente visto que em anos de seca é necessária uma substituição da produção das centrais hídricas pelas centrais termoelétricas.

Sectorialmente, os transportes representam 51% das emissões, enquanto os edifícios representam 45% (Segurado & Pereira, 2017).



0 m 200 m 400 m 600 m

5.5 Local de Intervenção

O terreno escolhido para a implantação do projeto individual localiza-se na freguesia de São Domingos de Rana, com as coordenadas geográficas 38°42'54.9"N e 9°20'09.8"W. Encontra-se delimitado a sul pela Rua Forno da Cal, a oeste e norte por lotes habitacionais de génese ilegal e a este pela Ribeira dos Sassoeiros. Apresenta-se livre e pelo que podemos supor através da análise das cartas militares nunca deve ter tido nenhuma construção dentro dos seus limites. No entanto, é possível que tenha sofrido alterações ao longo dos anos devido à extração de pedras que aconteceria naquele local (ou muito próximo, pelo que é visível nas 3 cartas) e que daria o nome à Rua Forno da Cal.

Manifesta ainda alguma influência marítima pelo facto de estar a uma distância de 3,7 quilómetros do limite costeiro.

A sua altitude varia entre os 87 e os 83 metros (aproximadamente) e representa a orografia do concelho que em cerca 49% do seu território não possui um declive superior a 5%.

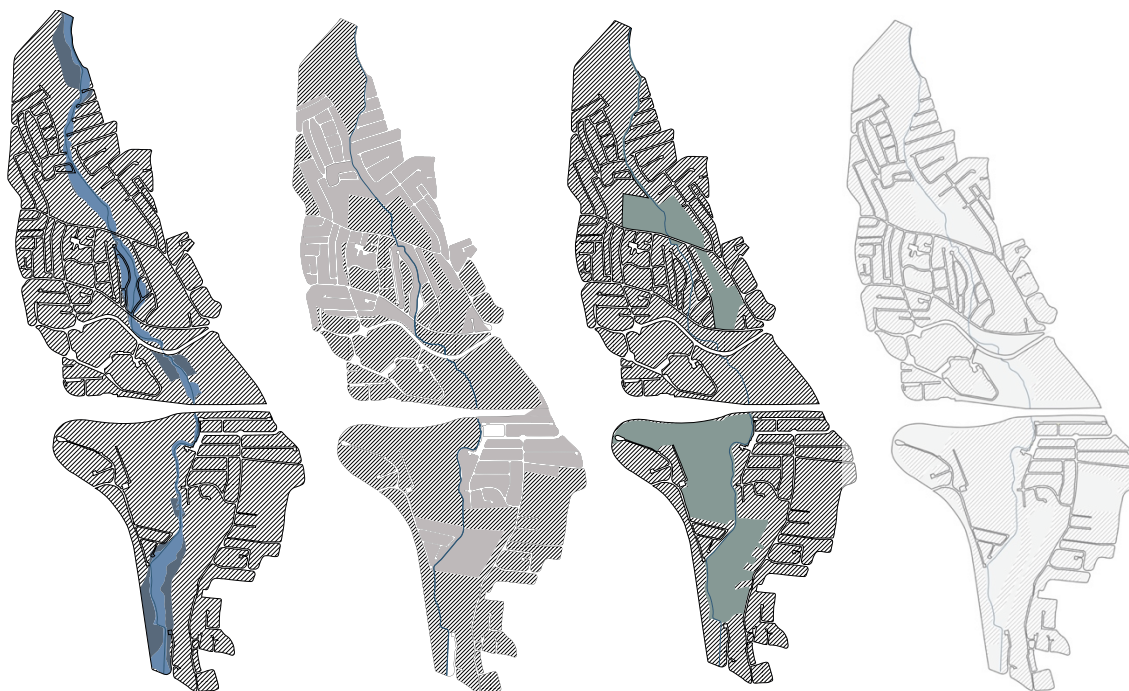


Figura 67 - Zonas ameaçadas por cheias, área urbana de génese ilegal, espaços verdes naturais e estrutura ecológica urbana (Fonte: adaptado de Cascais, 2019)

5.5.1 Condicionantes e Oportunidades

O projeto foi fortemente marcado por quatro particularidades relativas às zonas ameaçadas por cheias, à estrutura ecológica urbana, ao espaço verde natural e à área urbana de gênese ilegal que o circunda.

As zonas ameaçadas por cheias e as adjacentes às linhas de água representadas na planta de condicionantes correspondem a áreas contíguas ao leito dos cursos de água que foram alcançadas nos últimos 100 anos ou pela maior cheia conhecida, caso não existam dados. Segundo o regime de ocupação estas zonas deverão preferencialmente potencializar a permeabilidade do solo e infiltração de águas, admitindo obras hidráulicas para regularização das ribeiras ou construção de bacias hidrográficas, não sendo permitidas operações de loteamento e novas edificações.

A estrutura ecológica urbana é integrada por áreas que suportam os sistemas ecológicos fundamentais e complementares, que deve ser protegido para o bom funcionamento do solo urbano, e por espaços verdes de utilização coletiva direcionados ao lazer dos cidadãos e valorização da paisagem. Os seus regimes de ocupação variam consoante as áreas pertencentes, devendo no entanto ser construído em todas por infraestruturas ligeiras.

Os espaços verdes naturais são caracterizados por áreas verdes não tratadas que ainda apresentam a sua configuração original, importantes para o correto funcionamento do ecossistema.

Por fim, a área de gênese ilegal é constituída por prédios ou conjuntos de prédios contíguas que foram construídas ou alteradas sem licenças competentes (Município de Cascais, 2017).

Assim, a opção de intervenção no terreno foi marcada pela falta de uma malha consistente na envolvente que direcionasse a orientação da implantação, bem como pela ocupação do espaço apenas abrangido pela área verde, não interferindo com a zona delimitada como estrutura ecológica urbana.



5.5.2 Envolvente e vegetação

A envolvente do terreno é fundamentalmente constituída por habitações que variam entre os dois e os três pisos, podendo consequentemente ser avistado um grande raio em torno desta nova intervenção. Apresenta ainda a inexistência de um espaço qualificado direcionado para a comunidade, que juntamente com ausência de serviços provoca uma ocupação do território maioritariamente privado.

Como resultado, este amplo terreno vazio que poderia suprir as carências locais, acaba por não ter o aproveitamento devido, servindo atualmente apenas para atravessamentos.

A natureza da sua superfície terrestre apresenta-se como uma planície aberta com vegetação rasteira, com uma presença residual de árvores de pequeno porte. Tendo apenas uma vegetação mais marcada junto à Ribeira de Sassoeiros com as galerias ripícolas, formadas por espécies arbóreas que compõem um corredor denso em torno do leito e protegem a manutenção da biodiversidade local.



5.6 Projeto

Atendendo aos princípios NZEB apresentados anteriormente, este projeto parte com pressupostos delineados no sentido de realizar uma análise das quatro unidades de medida e atender ao objetivo no período temporal de um ano.

Apesar de no contexto europeu se analisar apenas o uso energético não influenciado pela utilização humana, neste exemplo são consideradas as cargas do edifício de aquecimento, arrefecimento, ventilação, água quente sanitária, iluminação e cargas energéticas de eletrodomésticos.

A produção será realizada na área de implantação, através de painéis fotovoltaicos incorporados no edifício, e será integrado na rede, o que possibilita a inexistência de baterias e um balanço entre o período de excedentes e de carência.

No final serão analisadas as várias abordagens de equilíbrio energético, tendo sempre em atenção os requisitos necessários para a aquisição do título NZEB.

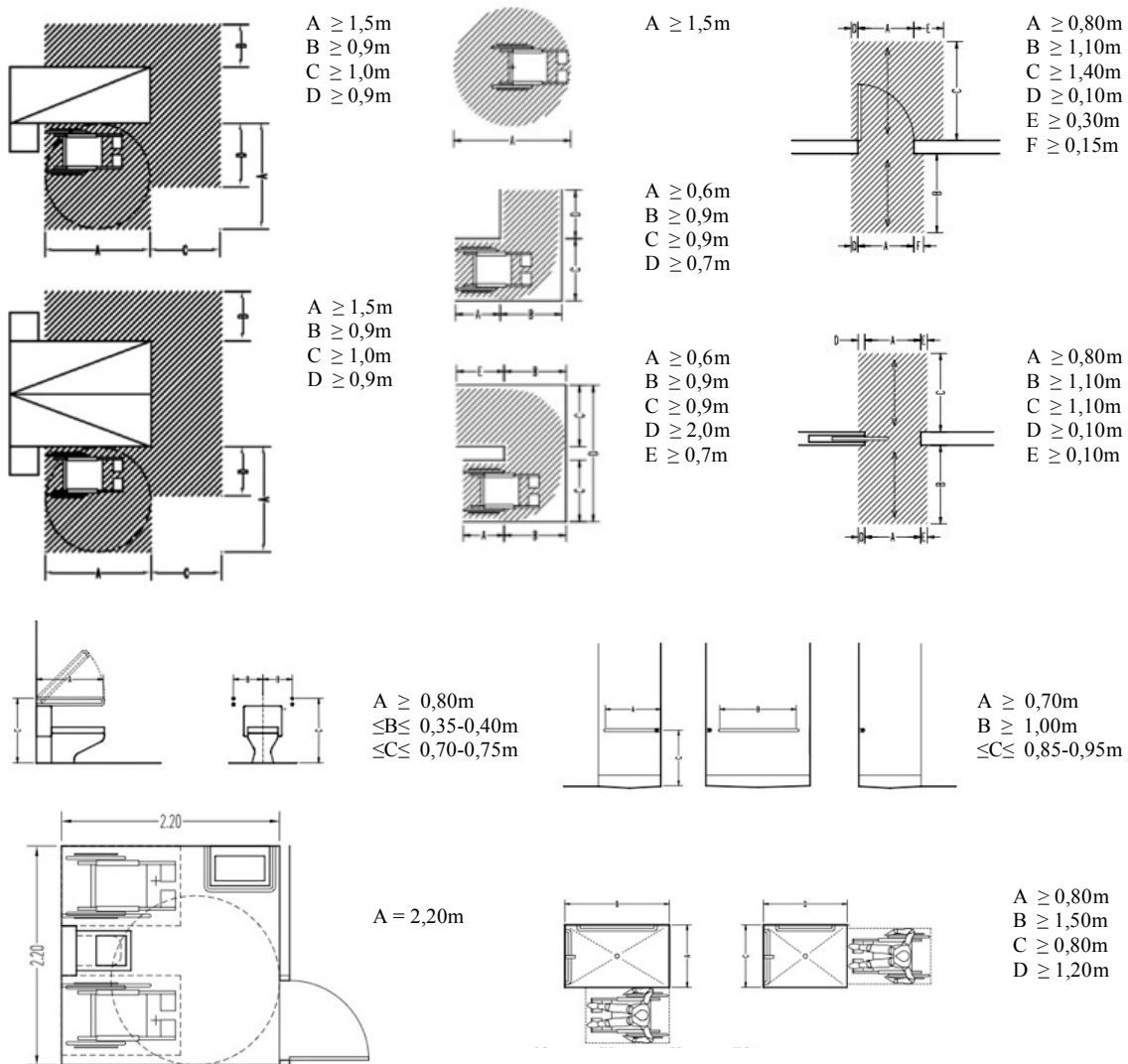


Figura 68 - Medidas de acessibilidade utilizadas no projeto (Fonte: Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social, 2006 e Segurança Social, 2011)

5.6.1 Programa

A população tem vindo ao longo dos últimos anos a tornar-se cada vez mais envelhecida, estando atualmente a Europa com 14% da população acima dos 65 anos, estimando-se ainda que este número duplique até 2050 (Save age, s.d.).

No sentido de responder às carências apresentadas por uma geração mais envelhecida que pretende manter uma vida social ativa, a integração da residência neste corredor verde iria não só proporcionar a possibilidade da independência aos residentes, bem como tornar o espaço público mais seguro devido à sua ocupação durante todo o período diário.

Respeitaria os requisitos de proximidade a um estabelecimento de saúde, tendo na sua área de vizinhança a Unidade de Saúde Familiar Emergir de São Domingos de Rana, e não estando muito distante do Centro Comunitário de Tires. Inserindo-se ainda numa zona de pouco ruído, com uma boa acessibilidade rodoviária que permite a aproximação de veículos.

As recomendações técnicas para lares de idosos sugerem que estes devem ter uma capacidade reduzida e os utentes devem ser distribuídos em grupos heterogéneos, não devendo ultrapassar os 3 pisos e trabalhando de forma autónoma, tendo uma área não construída em torno onde se possam desenvolver atividades e que consiga resguardar os residentes da via pública.

Assim sendo, no desenvolvimento do projeto tentou-se aplicar um modelo que fomentasse a autonomia e independência, promovendo uma grande interação com a comunidade existente no entorno do edifício, fomentando a relação interior/exterior e qualificando os espaços comuns que estimulam a integração no grupo.

Foi ainda de especial atenção assegurar um edifício acessível, tentando eliminar as barreiras físicas à mobilidade (Figura 68), utilizando o mínimo de diferenças altimétricas e conectando-as com ascensores.

Tendo em consideração a procura atual e futura, os quartos individuais representam mais de 50% das áreas de alojamento, existindo ainda um modelo de pequenos apartamentos partilhados, constituídos todos por camas e instalações sanitárias privadas acessíveis.



Figura 69 - Residential Home for Eldery do arquiteto Peter Zumthor de 1992-93 (Fonte: Šmidek, 2008)



Figura 70 - Nature-Infused Hospital na Dinamarca dos arquitetos Herzog & de Meuron de 2014- (Fonte: Wang, 2014)

5.6.2 Casos de estudo

A residência para idosos de Peter Zumthor foi desde o início a referência mais pertinente para este projeto. O edifício constituído por 21 apartamentos, um quarto de visitas, uma enfermaria e um corredor foi direcionado para idosos que ainda viviam sem cuidados especiais, mantendo a sua autonomia. Deste modo, o arquiteto tentou criar uma atmosfera rural inserida num ambiente suburbano que através das perceções sensoriais e visuais fariam com que os residentes se sentissem nas suas próprias casas. Manipulando uma ligação interior/exterior e privado/público na medida que em permitia uma apropriação dos espaços públicos comuns, ao mesmo tempo que possibilitava uma ocupação mais reservada. A construção marcada por materiais locais e uma forma simples com elementos espaçados em intervalos regulares tornam o edifício de fácil leitura e por isso familiar aos que habitam (Šmídek, 2008).

Por sua vez, o *Nature Infused Hospital* dos arquitetos Herzog & de Meuron tem especial interesse pelo modo como é realizada a organização espacial, em torno vários pátios conectados por caminhos integrados nos espaços verdes, permitindo rápidos acessos entre blocos. Um modelo diferente das habituais estruturas caracterizadas por edifícios de inúmeros pisos, integrando mais eficazmente as zonas rurais e urbanas. A sua implantação permite ainda que organicamente seja alcançada uma ampla paisagem (Wang, 2014).

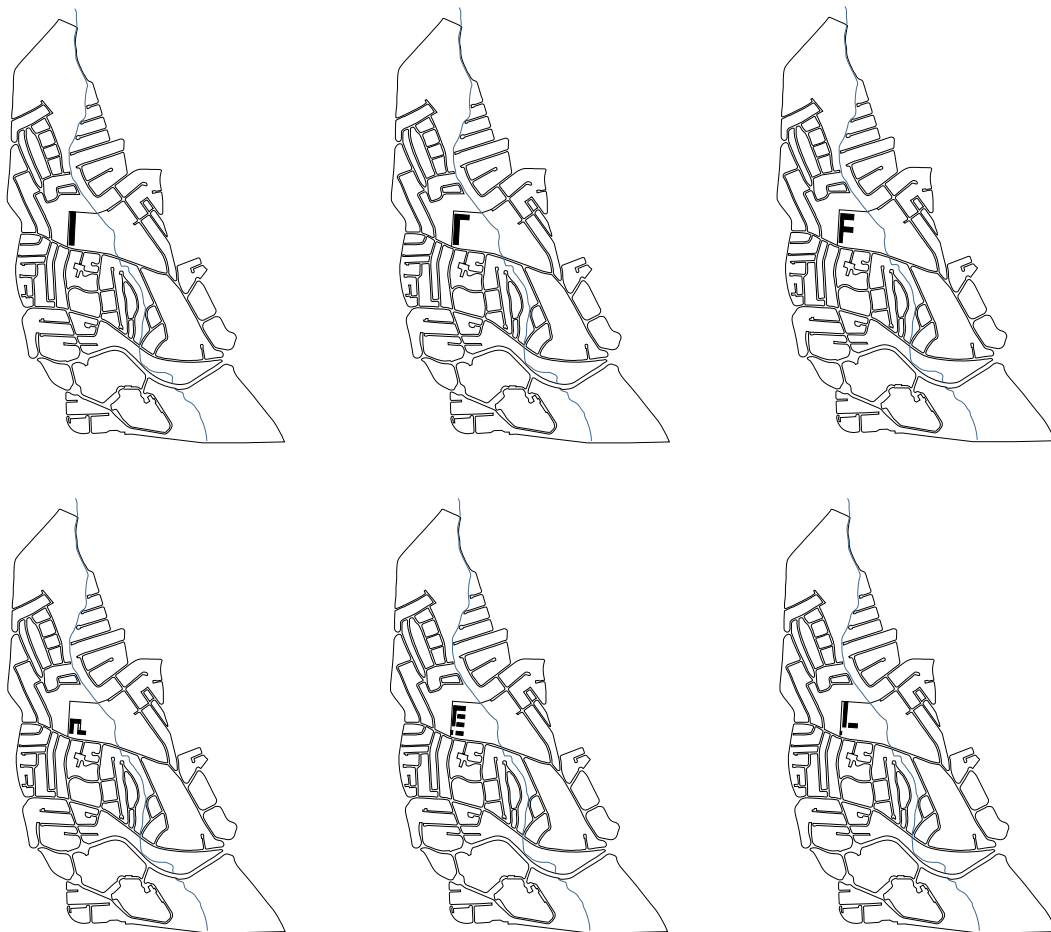


Figura 71 - Evolução das propostas

5.6.3 Forma e orientação

Numa abordagem inicial a forma do edificado surge como um bloco simples que se posiciona como um remate do espaço existente entre a ribeira e o limite do terreno. No entanto era uma vontade conseguir de algum modo delimitar um espaço semi-privado sem necessariamente ter que criar uma barreira física entre o projeto e o terreno. Deste modo, são estudadas várias formas com blocos perpendiculares que criavam espaços abertos mas mais resguardados.

Estas novas formas iriam de encontro às estratégias de resposta ao clima, aumentando as fachadas a norte e sul, o que possibilitava a diminuição de aberturas nas fachadas nascente e poente onde seria mais difícil controlar a incidência solar.

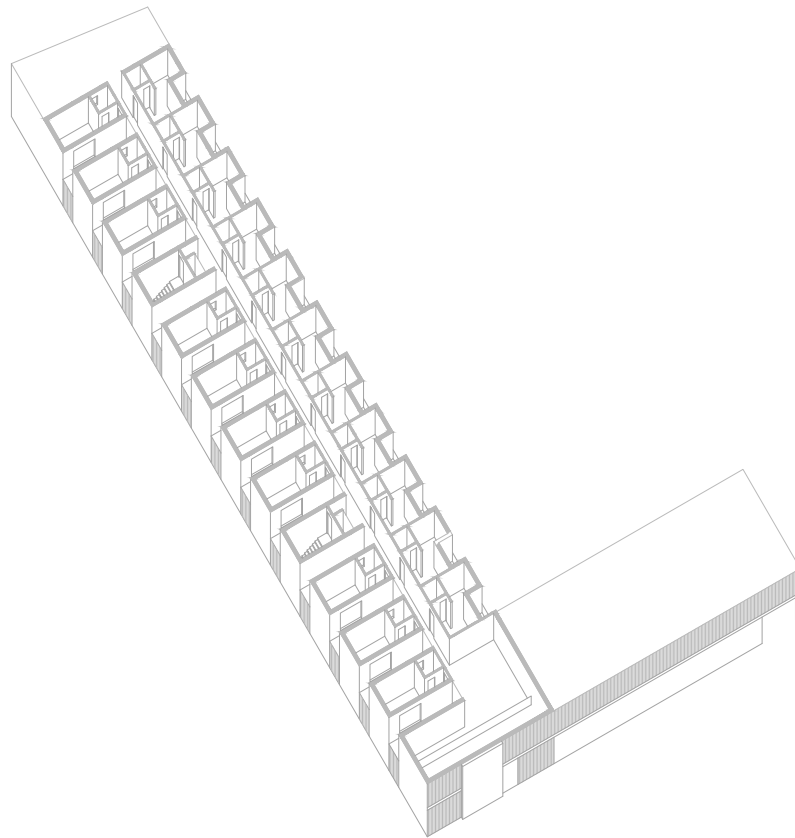


Figura 72 - Axonometria do primeiro esquema de interiores

Foi desenvolvido o interior para a última proposta separando os quartos por pequenos espaços que permitiam a abertura de janelas a sul e que através de elementos com intervalos regulares criavam um ambiente controlado e mais pessoal.

No entanto, existe uma clara diferença entre os quartos que se direcionam para o espaço verde e aqueles que têm visibilidade para as traseiras dos terrenos vizinhos. Deste modo, a proposta sofre um retrocesso instalando novamente os vários pátios permitindo visibilidade para o jardim que invade o projeto e para o corredor verde.



50m

5.6.4 Implantação

A presente implantação direcionou-se numa tentativa de manter a relação visual de todos os espaços de estar com a paisagem verde, desenvolvendo-se assim em torno de pequenos pátios que permitiram controlar zonas semiprivadas que manteriam uma estreita ligação ao corredor verde.

O corpo longitudinal possibilitava a ligação interior, criava um limite visual que anteriormente era realizado por um muro coberto por vegetação e permitia delimitar uma entrada de serviços mais reservada.

Desenvolve-se ainda um limite físico para o parque através de barrotes de madeira na vertical, que permitem uma conexão visual mas que permitiriam assegurar a segurança do lar. Assim, nos pontos de ligação aos caminhos do parque existiriam aberturas que seriam controladas ao longo do dia, mantendo a segurança mas nunca limitando a independência dos residentes.



5.6.5 Organização espacial

O lar organiza-se em quatro blocos segundo áreas funcionais, agrupando-se funções técnicas e possibilitando que as zonas habitáveis se tornem ao máximo semelhantes às habitações dos utentes.

No primeiro bloco localizam-se as áreas de direção, técnicas e administrativas, bem como o espaço de receção de familiares e outras pessoas da comunidade, possibilitando a integração da residência na unidade de vizinhança, enquanto resguarda as zonas habitacionais que passam para locais mais recolhidos.

O segundo bloco tem um carácter habitacional, tendo apenas quartos e uma sala mais reservada, sendo ainda o único local onde se apresentam quartos no piso inferior. Esta estratégia manifesta a intenção de possibilitar aos utentes mais debilitados a possibilidade de manter uma ligação física ao exterior, na medida em que até para pessoas acamadas poderiam ser deslocadas até ao jardim.

No terceiro bloco estão as áreas de convívio e de atividades ocupacionais que tem ligação a dois pátios, possibilitando que um destes apresente um carácter mais recatado de leitura, enquanto no outro se desenvolvam atividades exteriores protegidas dos ventos dominantes.

No quarto bloco agregam-se as áreas de serviços de cozinha e lavandaria, com uma entrada técnica, juntamente com a área de refeições. Os espaços de arrumações são concentrados neste bloco, existindo no entanto armários estrategicamente posicionados ao longo dos blocos.



5m

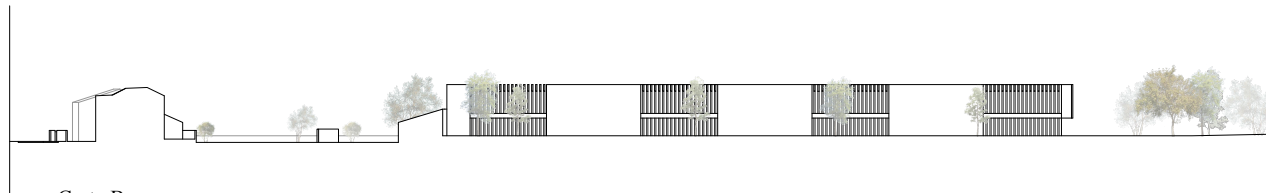
À exceção dos quartos duplos anteriormente referidos, os restantes espaços de descanso distribuem-se ao longo de três blocos no piso superior.

O quarto bloco é ainda diferenciado por se desenvolver em apartamentos duplos, criando espaços de estar reservados aos dois quartos. A importância desta tipologia apresenta-se fortemente ligada às mais atuais formas de vivência da terceira idade, funcionando apenas como residência assistida.

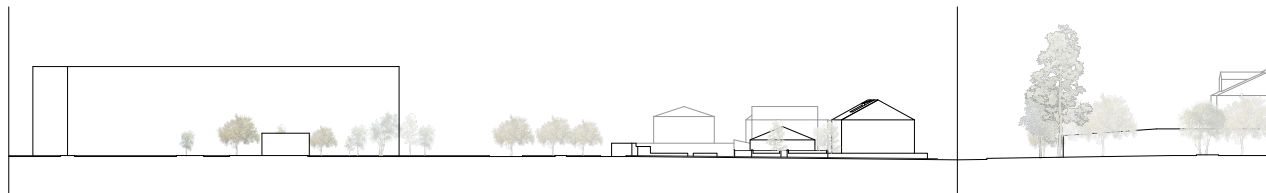
Os restantes blocos são fortemente marcados por unidades de convivência com um máximo de 10 quartos, desenvolvendo-se em torno de um corredor central com uma largura superior à necessária para passagem, possibilitando que estes espaços se tornem mais pessoais podendo ser apropriados pelos próprios residentes, abrindo ainda a possibilidade de acesso a uma pequena cozinha, vincada como local de interação e possibilidade de independência.



Corte A



Corte B



Corte C

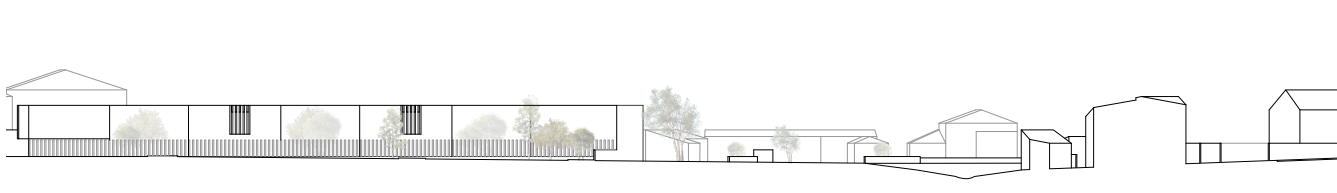
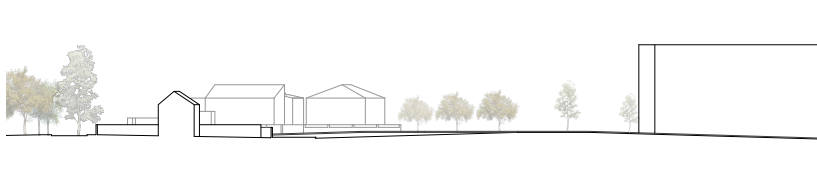
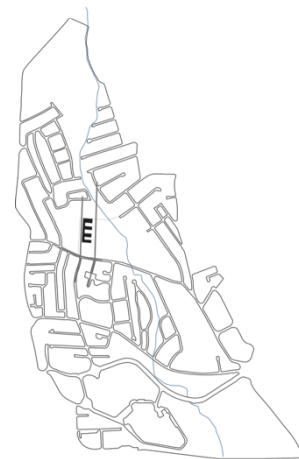


Figura 76 - Cortes do Projeto

c
b

a

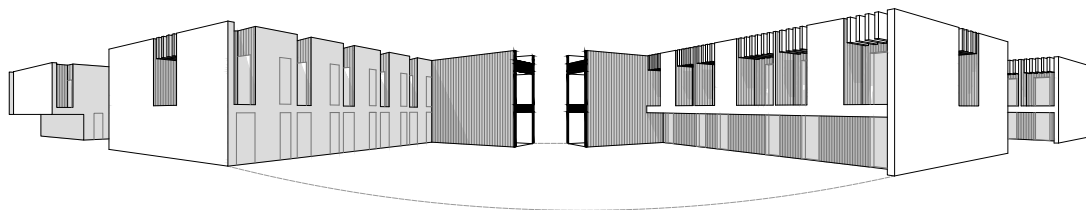


Figura 77 - Axonometria perspectivada em corte

5.7 Decisões Projectuais e Simulação Energética

Neste capítulo vão sendo abordadas as diversas decisões projectuais fundamentado a evolução do objeto arquitetónico com os diversos resultados obtidos.

Estas decisões foram em parte moldadas pela simulação energética realizada através da ferramenta ‘Avaliação Energética’ do software BIM (Building Information Modeling) Archicad 22 with EcoDesigner.

Nas definições ambientais foi colocada a localização do projeto com as coordenadas do terreno e atribuído o ficheiro de ‘Dados Climáticos’ em formato Energy Plus Weather, com a seleção do município de Cascais e altitude de 87 metros, retirado do documento de Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica versão 1.05 disponível pelo software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios do LNEG.

Procedeu-se à listagem dos materiais utilizados e respetivas composições com as propriedades físicas referidas anteriormente, possibilitando a criação do modelo com todos os atributos estruturais e respetivos vãos.

Realizou-se um organização espacial de zonas e blocos, atribuindo a cada espaço um perfil de operação e sistema.

Os resultados foram comparados com a simulação de produção energética realizada por painéis fotovoltaicos utilizando como software o programa SolTerm.

Cobertura

Membrana Betuminosa Autoadesiva com ardósia	2,8mm
Membrana Betuminosa Autoadesiva	3mm
Membrana Altamente Transpirante	0,7mm
Isolamento de Cortiça	360mm
Membrana Pára-Vapor	5mm
CLT 5 Camadas	200mm
Caixa de Ar / Brocas	288mm
Feltro Acústico	5mm
Isolamento em Cortiça	35mm
Feltro Acústico	5mm
Placa de Contraplacado	12mm

Laje do Piso Intermédio

Pavimento de Linóleo	2mm
OSB	19mm
Isolamento em Cortiça	30mm
Batentes / Instalações / Isolamento	104mm
Faixa de Isolamento Acústico	4mm
CLT 5 Camadas	200mm
Caixa de Ar / Brocas	283mm
Feltro Acústico	5mm
Isolamento em Cortiça	35mm
Feltro Acústico	5mm
Placa de Contraplacado	12mm

Varanda

Pavimento em Deck	40mm
Batentes	120mm
Isolamento em XPS	60mm
Membrana Betuminosa	3mm
CLT 5 Camadas	200mm
Membrana Betuminosa	3mm
Isolamento em XPS	57mm
Reguado Madeira	10mm

Parede Exterior

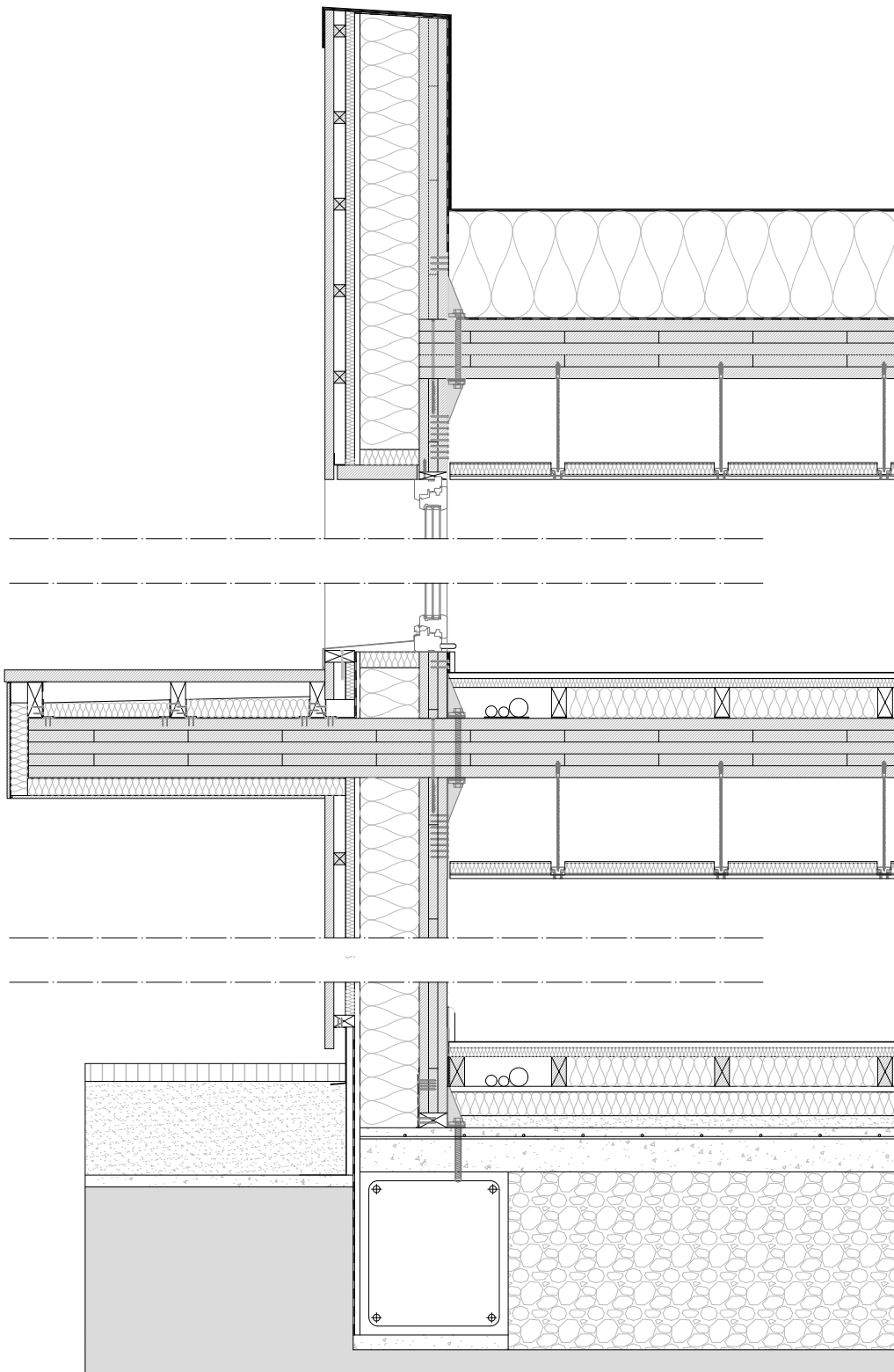
Reguado de Madeira	30mm
Caixa de Ar / Batentes	39,5mm
Membrana Altamente Respirável - Tyvek	0,5mm
Isolamento em Cortiça	30mm
OSB	18mm
Isolamento em Cortiça	200mm
CLT 3 Camadas	94mm

Ligação Parede Exterior e Laje Térrea

Chapa Metálica	2mm
Impermeabilizante betuminoso	0,5mm
Isolamento em XPS	23mm
Membrana Pára-Vapor	5mm
OSB	18mm
Isolamento em Cortiça	195,5mm
Membrana Betuminosa Autoadesiva	1,5mm
Chapa de Ligação	3mm
CLT 3 Camadas	94mm
Cantoneira para forças de tração	3mm
Faixa de Isolamento para Corte Acústico	3mm
Rodapé	20mm

Laje do Terreno

Pavimento Linóleo	2mm
OSB	19mm
Isolamento em Cortiça/Batentes	100mm
OSB	19mm
Isolamento em Cortiça	80mm
Betonilha de Regularização	40mm
Laje	15mm
Enrocamento	600mm
Betão de Limpeza	50mm



5.7.1 Sistema construtivo

O sistema construtivo de um edifício deve ter em consideração que as vedações externas, como paredes, coberturas e pisos, são dos elementos mais importantes para manter o conforto térmico. Sendo estes elementos grandes responsáveis pelas perdas e ganhos de calor, é necessário que tenhamos preocupações com o isolamento dos mesmos, criando uma barreira a estes fluxos, envolvendo todos os lados e evitando as pontes térmicas.

Paralelamente devemos ter em consideração que todos os materiais tem resistências térmicas e capacidade de calor específico diferentes e devem trabalhar em conjunto. Assim sendo, é possível optar por soluções leves ou pesadas, considerando que com a mesma resistência (valor U) uma solução mais pesada irá apresentar uma massa termoacumuladora (inércia) mais elevada (Heywood, 2017).

Neste sistema construtivo foi utilizada uma solução leve com fachada ventilada, estrutura em madeira e isolamento pelo exterior, apresentando uma baixa massa que significaria menos peso e por isso menores custos ecológicos. A baixa inércia com uma alta resistência térmica possibilitava ainda um rápido aquecimento dos espaços, que apesar de não possuírem capacidade de retenção de energia apresentavam um grande atraso nas perdas energéticas. Consideramos no entanto que apesar da falta de inércia que se apresenta como um fator muito importante no clima português, podem ser colocados materiais no interior com uma massa termoacumuladora mais elevadas, tendo no entanto o ponto essencial nesse parâmetro manter uma baixa energia incorporada.

Por outro lado, a utilização de materiais como madeira iriam criar um ambiente mais acolhedor que remeteria para uma vivência mais doméstica e interligada à natureza, colocando por isso o CLT à vista no interior do edifício e utilizando régua de madeira nas zonas de varandas. Complementarmente recorre-se à utilização de um teto falso, possibilitando dissimular todas as instalações técnicas ligada ao bom funcionamento da residência.

	Área [m ²]	U [W/m ² .°C]	Inercia [J/m ² .°C]x10 ³	EE [MJ/m ²]	EC [kgCO _{2e} /m ²]	EE [MJ]	EC [kgCO _{2e}]
Paredes exteriores	3390	0,16	92	993	35	3.366.270	118.650
Paredes Interiores	3265	0,42	67	959	34	3.131.135	111.010
Laje do Terreno	1425	0,21	196	2163	131	3.082.275	186.675
Laje Intermédia	1425	0,18	132	1611	59	2.295.675	84.075
Cobertura	1425	0,09	177	2503	88	3.566.775	125.400
Janelas	433	1,80-2,92			100		43.300
Painéis Fotovoltaicos	1293			3679	178	4.756.947	230.154
						20.199.077	899.264

Tabela 10 -Área total de superfícies, condutibilidade térmica, resistência térmica, energia incorporada e carbono incorporado

5.7.2 Valores de referência

Os valores de referência foram calculados segundo dados presentes em Gonzalez (2004), Hammond & Jones (2011) e Santos & Rodrigues (s.d.) referentes a densidade [kg/m^3], condutibilidade térmica [$\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$], resistência térmica [$\text{m}^2/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$], calor específico [$\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$] $\times 10^3$, energia incorporada [MJ/kg] e carbono incorporado [$\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$].

Para além do valor de U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$] que representa a transmitância térmica e da inércia [$\text{J}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$] $\times 10^3$, foi possível obter a energia e carbono incorporado por cada metro quadrado de superfície, o que possibilitou o cálculo de um valor aproximado de energia e carbono incorporado nas paredes, janelas, lajes e cobertura do edifício.

Os valores de U devem ser comparados com a legislação portuguesa, que apresenta o valor máximo a considerar para os vários climas do país (Tabela 3). Assim, segundo a análise climática onde foi possível concluir que São Domingos de Rana se encontrava na zona II podemos perceber que, à exceção das janelas, todas as superfícies apresentam valores bastante inferiores aos limites impostos, o que potencializa um excelente desempenho do edifício.

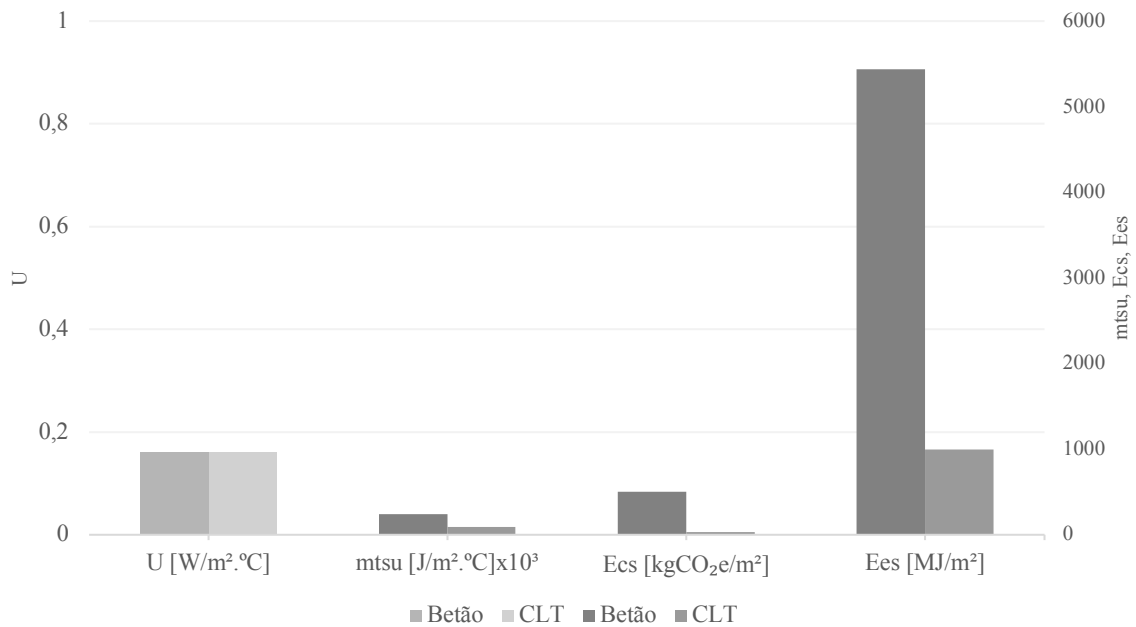


Figura 79 - Comparação de inércia, energia incorporada e carbono equivalente incorporado para solução construtiva de parede com a mesma resistência térmica integrando CLT (0,412m) ou betão (1,218m)

5.7.3 Estrutura

Evitando as habituais estruturas de betão armado, que utiliza cimento- responsável por 8% das emissões de CO₂ (Cardoso, 2019), e tal como a alvenaria não são reutilizáveis, recicláveis ou biodegradáveis, procurou-se utilizar uma solução ecologicamente mais viável. Assim, a estrutura aplicada neste projeto baseia-se num método construtivo de suporte de carga sólido utilizado em paredes, lajes e coberturas à base de madeira lamelada cruzada, também designada como madeira laminada cruzada, CLT ou XLam.

Este elemento consiste num material compósito à base de madeira e cola que através de um processo de agregação de tábuas de madeira coladas segundo um sistema de fibras perpendiculares conseguem um painel sólido com melhores características mecânicas e de deformação (Contemporary Building Design, s.d.). Baseia-se ainda num processo de pré-fabricação que pressupõe pouco desperdício, um alto padrão de estanquidade, eficiência e velocidade, na medida em que as peças são cortadas por CNC e montadas no local. Apresenta alguma inflexibilidade na medida em que tanto na obra como no futuro, pelo fato das aberturas serem realizadas em fábrica se torna muito dispendiosa qualquer alteração.

Provém de uma fonte renovável, tem uma baixa energia incorporada e é responsável pelo armazenamento de dióxido de carbono na fase de crescimento (Greenspec, s.d.) não sendo ainda preocupante no que diz respeito ao corte de madeiras, na medida em que as empresas adotaram como política a plantação de três árvores por cada uma que é cortada (Cardoso, 2019).

Consegue substituir as estruturas de betão, aço e alvenaria, requerendo apenas isolamento e revestimento, reduzindo a existência de pontes térmicas . Devido à sua estrutura leve possibilita a redução das fundações de betão, o que permite reduzir a energia e carbono incorporados na obras. Caso fosse utilizado o betão no lugar do CLT para atingir a mesma resistência térmica a espessura triplicaria, enquanto a energia e o carbono incorporados seriam duas e setes vezes maiores (Figura 79).

Por fim, segundo informações obtidas na Sessão Técnica Construir com CLT a 28 de Maio no Instituto Superior Técnico, num edifício com dois pisos os vãos podem variar entre os 6 e os 8 metros sem qualquer problema estrutural e apesar do maior investimento inicial, a redução de mão de obra e tempo iria equilibrar os custos totais.

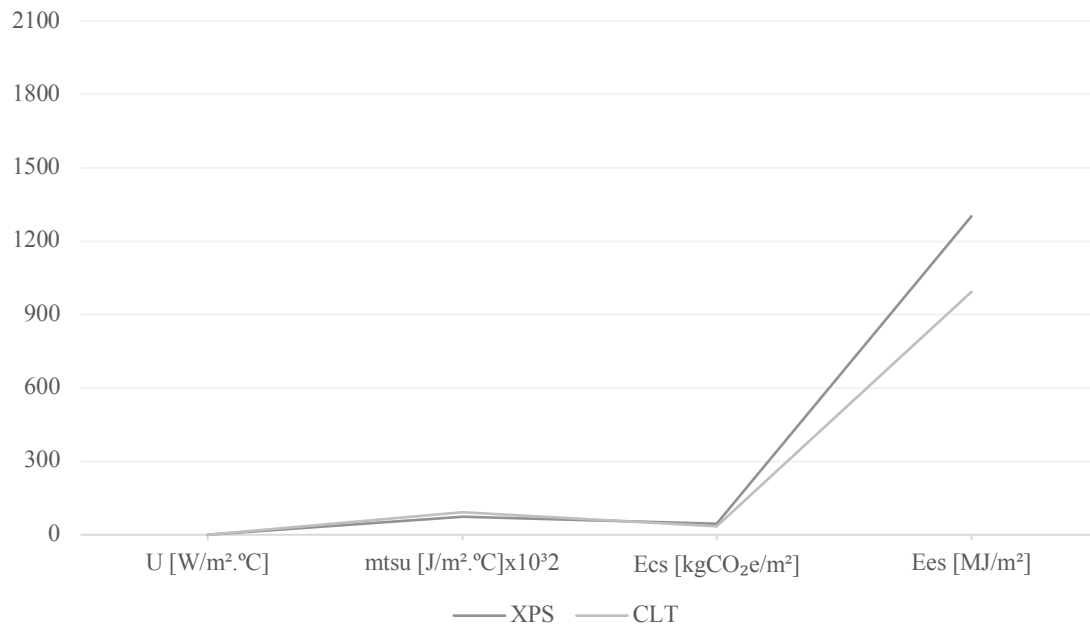


Figura 80 - Comparação de inércia, energia incorporada e carbono equivalente incorporado para solução construtiva de parede com a mesma resistência térmica integrando ICB (0,23m) ou XPS (0,19m)

5.7.4 Isolamento Térmico

A floresta portuguesa de sobreiros é responsável por dissipar cerca de 5 milhões de toneladas de CO₂ por ano, ao mesmo tempo que evita a desertificação dos solos e salvaguarda a manutenção da biodiversidade local. Desta forma, o isolamento escolhido trata-se de um aglomerado de cortiça expandida, também denominado ICB, que utiliza como matéria prima renovável a cortiça sem aditivos, é processada com cerca de 90% de energia proveniente de biomassa e possibilita a reutilização dos desperdícios.

Este isolamento pode ser aplicado em paredes, lajes e coberturas e promove um atraso térmico isolando acusticamente e antivibraticamente em simultâneo. Apresenta uma durabilidade ilimitada e suporta grandes variações térmicas, ao mesmo tempo que manifesta uma baixa energia incorporada e carbono incorporado negativo, possibilitando ainda uma reciclagem para nova aplicação em edifícios (Amorim Isolamentos, s.d.).

Numa solução construtiva que substituísse a cortiça expandida pelo poliestireno extrudido poderia reduzir-se o isolamento em 4 cm, no entanto por cada metro quadrado de parede iria haver mais 11 kgCO₂ e uma diferença de energia incorporada a rondar os 300 MJ/m². Assim, a diferença entre estes dois materiais não se apresenta significativa no que diz respeito à performance isolante, mas apresentam pegadas ecológicas díspares.

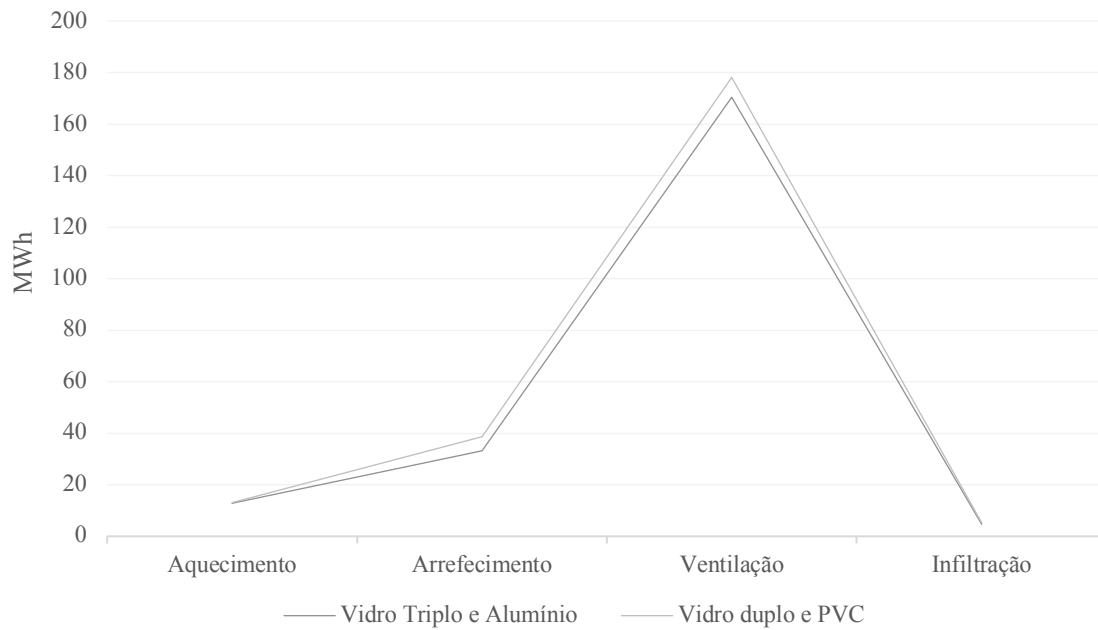


Figura 81 - Comparação de soluções construtivas de janelas

5.7.5 Vãos

Os envidraçados e as caixilharias são zonas sensíveis para a transmissão de calor, na medida em que estes materiais apresentam uma condutibilidade térmica superior. Assim, foi dada especial atenção a diversas composições na tentativa de diminuir as perdas e ganhos de calor indesejados.

Deste modo, foi realizada uma comparação entre vãos com diferentes valores de U, um envidraçado triplo com $2 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ com caixilharia de alumínio com $1,86 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ e um envidraçado duplo de $2,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ com caixilharia de PVC de $1,83 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$. Anualmente a segunda alternativa representaria mais 0,29 MWh de aquecimento, 5,51 MWh em arrefecimento, 7,71 MWh em ventilação e 0,61 MWh em infiltração, o que conclui um gasto adicional anualmente de 14,12 MWh. Assim, foi considerada a utilização da primeira alternativa que traria vantagens em todas as dimensões simuladas.

No que compete às emissões de carbono o PVC e o alumínio apresentavam uma diferença de $24 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$ (Jones & Fulford, 2013), tendo-se optado no entanto pelo que apresentava o valor mais elevado devido às suas capacidades sonoras e de diminuição da condensação interior.

Foi ainda realizada uma simulação com a diminuição dos vãos de maior dimensão de quartos e salas de convívio de 1,40 para 1,20 metros, reduzindo a média de U do invólucro do edifício de 0,39 para $0,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$, não existindo uma alteração significativa na necessidade de aquecimento mas apresentando uma diminuição considerável no arrefecimento.

No entanto, apesar da diminuição dos vãos referidos representar uma diferença de 0,9 MWh/a em sistemas de climatização, os vãos foram mantidos nas dimensões iniciais que possibilitariam aos residentes uma melhor vivência dos espaço interior e possibilitaria uma maior ligação ao exterior, essencialmente aos que apresentassem problemas de locomoção.

A dimensão dos vãos permite ainda uma boa iluminação natural o que potencialmente iria diminuir os gastos de eletricidade, devendo ainda considerar-se que a presente simulação não considera a proteção apresentada pelas venezianas de madeira que bem utilizadas poderiam representar reduções significativas nas necessidades de climatização.

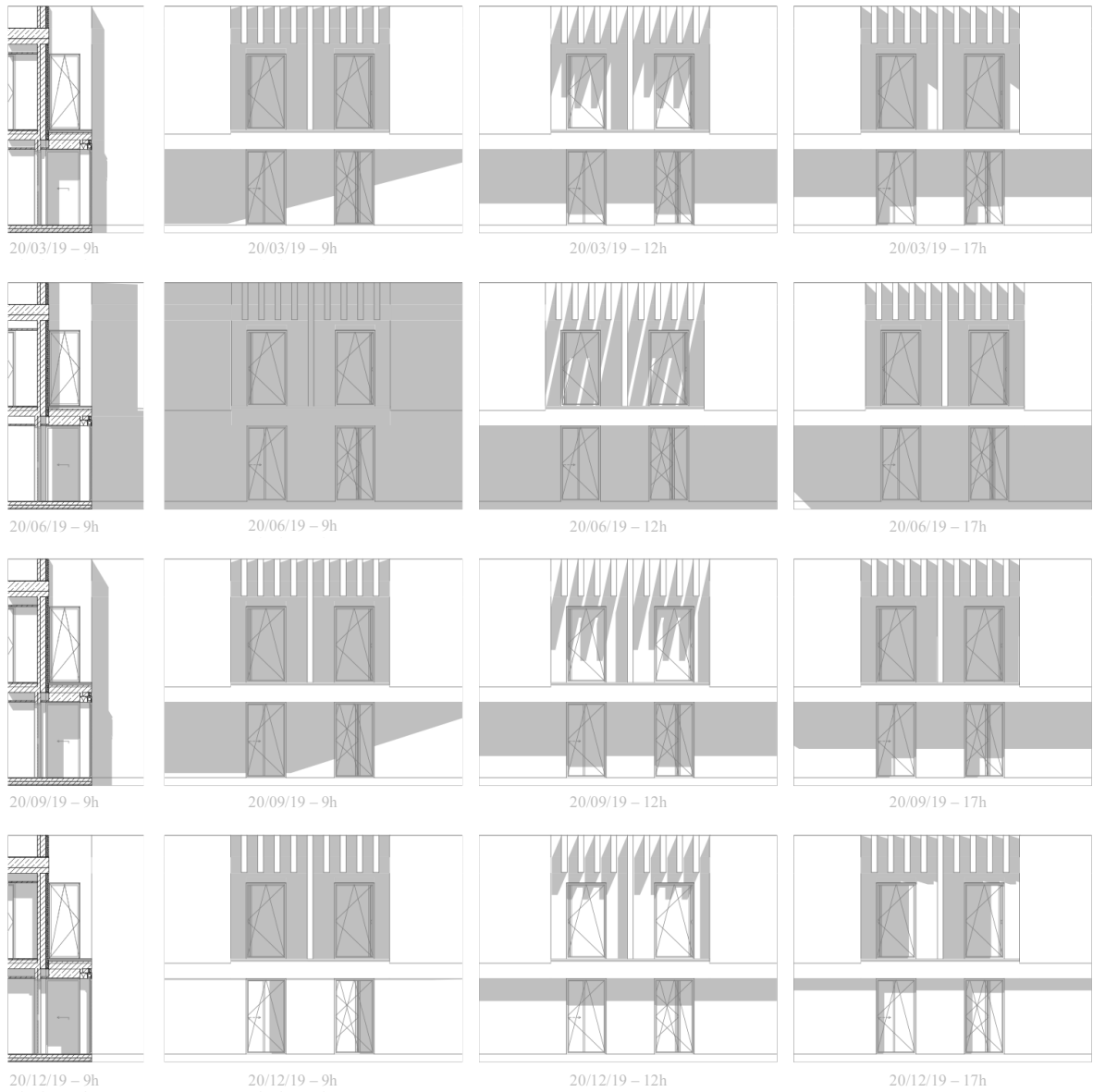


Figura 82 - Diagramas de sombreamentos em janelas

5.7.6 Sombreamento e iluminação natural

Devido aos vários problemas associados à má utilização dos sistemas de sombreamento pelos utilizadores, para além dos sistemas passíveis de serem operados pelos residentes, como as venezianas anteriormente referidas, foi implementado um sistema físico imóvel desenhado pelas varandas e palas semelhantes a pérgulas que as protegem.

Como é possível verificar na primeira coluna, os quartos com aberturas a nascente na fachada norte conseguem insolação direta pela manhã, sofrendo alterações apenas no tempo que ficam expostos, mas nunca alargando esse período para depois das 13 horas. Deste modo, as pequenas aberturas na fachada permitem que todos os quartos possuam iluminação natural.

Os restantes esquemas demonstram a exposição solar das janelas dos quartos, no primeiro piso, e da sala de estar, no piso térreo, orientados a sul, comprovando que os períodos mais expostos correspondem aos que apresentam uma maior necessidade de aquecimento, conseguindo um sombreamento quase total na estação de arrefecimento.

	Periodicidade	Horários [h]	Temperatura mínima-máxima	Ocupação [m2 per capita]
Espaço de passagem ou circulação				
Circulação	Diário	0-24	-	-
Áreas administrativas, de saúde e de pessoal de apoio				
Entrada	Diário	0-24	18-27	44,35
Escritórios	Dias úteis	8-18	18-27	14,07
		18-8	-	-
Gabinete Médico	Dias não úteis	0-24	-	-
	Dias úteis	8-18	18-27	13,10
		18-8	-	-
Enfermaria	Dias não úteis	0-24	-	-
	Diário	0-24	18-27	12,48
Espaços de Refeições, confeitaria e armazenagem				
Café	Diário	8-18	18-27	6,27
		18-8	-	-
Cantina	Diário	8-10/12-14/19-21	18-27	3,50
		7-8/10-12/14-15/18-19/21-22	18-27	45
		22-7/15-18	-	-
Cozinha (confeitaria)	Diário	7-22	-	14,77
		22-7	-	-
Cozinha dos pacientes	Diário	11-14/18-21	18-27	16,41
		21-11/14-18	-	-
Espaços Técnicos				
Lavandaria	Dias Úteis	9-17 17-9	- -	20,88 -
Espaços de descanso				
Sala de Estar	Diário	8-18 18-8	18-27 -	13,02 -
Sala dos quartos	Diário	8-9/20-22	18-27	29,52
		9-20	18-27	-
		22-8	-	-
Quartos Individuais	Diário	7-20	18-27	77,96
		20-7	18-27	11,14
Quartos Duplos	Diário	7-20	18-27	34,40
		20-7	18-27	8,60
Instalações Sanitárias e cuidados de higiene				
Banho Geriátrico	Diário	8-11/17-20	18-27	6
		20-8/11-17	-	-
Instalações Sanitárias	Diário	8-22	-	200
		22-8	-	-
Espaço de estética	Dias Úteis	9-12/14-18	18-27	10
		18-9/12-14	-	-
		Dias não úteis	0-24	-

Tabela 11 – Perfis de utilização dos espaços e respetivas temperaturas de conforto

5.7.7 Perfis de Ocupação do Espaço

As residências para idosos não apresentam nenhum documento representativo dos seus perfis de ocupação, não existindo sequer no já revogado Decreto-Lei n.º 79/2006 qualquer base disponível na medida em que os Estabelecimentos de Saúde com Internamento apresentavam, entre outras diferenças, a sua taxa de ocupação noturna reduzida a 50%.

Deste modo, foi feita uma estimativa dos horários de utilização tendo como base os espaços disponíveis na residência que foram desenvolvidos segundo padrões das Recomendações Técnicas para Equipamentos Sociais.

Este documento disponibiliza ainda critérios de conforto higrotérmico que recomendam a variação de temperatura anual entre 18 e 27°C, no entanto caso o edifício tenha um sistema centralizado, potências de climatização acima de 25 kW ou uma área superior a 1000m², devem ser considerados parâmetros de eficiência energética que consideram que 20 horas por ano as temperaturas podem estar abaixo dos 16°C e acima dos 29°C. Não tendo sido utilizado um modelo de conforto adaptativo que permitiria um menor consumo energético devido a se referir a um edifício destinado a uma população vulnerável, optando por usar os valores de referência. Além de que os sistemas de climatização mecânica devem ser minimizados e devem ser privilegiadas soluções passivas, limitando a climatização aos espaços de ocupação prolongada.

Deste modo, foi retirada a climatização dos espaços técnicos, de circulação e das instalações sanitárias, assim como seria desligada nos espaços que não apresentassem ocupação, como por exemplo escritórios da direção no período noturno e em dias não úteis.

Foi colocada uma ocupação de 200 m² por pessoa nas instalações sanitárias visto que segundo padrões dos perfis de ocupação do Archicad neste espaço não deve ser contabilizada a ocupação, mas era necessária a colocação dessa taxa para posterior cálculo da água quente sanitária por pessoa. Colocando posteriormente o valor total de água quente dos residentes, 828 litros, como a quantidade de água quente utilizada por essa pessoa.

	Ganho de Calor Interno [W/per capita]	Carga de Serviço de água quente [l/dia per capita]	Carga de humidade [g/dia, m²]
Espaço de passagem ou circulação			
Circulação	120*	0*	0*
Áreas administrativas, de saúde e de pessoal de apoio			
Entrada	120	0	10
Escritórios	120*	0	10*
Gabinete Médico	120	10	10
Enfermaria	100*	43	100*
Espaços de Refeições, confeitaria e armazenagem			
Café	120	10	100
Cantina	120*	0	100*
Cozinha (confeitaria)	130*	70*	100*
Cozinha dos pacientes	120	20	100
Despensa	140*	0	10*
Espaços Técnicos			
Arrumações	140*	0	10*
Lavandaria	130	50	100
Espaços de descanso			
Sala de Estar	120*	0	10*
Sala dos quartos	120*	20	100
Quarto	100*	0	10*
Instalações Sanitárias e cuidados de higiene			
Banho Geriátrico	120*	43	100
Instalações Sanitárias Comuns	120*	43 [828]	100*
Espaço de estética	130	20	100

Figura 83 - Perfis de ganhos de calor interno, carga de serviço de água quente e carga de humidade

Assim, foi considerada uma média de água quente sanitária por pessoa de 43 l/dia (Tumanova & Borodinecs, 2018), abrangendo apenas o número de residentes, considerando que na estimativa apresentada neste estudo eram considerada não só a água das instalações sanitárias mas também de cozinhas, que neste caso são consideradas em valores separados.

Os valores de ganho de calor interno, carga de serviço de água quente e carga de humidade apresentadas com asterisco tiveram como fonte os perfis do Archicad baseados nas norma *DIN 18599 Standard - Energy Efficiency of Buildings*, tendo os restantes sido colocados segundo essa base.

	Iluminância [lux]	Perfil de utilização [horas por dia]	Iluminação LED [W.m²]	Iluminação Halógeno [W.m²]
Espaço de passagem ou circulação				
Circulação dia	200	14	2,61	16,27
noite	50	10	0,65	4,07
Áreas administrativas, de saúde e de pessoal de apoio				
Entrada	300	24	3,91	24,42
Escritórios	500	10 [dias úteis]	6,52	40,70
Gabinete Médico	500	10 [dias úteis]	6,52	40,70
Enfermaria	500	15	6,52	40,70
Espaços de Refeições, confeitaria e armazenagem				
Café	200	10	2,61	16,27
Cantina	200	12	2,61	16,27
Cozinha (confeitaria)	500	15	6,52	40,70
Cozinha dos pacientes	500	6	6,52	40,70
Despensa	100	2	1,30	8,14
Espaços Técnicos				
Arrumações	100	2	1,30	8,14
Lavandaria	500	8	6,52	40,70
Espaços de descanso				
Sala de Estar	100	10	1,30	8,14
Sala dos quartos	100	3	1,30	8,14
Quartos	150	3	1,96	12,21
Instalações Sanitárias e cuidados de higiene				
Banho Geriátrico	200	3	2,61	16,27
Instalações Sanitárias	200	3	2,61	16,27
Espaço de estética	200	7	2,61	16,27

Tabela 12 – Perfis de iluminação artificial, horas de utilização e densidade

5.7.8 Iluminação Artificial

O conforto visual deve ser proporcionado tanto por condições de iluminação natural adequadas, como por dispositivos de iluminação elétrica apropriados em quantidade e qualidade às necessidades visuais de cada espaço.

A quantificação depende da iluminância a ser mantida e foi calculada segundo os valores apresentados na tabela respeitantes a este tipo de estabelecimentos (Segurança Social, 2011).

Assim, potência necessária por espaço foi calculada segundo a fórmula (Hemsath & Bandhosseini, 2018):

$$Potência_{(W)} = \frac{E_v(lux) \times A(m^2)}{\eta (lm/w)}$$

Onde, a potência é o resultado da multiplicação da iluminância, em lux, pela área, em m², a dividir pela eficácia luminosa (lumens por watt).

Considerando ainda que a densidade da iluminação deve ser calculada segundo:

$$Densidade\ de\ iluminação_{(W/m^2)} = \frac{Potência\ da\ iluminação_{(W)}}{Área_{(m^2)}}$$

A título representativo foi utilizado na simulação um foco de luz LED com eficiência A++, uma potência de 3 W e um fluxo luminoso nominal de 230 lm (Philips, s.d.), posteriormente comparado com um foco de halogéneo da mesma marca com eficiência B, uma potência de 35 W e um fluxo luminoso nominal de 430 lm (Philips, s.d.).

Segundo estes dados e os perfis de utilização presentes na Tabela 12, obteve-se um total anual de 27.699 kWh/a em iluminação LED, que quando comparados com os mesmos perfis de utilização recorrendo a focos de halogéneo aumenta 6,5 vezes, para os 180.055 kWh/a. Sendo ainda possível observar alterações nas necessidades de climatização, na medida em que a utilização de focos de halogéneo iria diminuir o aquecimento e aumentar o arrefecimento. Após uma breve análise dos valores foi possível perceber que a opção LED permite uma poupança de aproximadamente 185 MWh/a, correspondendo 152,3 MWh/a a iluminação e 32,6 MWh/a climatização.

	Equipamentos	Potências [W]	Tempo de Funcionamento
Espaço de passagem ou circulação			
Circulação	Elevadores (4)		
Áreas administrativas, de saúde e de pessoal de apoio			
Entrada	Computador	60	24 h
	Televisão	29	24 h
Escritórios	Computador	60	10 h (dias úteis)
	Impressora	13	1 h (dias úteis)
Gabinete Médico	Computador	60	10 h (dias úteis)
	Impressora	13	1 h (dias úteis)
Enfermaria	Indefinido	50	24 h
Espaços de Refeições, confeitaria e armazenagem			
Café	Máquina Café	3700	10 h
	Arca frigorífica	169	24 h
Cantina	-	-	-
Cozinha (confeitaria)	Forno industrial	19200	2 h
	Máquina da Loiça	3400	2 h
	Placa (4)	12000	2 h
	Arca frigorífica e congeladora	231+185	24 h
	Robot de cozinha	1300	1 h
	Fritadeiras	12000	1 h
Cozinha dos pacientes	Máquina café de cápsulas	1260	20 min.
	Micro-ondas	800	10 min.
	Forno	2900	2 h
	Placa	6900	1 h
	Torradeira	850	10 min.
Espaços Técnicos			
Lavandaria	Máquina Lavar	12750	10 h por semana
	Máquina Secar	18550	10 h por semana
	Ferro industrial	6650	25 h por semana
	Máquina de costura	90	2 h por semana
	Calandra	5400	2 h por semana
Espaços de descanso			
Sala de Estar	Televisões (6)	29	10 h
	Computadores (3)	60	10 h
Sala dos quartos	Torradeira	850	5 min.
	Micro-ondas	800	10 min.
	Máquina do café	1260	5 min.
Quarto individual	Televisão	29	2 h.
	Telemóvel	10	2 h.
Quarto duplo	Televisão	29	2 h.
	Telemóvel (2)	10	2 h.
Instalações Sanitárias e cuidados de higiene			
Instalações Sanitárias	Secador do cabelo	1400	5 min.
Espaço de estética	Secador do cabelo	1400	2 h. (dias úteis)

Figura 84 – Perfis de utilização de equipamentos, potências e tempos de utilização

5.7.9 Equipamentos

Foi realizada uma estimativa de equipamentos e tempo de funcionamento para cada espaço da residência, tentando ao máximo reproduzir os padrões reais ou sobrestimando.

A energia diária foi calculada segundo a fórmula:

$$E_{Wh/dia} = P_{(W)} \times t_{(h/dia)}$$

para os vários aparelhos, seguindo-se posteriormente o cálculo da densidade horária de modo a não provocar situações de sobreaquecimento irrealistas, isto é, considerando que cada quarto tem 2 horas de utilização de televisão diárias, essa energia é distribuída por um período de 8 horas pois nem todos os residentes irão realizar essa utilização no mesmo período.

$$Densidade\ de\ potência_{(W)} = \frac{Energia\ total\ diária_{(Wh/dia)}}{Tempo\ de\ possível\ utilização_{(h)}}$$

Sendo por fim possível calcular a densidade por unidade de espaço, considerando:

$$Densidade\ de\ equipamentos_{(W/m^2)} = \frac{Densidade\ de\ potência_{(W)}}{Área_{(m^2)}}$$

Foi ainda considerada como política da residência não ter aparelhos em stand-by de modo a atingir um edifício mais sustentável.

	Caudal de Ventilação			Renovações por hora	Total (ocupação) [m ³ /h]	Total (sem ocupação) [RPH]
	[m ³ /h.ocupante]	[m ³ /h.m ²]	[m ³ /h]			
Espaço de passagem ou circulação						
Circulação		5			4000	0,5
Áreas administrativas, de saúde e de pessoal de apoio						
Entrada	35			1	35	-
Escritórios	35			1	35	0,5
Gabinete Médico	35			1	35	0,5
Enfermaria	35			1	70	0,5
Espaços de Refeições, confeitaria e armazenagem						
Cafê	35			1	350	0,5
Cantina	35			1	1400	0,5
Cozinha (confeitaria)				2	180	1
Despensa				0,5	10	0,5
Espaços Técnicos						
Arrumações				0,5	-	0,5
Lavandaria		5		2	400	0,5
Espaços de descanso						
Sala de Estar	35			1	1050	0,5
Sala dos quartos	35			1	60	0,5
Quartos	35			1	35	-
Quartos duplos	35			1	60	-
Instalações Sanitárias e cuidados de higiene						
Banho Geriátrico			60	4	60	0,5
Instalações Sanitárias			60	4	60	1
Espaço de estética	35			1	70	0,5

Figura 85 – Perfis de Ventilação, caudais e renovações por ocupação

5.7.10 Ventilação

A ventilação deve assegurar uma qualidade do ar no interior do edifício adequada à ocupação humana em permanência, devendo por isso ser assegurado um caudal mínimo que dilua os poluentes resultantes da respiração, metabolismo humano e das emissões resultantes dos materiais, cozinhas e instalações sanitárias, independentemente dos vãos se encontrarem fechados, sendo estes úteis para a intensificação da ventilação em determinados períodos.

Estas renovações podem ser realizadas através de ventilação natural, mecânica ou híbrida, considerando que nos períodos em que as condições atmosféricas inviabilizem a ventilação natural se deva utilizar um sistema mecânico nos espaços mais poluídos, como cozinha, lavandaria e instalações sanitárias.

Existe ainda a possibilidade de adaptação do caudal consoante a ocupação, na medida em que nas horas de não utilização, à exceção dos quartos e da cozinha, pode existir uma redução para metade de modo a minimizar perdas térmicas e consumos de energia (Segurança Social, 2011).

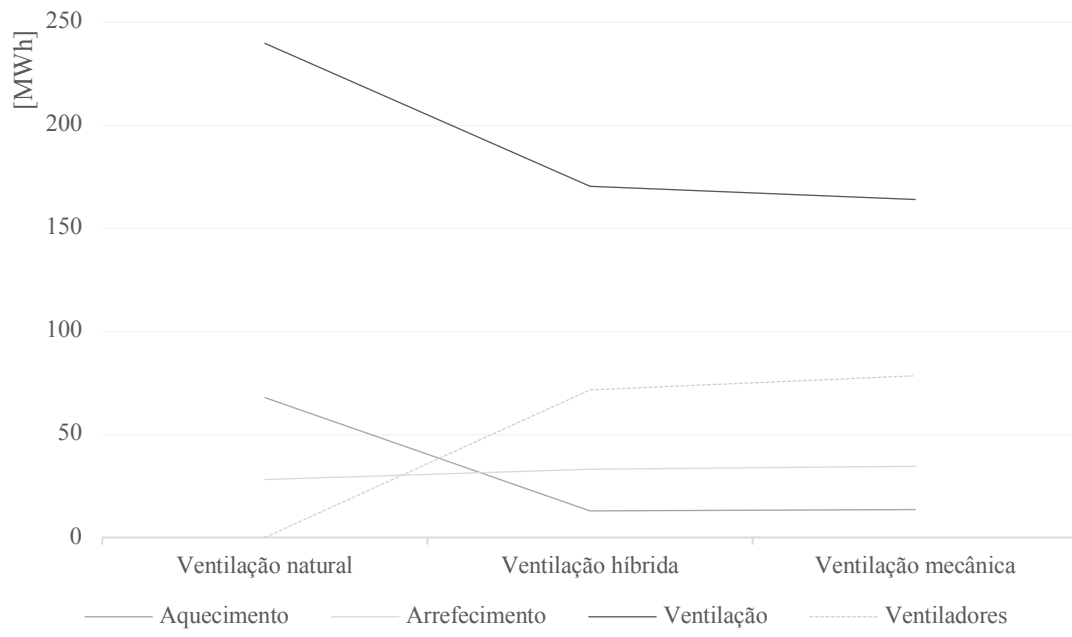


Figura 86 - Comparação de necessidade de climatização com ventilação natural, mecânica e híbrida

De modo a escolher qual do tipo de sistema a utilizar foram realizadas diversas simulações que possibilitariam decidir a alternativa mais viável, sendo que em todas foram utilizados os mesmos caudais e horários de utilização dos espaços.

No sistema natural não existem gastos na ventilação, mas as necessidades de aquecimento e arrefecimento apresentavam-se elevadas, podendo não cumprir a ventilação necessária nos períodos em que as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior se encontrem baixas ou a velocidade do vento se apresentar reduzida.

Ao contrário do sistema mecânico com recuperação de calor, que geraria grandes gastos energéticos em ventiladores, enquanto diminuía a necessidade de climatização.

Foi, no entanto, num sistema híbrido com parte da ventilação mecânica com recuperação de calor e parte natural que se encontrou a melhor solução, na medida em o sistema de aquecimento reduzia as suas necessidades para aproximadamente um quinto, possibilitando a redução deste equipamento e cumprindo os caudais de ventilação necessários em todas as condições. Este sistema considerava a utilização da ventilação mecânica durante os períodos de ocupação nos quartos, enfermaria, sala de estar, entrada, escritórios, gabinete médico, lavandaria, cafetaria, cantina, cozinha e instalações sanitárias, estando os restantes períodos dependentes da ventilação natural, podendo no entanto considerar-se que com a utilização adequada e caso fosse alterado entre os dois sistemas consoante as necessidades específicas diárias, o sistema poderia ser otimizado e reduzido o consumo de energia.

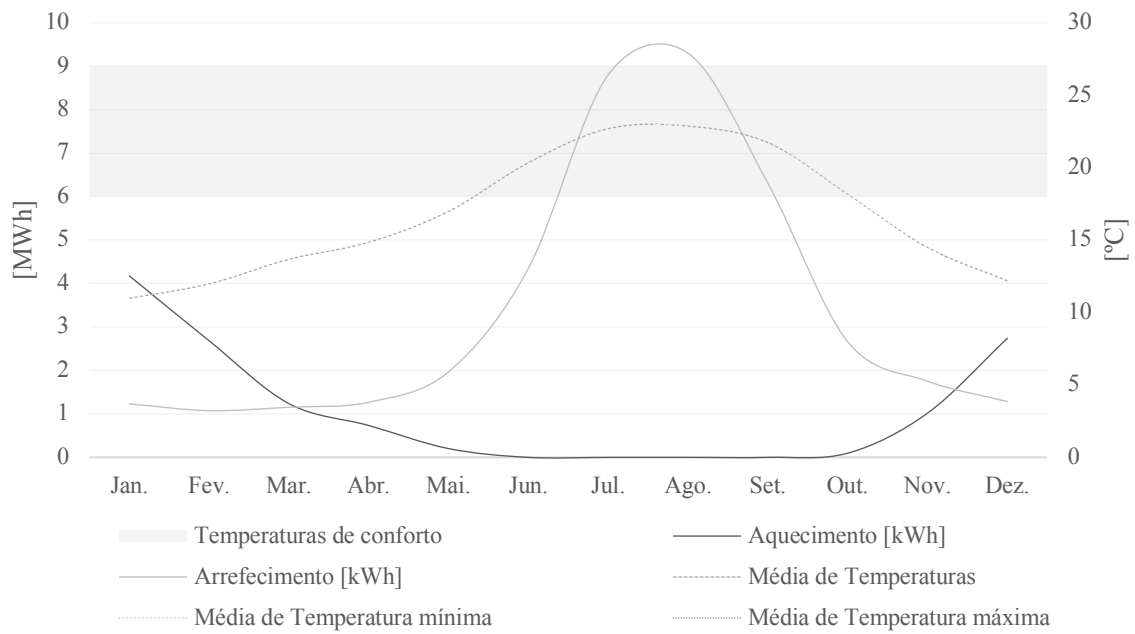


Figura 87 – Comparação de necessidades de climatização, temperaturas exteriores e zona de conforto

5.7.11 Climatização e água quente sanitária

Os sistemas de climatização asseguram as temperaturas interiores referidas na Tabela 11 para cada espaço e uma temperatura da água quente sanitária entre os 15 e os 60°C, recorrendo a fontes energéticas elétricas e a gás natural.

O aquecimento e a água quente são produzidos por uma caldeira representando um total de aproximadamente 30 MWh/a e uma energia de aquecimento líquida de 4,76 kWh/m²a para a aquecimento do espaço e 11,12kWh/m²a para ambos os sistemas.

O arrefecimento representa um valor mais elevado, apresentando isoladamente uma necessidade 33 MWh/a e 12,26 kWh/m²a, devido ao clima apresentar um verão mais rígido, bem como consequência dos ganhos internos de calor, não sendo a ventilação um forte influenciador deste parâmetro, ao contrário do que se sucede com o aquecimento.

O sistema de arrefecimento baseia-se num *chiller* que devido ao seu coeficiente de desempenho (COP) a variar entre os 8,5 e os 3,5, permitem que anualmente para responder à necessidade de arrefecimento sejam utilizados apenas 8 MWh, representando cerca de um quarto da sua necessidade.

Caso fosse utilizado um sistema de aquecimento por bomba de calor seria possível igualmente diminuir as necessidades consideradas tanto para aquecimento do ar como de águas quentes sanitárias, sendo que estas podem atingir 4 de COP. No entanto, devido à falta de valores para calcular a capacidade de aquecimento do sistema não foi possível simular essa possibilidade.

Assim, como é possível verificar, anualmente são utilizados cerca de 63 MWh em sistemas de climatização e de águas quentes sanitárias, concluindo que tal como expectado, num clima que apresenta um verão mais rígido que o inverno, o sistema de arrefecimento representa mais de metade desse valor, funcionando todo o ano.

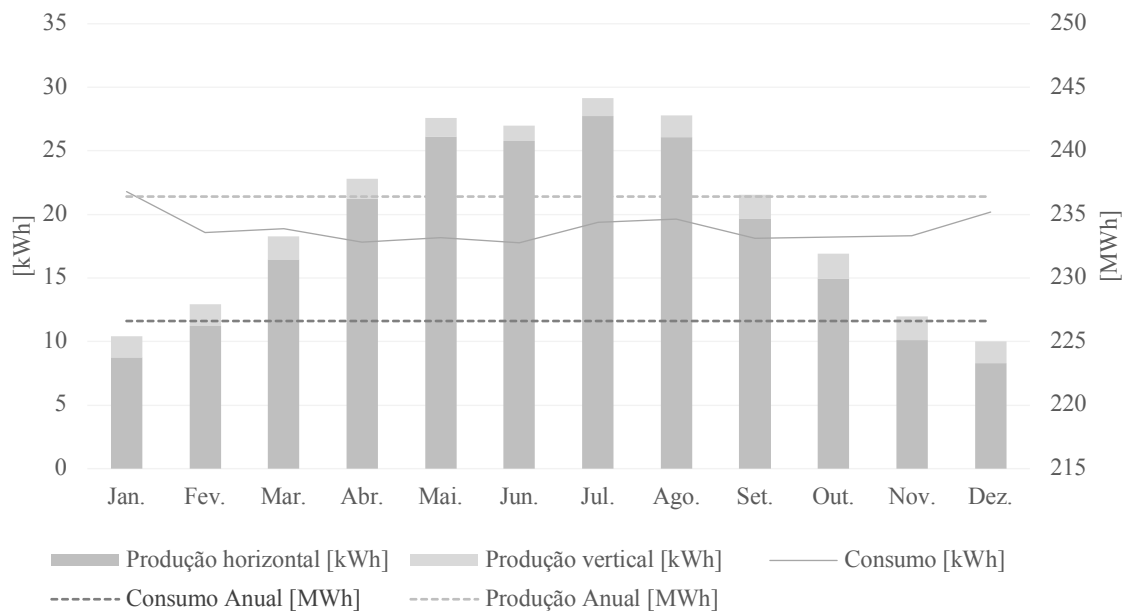


Figura 88 – Comparação da produção e do consumo energético simulado utilizando o painel Luxor lx-190M com tensão nominal de 24 V e o inversor Studer_C2324_24V do Solterm

5.7.12 Painéis Fotovoltaicos

Para produção energética recorreu-se à energia renovável solar através da utilização de painéis fotovoltaicos aplicados na cobertura e na fachada sul, enquadrando-se numa relação de integração dos painéis na arquitetura.

Enquanto na cobertura se tira partido do pequeno murete para dissimular a presença dos painéis, na fachada sul são utilizadas umas películas brancas sobrepostas aos módulos que permitem uma adaptação ao design do edifício.

As áreas disponíveis apresentavam no entanto uma ampla diferença, tendo 141m² disponíveis verticalmente, enquanto a cobertura dispunha de 1440 m². Foi considerada uma margem de 20% de cobertura livre para funcionamento técnico o que perfaz uma área de 1152 m² disponíveis para aplicação do sistema.

Segundo Hootman (2013) e Hegger, et al. (2008), podemos estimar que existe uma relação inversa entre a inclinação do painel e o aumento da sua performance face à produção total que diminui, na medida em que o painel horizontal apresenta um fator de performance inferior mas consegue colocar um maior número de painéis pois não necessitam de ser espaçados. Deste modo, foi adotado um sistema de painéis horizontais na cobertura que possibilitariam a colocação de 842 módulos, juntamente com 110 na vertical aplicados na fachada sul.

Determinou-se a utilização do painel Luxor lx-190M com uma potência nominal de 190W e com uma garantia de potência de 25 anos (Tienda solar, s.d.), juntamente com um inversor Studer C2324-24V com uma potencia nominal de 2300W (Toosolar, s.d.). Assim, considerando a utilização de 952 módulos e uma potência nominal de 190W teríamos com 180.880 kWp que divididos por 2.300W resultam num total de 79 inversores. A ligação destes aparelhos à rede permitiam a produção de 236405 kWh anualmente.

Painel Luxor lx-190M	266,20€	952 Unidades	(-) 253422,4 €
Studer C2324-24V	2136,61€	79 Unidades	(-) 168792,2 €
Investimento Inicial	(-) 422215 €		
Eletricidade consumida no local	196811,78 kWh/a	0,15 €/kWh	(+) 29521,77€/a
Gás natural importado	30103,69 kWh/a	0,0621 €/kWh	(-) 1869,44€/a
Eletricidade exportada para a rede	39593 kWh/a	0,095 €/kWh	(+) 3761,26 €/a
Saldo Anual	(+) 31413,59€		
Tempo de amortização	13 anos e 5 meses		

Figura 89 - Tempo de amortização do sistema de painéis fotovoltaicos, (+) saldo positivo (-) saldo negativo

Por sua vez, numa breve análise de viabilidade económica, se cada painel apresentar um custo de 266,20 € (Tienda solar, s.d.) e considerando um total de 952 módulos, assim como um custo de 2136,61 € por inversor, teria que ser realizado um investimento inicial de 422.215 € em equipamentos.

Consequentemente, não considerando qualquer incentivo ou apoio financeiro, os painéis e inversores iriam ser pagos em 13 anos e cinco meses, momento a partir do qual a produção energética representaria lucro financeiro. Sendo que:

- anualmente eram produzidos 236405 kWh;
- eram consumidos no local 196811,78 kWh/a, o que evitava a compra de energia a 0,15 €/kWh (EDP, 2019) e permitia poupar 29521,77€/a;
- é comprado da rede 30103,69 kWh/a de gás natural a 0,0621 €/kWh (EDP, 2019), concretizando uma fatura anual de 1869,44€;
- é exportado para a rede 39593 kWh/a a 0,095€, o que permite ganhar 3761,36 €/a;
- por ano ser atingido um saldo positivo de 31413,59€.

5.7.13 Energia hídrica, eólica e geotermia

No caso de optar por um edifício off-grid a falta de produção dos painéis fotovoltaicos no inverno iria provocar a necessidade de recorrer a outras fontes energéticas podendo ser produzida no terreno energia com origem hídrica, eólica e geotérmica.

A proximidade com a Ribeira de Sassoeiros apresentava grande potencial considerando a colocação de uma turbina hídrica, na medida em que os períodos de menor produção solar iriam coincidir com os de maior caudal e conseqüentemente com os períodos de maior potencial energético. Seria ainda possível dissimular a utilização do aparelho se fosse colocado sob a passagem viária que atravessa a linha de água. No entanto, por ser uma ribeira de leito de cheia torrencial e a eficiência do mecanismo ser subaproveitada, a solução acabou por ser abandonada.

Num espaço onde se ambicionava manter um ambiente natural, tanto pela utilização de materiais provenientes de fontes renováveis familiares aos residentes como pela unidade de paisagem a manter, seria contraproducente empregar uma eólica, por motivos visuais, ou extrair energia do subsolo na medida em que a implantação deste sistema iria causar diversas repercussões no ecossistema local.

<i>Net Zero Site Energy</i>	
Energia Importada	(-) 226915,47 kWh/a
Energia Exportada	(+) 236405 kWh/a
Balço anual de energia final	(+) 9489,53 kWh/a

<i>Net Zero Source Energy</i>			
Fonte	Energia Final	Fator de conversão	Energia primária
Eletricidade Importada	196811,78 kWh/a	2,5	(-) 492029,45 kWh _{EP} /a
Gás Natural Importado	30103,69 kWh/a	1	(-) 30103,69 kWh _{EP} /a
Eletricidade Exportada	236405 kWh/a	2,5	(+) 591012,5 kWh _{EP} /a
Balço anual de energia primária	(+) 57879,36 kWh _{EP} /a		

Figura 90 - Balço Net Zero Site e Source Energy

5.7.14 Balanço

Net Zero Site Energy

Considerando todos os usos energéticos referentes ao edifício e respetivos residentes, anualmente são consumidos 226.915,47 kWh de energia final. Por sua vez, a produção de energia dos painéis fotovoltaicos consegue suprir esta necessidade gerando 236.405 kWh/a, o que possibilita um saldo positivo de 9.489,53 kWh/a.

Net Zero Source Energy

Segundo o Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013 deve ser considerado um factor de 2,5 para conversão em energia primária no caso da eletricidade, independentemente da origem, e de 1 no caso de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos. Assim, à exceção do aquecimento do edifício e das águas quentes sanitárias, todos serão multiplicados pelo fator de eletricidade.

Concluindo, passamos a ter uma necessidade de energia primária de 30.103,69 kWh/a para aquecimentos e 492.029,45 kWh/a dos restantes gastos, somando um total de 533.133,14 kWh_{EP}/a.

Esta abordagem torna-se assim mais fácil de atingir, na medida em que a energia exportada é convertida segundo o fator de eletricidade e a percentagem de energia proveniente de gás natural não aumentou o total de energia primária. Assim, o edifício evita, através de energias renováveis, um total de energia primária de 591.012,5 kWh/a, o que resulta num balanço positivo de 68.879,36 kWh_{EP}/a.

Net Zero Energy Cost Building

Por sua vez, devido à ligação do edifício à rede é possível verificar um balanço simples de custos, na medida em que segundo a tarifa atual de 0,158 €/kWh de eletricidade e de 0,0621 €/kWh de gás natural (EDP, 2019), caso não fosse realizada a instalação de nenhuma fonte renovável do edifício este gastaria anualmente 32965,70 € sem iva, ou seja um total de 40547,81€ anuais com iva de 23%, o que representaria num ciclo de vida de 25 anos 1.013.695 €.

Em contrapartida, a instalação dos painéis solares já referidos, apesar do investimento inicial de 422.215 € em equipamentos permitia para além da poupança da energia que não teria que ser comprada no valor de 29521,77 €/a, vender à rede

Net Zero Energy Cost Building

Custo painéis solares	(-) 253422,4 €
Custo inversores	(-) 168792,6 €
Investimento Inicial	(-) 422215 €
Poupança da eletricidade consumida no local	(+) 29521,77 €/a
Eletricidade vendida à rede	(+) 3761,36 €/a
Gás natural importado da rede	(-) 1869,44 €/a
Balanco em 25 anos	(+) 363127 €

Net Zero Energy Emissions Building

Fonte	Energia Final	Fator de conversão	Energia primária
Eletricidade Importada	196811,78 kWh/a	2,5	(-) 492029,45 kWh _{EP} /a
Gás Natural Importado	30103,69 kWh/a	1	(-) 30103,69 kWh _{EP} /a
Eletricidade Exportada	236405 kWh/a	2,5	(+) 591012,5 kWh _{EP} /a
Balanco anual de energia primária			(+) 68879,36 kWh_{EP}/a

anualmente 39.593,22 kWh que segundo a tarifa de 95 €/MWh presente na Portaria n.º 32/2018 significaria um saldo anual de 3761,36 €, a que se subtrairia apenas o pagamento do gás natural de 1869,44 €. Concluindo, a soma da poupança anual, juntamente com o lucro, subtraindo os gastos anuais e o investimento inicial, significaria ao fim de 25 anos um ganho de 363.127 €, ou 2.363.481 € se considerarmos uma taxa de IVA de 23%. É ainda de notar que este valor é apenas representativo para um balanço positivo, visto que não considerar custos de instalação e manutenção, assim como incentivos e apoios financeiros.

Net Zero Energy Emissions Building

Sob a perspetiva do balanço de emissões do projeto, é realizada uma abordagem de emissões evitadas através da implantação de energias renováveis, considerando que a inexistência de recursos renováveis significaria um total de 76.933,19 kgCO₂/a se o fator de conversão de eletricidade fosse 0,144 kgCO₂/kWh_{EP} e o de gás natural 0,202 kgCO₂/kWh_{EP} (Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, 2013), a que se somaria a energia incorporada do edifício. Representando no final de 25 anos, um total de 669.110 kgCO₂ incorporado nos materiais (Tabela 10) e de 1.923.329 kgCO₂ na energia consumida nesse período temporal, perfazendo 2.592.439 kgCO₂.

Por outro lado, apesar dos painéis fotovoltaicos crescerem 230.154 kgCO₂ incorporado, iriam permitir diminuir a pegada do edifício, na medida em que a produção de eletricidade anual permitia à rede evitar a emissão de 85.105,8 kgCO₂/a. Assim, se subtrairmos as emissões geradas pela necessidade de gás natural, ao total de emissões evitadas, teremos um saldo positivo na ordem dos 79.024,85 kgCO₂/a.

Considerando um total de emissões incorporadas de 899.264 kgCO₂ devido à incorporação dos painéis, se dividirmos pelo saldo positivo, poderemos perceber que o balanço zero com o carbono incorporado no edifício seria possível em 11 anos e 4 meses, passando para um período de 108 anos se considerássemos apenas o saldo de emissões evitadas da energia enviada para a rede.

Concluindo, enquanto no primeiro cenário, em que não haviam energias renováveis no edifício, em 25 anos este teria uma pegada de 2.592.439 kgCO₂, o segundo permitia um saldo positivo de 1.076.357 kgCO₂.

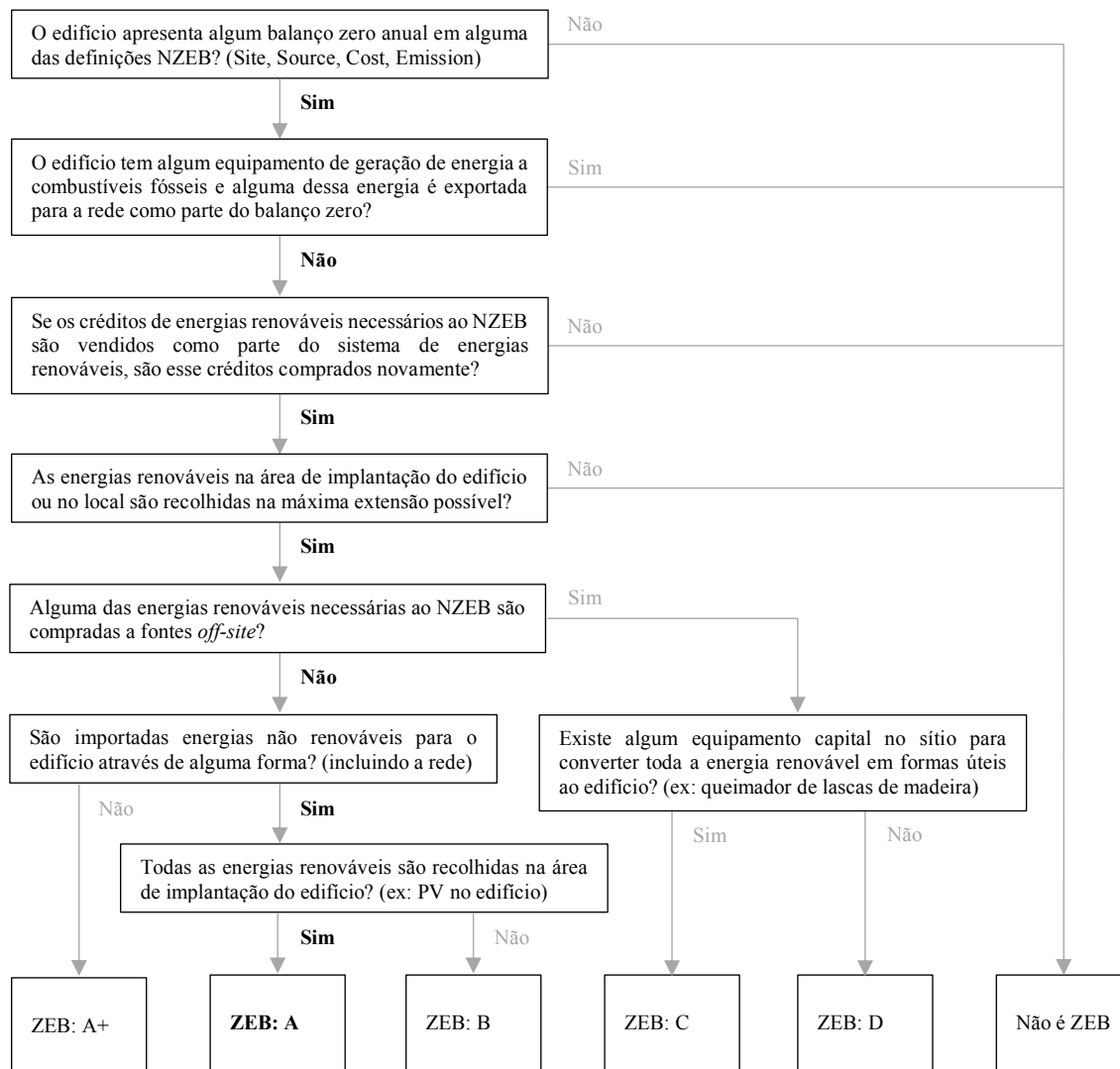
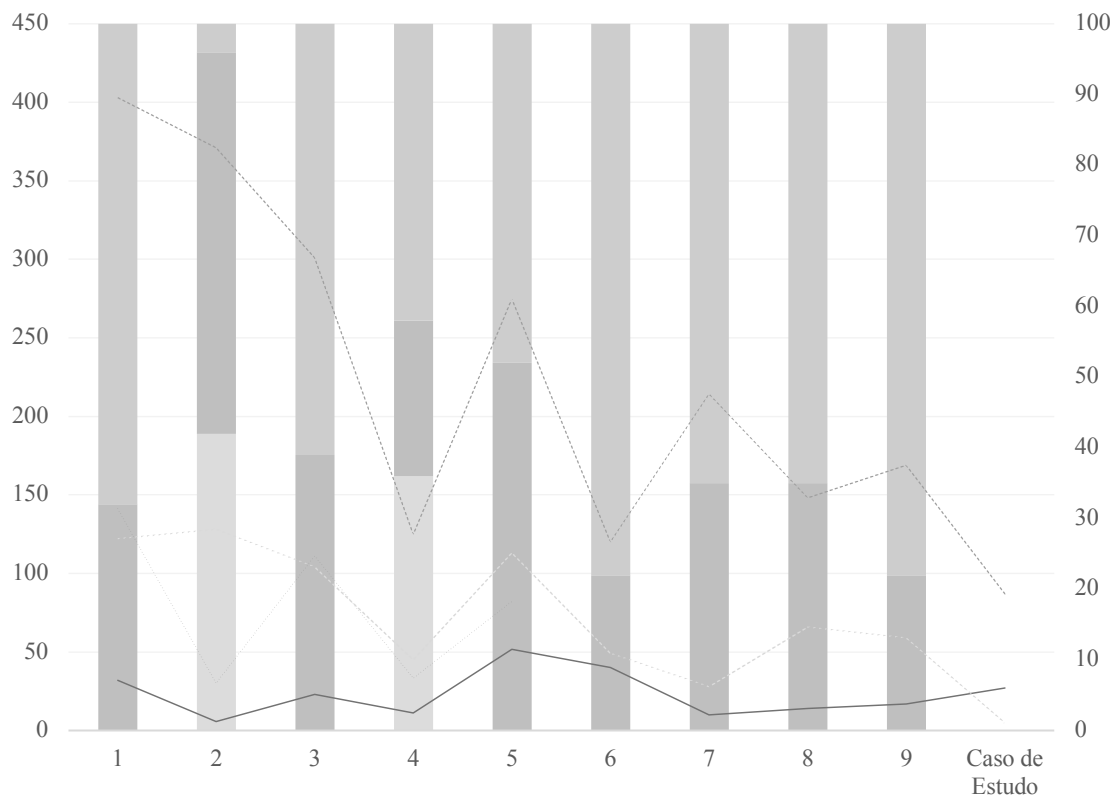


Figura 91 - Fluxograma da classificação NZEB aplicado ao projeto da residência de idosos (Fonte: adaptado de Pless & Torcellini, 2010, p.13)

Seguindo a avaliação anteriormente definida, foi possível verificar que o edifício consegue atingir o estatuto de plus ZEB, na medida em que produz mais energia do que aquela que consome. Alcançando ainda uma condição de *net zero site energy*, *net zero source energy*, *net zero energy cost building* e *net zero energy emission building*, cumprindo assim todos os requisitos que foram propostos. Por outro lado, respondendo ao fluxograma de Pless e Torcellini (2010), este apresenta uma classificação de ZEB: A.



- Gás Natural
- Eletricidade
- Combustíveis Fósseis
- Área de pavimento [dam²]
- Residentes
- Energia por unidade de área [kWh/m2/a]
- Energia de aquecimento por unidade de área [kWh aquecimento/m2/a]
- Energia por residente [MWh/residente/a]

5.7.15 Resumo energético e comparação de dados

No seguimento da legislação europeia tornava-se necessária obter valores de referência para as diferentes tipologias de edifício, no entanto foi possível verificar que apesar de vários estudos realizados a edifícios de escritórios que permitiam uma base de dados sólida, as residências para idosos careciam de qualquer investigação energética. Surge assim o projeto Save Age que consegue agregar dados de 10 países europeus, onde se insere Portugal.

Constituído por uma base de 9 lares de idosos num raio de 80 km de Coimbra, é possível verificar nos dados disponibilizados pelo programa a origem da energia, assim como a energia total consumida no edifício por metro quadrado e por residente, servindo de uma base sólida para comparação com este projeto.

Os edifícios comparados variam entre 1 e 6 pisos e apresentam áreas semelhantes ao projeto da residência desenvolvida neste trabalho. Os edifícios foram construídos entre 1970 e 2008 e apenas dois não têm isolamento, sofreram todas obras de renovação à exceção de dois, que incluíram aumentar instalações, instalar painéis solares e substituir as janelas, o que pressupõe uma tentativa de reduzir os consumos e a consequente pegada do edifício.

No entanto, quando comparamos os dados de consumo energético e de necessidade de aquecimento, podemos perceber que o projeto desenvolvido apresenta uma grande eficiência no que concerne às fontes de energia, e que apesar da densidade parecer menor no sentido de área por residente, ao contrário do que acontece nos restantes lares de idosos, parte da energia considerada por residente pertence à população que pode interagir com os espaços comuns da residência, como acontece com o café. Assim, considerando estas divergências, poderíamos concluir que o consumo por residente e por unidade de área se apresenta inferior aos restantes casos de estudo.

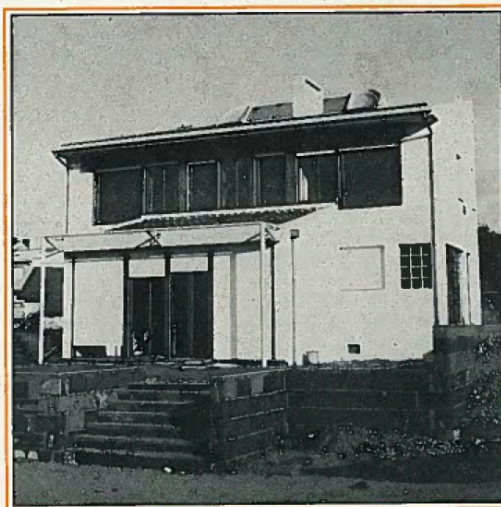
Podemos ainda realizar uma comparação com o sistema energético onde se insere, concluindo que se o consumo do concelho rondar os 614482 MWh/a e o edifício exportar para a rede 39593 kWh/a, não teria grande representatividade. No entanto se considerarmos um total de 43624 edifícios contabilizados nos censos de 2011 (PORDATA, 2015) e a colocação de 10 painéis em metade dos edifícios do concelho, considerando a produção de 242,7 kWh/a por painel, valor apresentado nos painéis horizontais utilizados no projeto, seria possível produzir anualmente 529377 MWh, o que simbolizaria aproximadamente 86%. Concluindo, a pegada energética pode ser facilmente reduzida através de pequenos investimentos.

“a really sustainable
building is not a
sacrifice, it’s a better
way of life”

(Jacobson *cit.* Reeder, 2016, p.168)

06

Conclusão



CASA-LABORATÓRIO TERMICAMENTE OPTIMIZADA

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA INDUSTRIAL - DEPARTAMENTO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS
FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO - DEPARTAMENTO DE MECÂNICA

No contexto acima, em síntese e em geito de advertência, poder-se-á dizer que esta casa-laboratório termicamente optimizada

é

- uma proposta de solução tecnológica
- uma interpelação a considerar
- uma casa habitável
- um projecto de integração dos mais diversos elementos programáticos
- um exemplo de descentralização energética
- uma sugestão para o amanhã
- a afirmação de uma possibilidade
- um laboratório de estudo integrado num programa de trabalho.

não é

- um modelo a copiar
- uma regra a seguir
- um protótipo bizarro
- um caso de «escravatura» da arquitectura à energia
- uma resposta à actual factura petrolífera
- uma receita de efeitos imediatos
- um luxo inatingível
- um «bibelot» inútil.

Figura 92 - Excerto da brochura da Casa-Laboratório Tecnicamente Optimizada (Fonte: adaptado de Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Departamento de energias renováveis; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Departamento de Mecânica, 1983)

6 Conclusão

Foi fundamental à evolução deste trabalho final de mestrado uma estruturação que encadeia o pensamento e guia o conceito NZEB desde a justificação da sua necessidade até a comprovação de resultados obtidos pelo objeto arquitetónico.

Partindo de um enquadramento do conceito de energia e dos seus principais indicadores energéticos, como emissões de gases com efeito de estufa e energias renováveis, até à resposta dada pelas políticas europeias, que se iniciam em 1993. Sendo estabelecido na Directiva 2012/27/EU um limite até 2020 para melhoria da eficiência energética, que acaba por remeter para o conceito NZEB.

O conceito apresenta desde logo uma estruturação de princípios muito bem definidos, considerando limites físicos, temporais, energéticos, entre outros, manifestando ainda a possibilidade de várias definições.

No entanto, quando analisamos a legislação portuguesa, ao contrário do que se sucede em outros países europeus, não existe ainda um valor de referência em kWh/m²a o que permite que o conceito fique demasiado em aberto.

Deste modo, considero que seja importante, tal como acontece no conceito Passive House, que se encontrem limites ponderados para Portugal, podendo ainda considerar-se uma diferença de valores consoante as zonas e o clima em que se encontrem.

Foi ainda importante estabelecer uma metodologia projectual considerando que o processo do objeto arquitetónico e a solução energética corriam em simultâneo não existindo uma relação de sobreposição, mas sim de integração.

Assim, a evolução da proposta foi marcada pela aquisição de conhecimentos de estratégias passivas e ativas aplicadas à simulação que permitiam gerir o balanço necessário, partindo sempre de um pressuposto de diminuição do consumo energético e aumento da produção de energia renováveis, nunca colocando em causa o conforto dos residentes, descodificando os conceitos que passavam da teoria à aplicação.

Concluindo, acredito que seja importante a definição de uma estratégia nacional e internacional por parte dos arquitetos no sentido de desenvolver conceitos como NZEB, PassiveHouse e arquitetura regenerativa, tendo sempre em vista que pequenas alterações poderão significar um revolução no contexto energético não tendo que ter obrigatoriamente implicações na formalização da arquitetura, apenas exigindo uma metodologia e um acompanhamento continuo das soluções, que atualmente se apresenta facilitado pelos softwares BIM.

7 Referências

- Abdallah, C., 2018. *Winners of 2018 VEX Competition Reimagine Vernacular Architecture and Design*. [Online] Available at: <https://www.archdaily.com/894943/winners-of-2018-vex-competition-reimagine-vernacular-architecture-and-design> [Accessed 15 Setembro 2019].
- ADENE - Agência para a energia, 2016. *10 Soluções de Eficiência Energética*. [Online] Available at: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-10-sist-fotovoltaico-1.pdf> [Accessed Julho 2019].
- ADENE (B), 2019. *Certificação Energética de Edifícios*. [Online] Available at: <https://www.sce.pt/certificacao-energetica-de-edificios/consumidores/> [Accessed 3 Setembro 2019].
- ADENE, 2019. *Estatística do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios*. [Online] Available at: <https://www.sce.pt/estatisticas/> [Accessed 11 Setembro 2019].
- Aelenei, L., Gonçalves, H. & Rodrigues, C., 2010. The Road Towards "Zero Energy" in Buildings: Lessons Learned from SOLARXXI Building in Portugal. *Proceedings of EUROSUN 2010 International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings*, Setembro - Outubro, p. 8.
- Aguiar, R., 2010. *Plano Estratégico de Cascais Face às Alterações Climáticas*, Lisboa: LNEG.
- Aguiar, R., 2013. *Climatologia e Anos Meteorológicos de Referência para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios*, Lisboa: LNEG.
- Ambiente e Transição Energética, 2019. Portaria n.º 297/2019. *Diário da República, 1.ª série*, 9 Setembro, Volume 172, pp. 198-202.
- Šmídek, P., 2008. *Residential Home for Eldery, Masans*. [Online] Available at: <https://www.archiweb.cz/en/b/bydleni-pro-stars-i-obcany-v-masans> [Accessed 8 Outubro 2019].

- Amorim Isolamentos, n.d. *Porquê usar aglomerado de cortiça expandido?*. [Online]
Available at: <https://www.amorimisolamentos.com/vantagens/quais-as-vantagens/>
[Accessed 10 Outubro 2019].
- Assembleia da República, 2014. Lei n.º 82-D/2014. *Diário da República, 1.ª série*, 31
Dezembro, Volume 252, pp. 6546-(320-338).
- Biodesign, L., 2010. *Câmara Municipal de Cascais - Plano De Pormenor Do Espaço De
Reestruturação Urbanística De Carcavelos-Sul (PPERUCS)*. Cascais: s.n.
- Bourrelle, J. S., Andresen, I. & Gustavsen, A., 2013. Energy payback: An attributional
and environmentally focused approach to energy balance in net zero energy buildings.
Energy and Buildings, Outubro, pp. 84-92.
- BP p.l.c., n.d. *Energy charting tool – app*. [Online]
Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-charting-tool-desktop.html>
[Accessed Julho 2019].
- BP Statistical Review of World Energy, 2019. *BP Statistical Review of World Energy*.
[Online]
Available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
[Accessed Agosto 2019].
- Cabrito, P. & Diniz, I., 2016. *Pedro Cabrito | Isabel Diniz Arquitectos - Solar XXI*.
[Online]
Available at: <https://divisare.herokuapp.com/projects/316535-pedro-cabrito-isabel-diniz-arquitectos-daniel-malhao-solar-xxi>
[Accessed 10 Setembro 2019].
- Cardoso, M., 2019. *Arquitetura em CLT: projeto, construção e sustentabilidade*
[Interview] (20 Maio 2019).
- Cascais, 2019. *Geocascais*. [Online]
Available at: <https://geocascais.cascais.pt>
[Accessed 30 Outubro 2018].

- Cavanagh, M., 2018. *Should I use tilt frames on my solar panels?*. [Online] Available at: <https://mcelectrical.com.au/blog/tilting-solar-panels-a-waste/> [Accessed 15 Setembro 2019].
- Charron, R., 2008. A review of design processes for low energy solar homes. *Open House International*, Setembro, Volume 33, pp. 7-16.
- Conselho das Comunidades Europeias, 1993. Directiva 93/76/CEE do conselho. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, 22 Setembro, Volume 237, pp. 28-19.
- Contemporary Building Design, n.d. *Cross laminated timber-XLAM*. [Online] Available at: <http://www.cbd.si/en/timber-structures/cross-laminated-timber-xlam> [Accessed 30 Agosto 2019].
- Dancygier, B., 2017. Viewpoint phenomena in constructions and discourse. *Glossa*, Volume 37, pp. 1-22.
- Demschener, T., Feio, A. O., Braz, R. & Branco, J. M., 2019. *Sessão Técnica Construir com CLT* [Interview] (28 Maio 2019).
- Detail, n.d. *Marché International Support Office - Zero-Energy Architecture in Switzerland*. [Online] Available at: <https://www.detail-online.com/en/article/marche-international-support-office-zero-energy-architecture-in-switzerland-13794/> [Accessed 10 Setembro 2019].
- DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia, 2019. *Balanço Energético Sintético 2018*. [Online] Available at: <http://www.dgeg.gov.pt> [Accessed Agosto 2019].
- DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia, 2019. *Eficiência Energética: Edifícios*. [Online] Available at: <http://www.dgeg.gov.pt> [Accessed 5 Setembro 2019].
- DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, n.d. *EU countries' nearly zero-energy buildings national plans*. [Online] Available at:

- https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/portugal_en_version.pdf
[Accessed Agosto 2019].
- Directorate-General for Energy, 2018. *EU energy in figures: Statistical pocketbook 2018*. [Online]
Available at: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/99fc30eb-c06d-11e8-9893-01aa75ed71a1>
[Accessed Agosto 2019].
- Economia, 2018. Portaria n.º 32/2018. *Diário da República, 1.ª série*, 23 Janeiro, Volume 16, p. 670.
- EDP Comercial, 2019. *Conheça a origem da energia*. [Online]
Available at: <https://www.edp.pt/origem-energia/?sector=Residenciais%20e%20pequenos%20neg%C3%B3cios&year=2019&period=3>
[Accessed 19 Outubro 2019].
- EDP Serviço Universal, 2019. *Compra de energia*. [Online]
Available at: <https://www.edpsu.pt/pt/CUR/Pages/compraDeEnergia.aspx>
[Accessed 23 Outubro 2019].
- EDP, 2019. *Tarifários*. [Online]
Available at: <https://www.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/>
[Accessed 15 Outubro 2019].
- Esbensen, T. V. & Korsgaard, V., 1977. Performance of the zero energy house in Denmark. *Meddelelse*, Setembro, Volume 64, pp. 1-14.
- Europe.eu, 2018. *Glossary: Tonnes of oil equivalent (toe)*. [Online]
Available at: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Tonnes_of_oil_equivalent_\(toe\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Tonnes_of_oil_equivalent_(toe))
- François, G. et al. eds., 2017. *Solution Sets for Net Zero Energy Buildings*. Berlin: Wilhelm Ernst and Sohn.
- Garcia, S., 2016. *Francis Kéré's Lycée Schorge secondary school in Koudougou, Burkina Faso*. [Online]
Available at: <https://www.theguardian.com/world/2016/oct/04/francis-kere-the>

architect-rebuilding-burkina-fasos-political-heart-in-clay#img-2

[Accessed 5 Agosto 2019].

- Gilijamse, W., 1995. *Zero-energy houses in the Netherlands*. Madison, Wisconsin, I.B.P.S.A., pp. 276-283.
- Gonçalves, H. & Graça, J. M., 2004. *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Lisboa: DGGE / IP-3E.
- Gonzalez, F. J. N., 2004. Caracterización térmica de diversos materiales constructivos. In: *Arquitectura bioclimatica en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería, pp. 376-380.
- Graça, J. L. C. d., 2009. *Entevista Carrilho da Graça* [Interview] (22 Maio 2009).
- Greenspec, n.d. *Cross-laminated (Crosslam or CLT) timber - Introduction*. [Online] Available at: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-introduction/>
[Accessed 10 Outubro 2019].
- Hammond, G. & Jones, C., 2011. *ICE (Inventory of Carbon & Energy) V2.0*, s.l.: University of Bath, UK.
- Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T. & Zeumer, M., 2008. *Energy Manual: Sustainable Architecture*. Munich: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co KG.
- Hemsath, T. L. & Bandhosseini, K. A., 2018. Issues with BEM. In: *Energy Modeling in Architectural Design*. New York : Routledge: Taylor & Francis, pp. 145-188.
- Hernandez, P. & Kenny, P., 2008. *Defining Zero Energy Buildings - A life cycle perspective*. Dublin, University College Dublin.
- Hernandez, P. & Kenny, P., 2010. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, Junho, Volume 42, pp. 815-821.
- Heywood, H., 2017. *101 regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético*. Primeira edição ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL.
- Hootman, T., 2013. *Net zero energy design: a guide for commercial architecture*. Hoboken(New Jersey): John Wiley & Sons, Inc..

- International Energy Agency, United Nations Environment Programme, 2018. *Global Status Report 2018*. [Online] Available at: <https://www.unenvironment.org/resources/report/global-status-report-2018> [Accessed Agosto 2019].
- Iqbal, M., 2004. A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland. *Renewable Energy*, Fevereiro, Volume 29, pp. 277-289.
- ISO, n.d. *91.120.10*. [Online] Available at: <https://www.iso.org/ics/91.120.10/x/> [Accessed 27 Agosto 2019].
- Jørgensen, P. F. et al., n.d. *o Guia de Projeto Integrado para a Construção de Edifícios de Necessidades de Energia Quase Nulas*. s.l.:s.n.
- Jones, C. & Fulford, M., 2013. *Choosing low-carbon windows*. [Online] Available at: <https://www.building.co.uk/focus/choosing-low-carbon-windows/5060079.article> [Accessed 10 Outubro 2019].
- Kilkis, S., 2007. *A New Metric for Net-Zero Carbon Buildings*. California, s.n.
- Kurnitski, J., 2013. Nearly Zero-Energy Building's (nZEB): Definitions and Assessment Boundaries. In: J. Kurnitski, ed. *Cost Optimal and Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB): Definitions, Calculation Principles and Case Studies*. Tallinn: Springer, pp. 7-30.
- Kurnitski, J. et al., 2011. How to define nearly net zero energy buildings nZEB. *REHVA*, Maio, 48(3), pp. 6-12.
- Laboratorio Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial; Departamento de energias renováveis; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; Departamento de Mecânica, 1983. Casa-Laboratório Termicamente Otimizada. Outubro, pp. 1-24.
- Liggett, R. & Milne, M., 2018. *Climate Consultant*, s.l.: s.n.
- LNEG, 2013. *Climas-SCE [Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios]*, s.l.: s.n.
- LNEG, n.d. *SolTerm 5.1*, s.l.: s.n.

- Marszal, A. et al., 2011. Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, Abril, Volume 43, pp. 971-979.
- Marszal, A. J. et al., 2010. *Net Zero Energy Buildings - Calculation Methodologies versus National Building Codes*. Austria, s.n.
- McDonough, W. & Braungart, M., 2002. *Cradle to Cradle: remaking the way we make things*. New York: North Point Press.
- Mertz, G. A., Raffio, G. S. & Kissock, K., 2007. *Cost Optimization of Net-Zero Energy House*. Long Beach, American Society of Mechanical Engineers, U.S., pp. 477-487.
- Meteoblue, 2019. *Clima São Domingos de Rana*. [Online] Available at: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/previsao/modelclimate/são-domingos-de-rana_portugal_2263352
- Ministério da Economia e da Inovação, 2006. Decreto-Lei n.º 78/2006. *Diário da República - I Série-A*, 4 Abril, Volume 67, pp. 2411-2415.
- Ministério da Economia e do Emprego, 2013. Decreto-Lei n.º 118/2013. *Diário da República, 1.ª série*, 20 Agosto, Volume 159, pp. 4988-5005.
- Ministério da economia, da inovação e do desenvolvimento, 2010. Decreto-Lei n.º 50/2010. *Diário da República, 1.ª série*, 20 Maio, Volume 98, pp. 1739-1740.
- Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 1990. Decreto-Lei n.º 40/90. *Diário da República - I Série*, 6 Fevereiro, Volume 31, pp. 490-504.
- Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006. Decreto-Lei n.º 79/2006. *Diário da República - I Série-A*, 4 Abril, Volume 67, pp. 2416-2468.
- Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006. Decreto-Lei n.º 80/2006. *Diário da República - I Série-A*, 4 Abril, Volume 67, pp. 2468-2513.
- Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, 2013. Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. *Diário da República, 2.ª série*, 3 Dezembro, Volume 234, pp. 35088-(13) a 35088-(13).
- Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2013. Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013.
- Ministério do Ambiente, ordenamento do território e energia, 2015. Portaria n.º 379-A/2015. *Diário da República, 1.ª série*, 22 Outubro, Volume 207, pp. 9196-(14-17).

- Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território, 1998. Decreto-Lei n.º 118/98. *Diário da República - I Série-A*, 7 Maio, Volume 105, pp. 2114-2129.
- Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social, 2006. Decreto-Lei n.º 163/2006. *Diário da República, 1.ª série*, 8 Agosto, Volume 152, pp. 5670-5689.
- Miranda Andrade, W., 2014. *Parque Estadual da Serra da Cantareira*. [Online] Available at: <https://www.flickr.com/photos/wmandrade/13371089644/in/photolist-mnyk7m-mnxCcp-uhdRxo-uhn9cD-uh7KXh-qP2M2Q-o5DXyN-sbJLEt-nH2XYG-nGSdYu-jqmdFP-9WnBma-f9NSPW-nH2XEf-nH2TPj-nH32th-i347nG-fc7J2r-eydR5b-nqzkEF-nqyYJd-nJQUDp-nH2VHQ-nGLK3D-nH2YML-nH4AYn-nH31Uw-n> [Accessed 11 Agosto 2019].
- Moreira, C. et al., 2015. *Plano Diretor Municipal [Revisão] Reserva Ecológica Nacional - Volume I - Delimitação*. Cascais: DIC e DSTI.
- Município de Cascais, 2017. Aviso n.º 3234/2017. *Diário da República*, 28 Março, Volume 62, pp. 5641-5727.
- Observatório da Energia; DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística; ADENE – Agência para a Energia, Unidade de Informação, 2019. *Energia em Números - Edição 2019: Política Energética*. [Online] Available at: <https://www.observatoriodaenergia.pt/pt/comunicar-energia/post/6364/energia-em-numeros-edicao-2019/> [Accessed Agosto 2019].
- Panão, M. J. O., 2016. The overall renewable energy fraction: An alternative performance indicator for evaluating Net Zero Energy Buildings. *Energy and Buildings*, Setembro, pp. 736-747.
- Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2002. Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, 23 Janeiro, Volume 1, pp. 65-71.

- Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2006. Directiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. *Jornal Oficial da União Europeia*, 27 Abril, Volume 114, pp. 64-85.
- Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2009. *Jornal Oficial da União Europeia*, 5 Junho, Volume 140, pp. 16-62.
- Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2010. Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho. *Jornal Oficial da União Europeia*, 18 Junho, Volume 153, pp. 13-35.
- Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2012. Directiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho. *Jornal Oficial da União Europeia*, 14 Novembro, Volume 315, pp. 1-56.
- Parlamento Europeu, Conselho da União Europeia, 2018. Directiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho. *Jornal Oficial da União Europeia*, 19 Junho, Volume 156, pp. 75-91.
- Pastor, A., 1950-60. *Artur Pastor, registos de Arquitectura. Da Beira a Trás os Montes, décadas de 50 e 60.* [Online] Available at: <https://arturpastor.tumblr.com/post/123131979516/artur-pastor-registos-de-arquitetura-da-beira-a> [Accessed 21 Outubro 2019].
- Philips, n.d. *Foco de halógeno 12 V.* [Online] Available at: <https://www.lighting.philips.pt/consumer/p/foco-de-halogeneo-12-v-lampada-de-halogeneo/8718696588741> [Accessed 11 Outubro 2019].
- Philips, n.d. *LED Foco.* [Online] Available at: <https://www.lighting.philips.pt/consumer/p/led-foco/8718696710470/especificacoes> [Accessed 10 Outubro 2019].
- Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética, 2018. *Avisos FEE.* [Online] Available at: <http://www.pnaee.pt/avisos-fee> [Accessed 5 Setembro 2019].

- Pless, S. & Torcellini, P., 2010. Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options. *Technical Report NREL/TP-550-44586*, Junho, pp. 1-14.
- PORDATA (B), 2019. *Emissões de gases com efeito de estufa: total e por alguns sectores de emissões de gases.* [Online] Available at: <https://www.pordata.pt/DB/Europa/Ambiente+de+Consulta/Tabela> [Accessed 15 Setembro 2019].
- PORDATA, 2015. *Edifícios segundo os Censos: total e por tipo.* [Online] Available at: <https://www.pordata.pt/DB/Municipios/Ambiente+de+Consulta/Tabela> [Accessed 20 Outubro 2019].
- Pordata, 2019. *Consumo de energia eléctrica por habitante: total e por tipo de consumo.* [Online] Available at: <https://www.pordata.pt/DB/Municipios/Ambiente+de+Consulta/Tabela> [Accessed Julho 2019].
- PORDATA, 2019. *Energia.* [Online] Available at: <https://www.pordata.pt/Subtema/Municipios/Energia-195> [Accessed 10 Agosto 2019].
- PORDATA, 2019. *Energias renováveis no balanço energético.* [Online] Available at: <https://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela> [Accessed 5 Agosto 2019].
- Pordata, 2019. *População residente: total e por grandes grupos etários.* [Online] Available at: <https://www.pordata.pt/Municipios/População+residente+total+e+por+grandes+grupos+etários-390> [Accessed 10 Setembro 2019].
- PORDATA, 2019. *Produto Interno Bruto (Euro).* [Online] Available at: <https://www.pordata.pt/DB/Europa/Ambiente+de+Consulta/Tabela> [Accessed Julho 2019].
- Presidência do Conselho de Ministros e Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2015. Portaria n.º 57-B/2015. *Diário da República, 1.ª série*, 27 Fevereiro, Volume 41, pp. 1246-(58-89).

- Qualidade, I. P. d., 2014. *Norma Portuguesa 4526/2014 Serviços prestados pelo arquiteto e pelo arquiteto paisagista no âmbito da construção*. Caparica: s.n.
- Reeder, L., 2016. The David and Lucile Packard Foundation Headquarters. In: *Net zero energy buildings: case studies and lessons learned*. Nova Iorque: Routledge, pp. 64-81.
- RIBA, 2013. *RIBA Plan of work 2013*. Londres: RIBA.
- Rodrigues, A. M., Piedade, A. C. d. & Braga, A. M., 2009. *Térmica de edifícios*, Amadora: Edições Orion.
- Rosta, S., Hurt, R., Boehm, R. & Hale, M., 2008. Performance of a Zero-Energy House. *Solar Energy Engineering*, Maio, Volume 130 (2).
- Salom, J. et al., 2011. *Understanding net zero energy buildings: evaluation of load matching and grid interaction indicators*. Sydney, Australia, s.n., pp. 2514-2521.
- Santos, P. d. & Rodrigues, R., n.d. Condutibilidades térmicas. In: *ITE 50*. Lisboa: s.n., pp. I.3-I.10.
- Sartori, I. et al., 2010. *Criteria for definition of net zero energy buildings*. Graz, Austria, s.n.
- Sartori, I., Napolitano, A. & Voss, K., 2012. Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*, Maio, Volume 48, pp. 220-232.
- Save age, n.d. *Save age*. [Online] Available at: <http://www.saveage.eu/index.php/pt/resumo> [Accessed 13 Outubro 2019].
- Secretário de Estado da Energia, 2013. Portaria n.o 349-B/2013. *Diário da República*, 29 Novembro, Volume 232, pp. 6624-(18-29).
- Segurado, R. & Pereira, S., 2017. *Matriz Energética e de Emissões de Gases de Efeito de Estufa do Concelho de Cascais*, Lisboa: Centro de Energia e Dinâmica de Fluidos e Instituto de Engenharia Mecânica - Pólo Instituto Superior Técnico.
- Segurança Social, 2011. *Recomendações Técnicas para Equipamentos Sociais – Lares de Idosos*. s.l.:s.n.
- Solargis, 2016. *Solargis*. [Online] Available at: <https://solargis.info/imaps/#loc=37.385218,-122.11413&c=37.385218,->

- [122.11413&z=15](#)
[Accessed 15 Setembro 2019].
- Solargis, n.d. *Tech Specs*. [Online]
Available at: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/tech-specs>
[Accessed Agosto 2019].
- Teske, S., Nagrath, K., Morris, T. & Dooley, K., 2019. Renewable Energy Resource Assessment. In: *Achieving the Paris Climate Agreement Goals*. Sydney: Springer Nature Switzerland AG, pp. 161-173.
- The American Institute of Architects, n.d. *The David and Lucile Packard Foundation Headquarters*. [Online]
Available at: <https://www.aiatopten.org/node/403>
[Accessed 15 Setembro 2019].
- Tienda solar, n.d. *Solar panel 190 WP 24V SCL 190P*. [Online]
Available at: <https://tienda-solar.es/en/solar-panels/photovoltaic-panels/solar-panel-190wp-24v-scl-190p-.html>
[Accessed 15 Outubro 2019].
- Toosolar, n.d. *Inverter / Charger Studer C 2600-24*. [Online]
Available at: https://toosolar.it/en_uk/inverter-caricabatteria-studer-c-2600-24.html
[Accessed 20 Outubro 2019].
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M. & Crawley, D., 2006. *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. Pacific Grove, California, American Council for an Energy-Efficient Economy, pp. 275-286.
- Tumanova, K. & Borodinecs, A., 2018. Analysis of centralized hot tap water systems calculation's specifics. *MATEC Web of Conferences*, 5 Dezembro, p. 8.
- United Nations, 2019. *World Population Prospects 2019*. [Online]
Available at:
[https://population.un.org/wpp/Download/Files/2_Indicators%20\(Probabilistic%20Projections\)/UN_PPP2019_Output_PopTot.xls](https://population.un.org/wpp/Download/Files/2_Indicators%20(Probabilistic%20Projections)/UN_PPP2019_Output_PopTot.xls)
[Accessed Agosto 2019].

- Voss, K. & Musall, E., 2013. Corporate Headquarters. In: C. Hellstern, K. Ahrend & J. Rackwitz, eds. *Net Zero Energy Buildings: International projects of carbon neutrality in buildings*. Munique: Detail Green Books, pp. 120-124.
- Voss, K., Musall, E. & Lichtmeß, M., 2011. From Low-Energy to Net Zero-Energy Buildings: Status and Perspectives. *Journal of Green Building*, Volume 6 (1), pp. 46-57.
- Wang, L., 2014. *Herzog & de Meuron Wins Bid to Design Nature-Infused Hospital in Denmark*. [Online]
Available at: <https://inhabitat.com/herzog-de-meuron-wins-bid-to-design-nature-infused-hospital-in-denmark/>
[Accessed 4 Outubro 2019].