



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**

**Integração de energias renováveis na reabilitação de  
edifícios em zonas históricas**

**GUSTAVO VAZ FERREIRA**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil  
Área de especialização em edificações

Orientadores:

Professor Doutor Carlos Manuel de Moura Penim Loureiro ADEC/ISEL  
Professor Doutor Nuno Alexandre Soares Domingues ADEM/ISEL

Juri:

Presidente: Doutor Filipe Manuel Vaz Pinto Almeida Vasques ADEC/ISEL

Vogais:

Doutor Manuel Duarte Pinheiro IST  
Doutor Carlos Manuel de Moura Penim Loureiro ADEC/ISEL

**Julho 2021**



## AGRADECIMENTOS

Aos Doutores Carlos Manuel de Moura Penim Loureiro e Nuno Alexandre Soares Domingues, orientadores desta dissertação, por terem aceitado como orientado, pelas orientações valiosas e ao respeito com as dificuldades encontradas pelos estrangeiros no meio acadêmico.

A todos os professores que tive contato em minha vida escolar e acadêmica, todos contribuíram para minha formação pessoal, acadêmica e profissional para chegar até este momento.

Ao apoio de toda minha família, que mesmo distante nestes últimos anos, foram fundamentais para o alcance deste nobre objetivo, em especial minha irmã e meus pais amados.

Aos colegas do mestrado que em conjunto nos apoiamos nos momentos de ansiedade e dificuldade durante o curso.



## RESUMO

O desenvolvimento de diversas tecnologias de produção de energia sustentável e a sua disponibilidade em mercado, permitem que nos dias de hoje seja possível ter sistemas mais eficientes, com menor impacto ambiental e com maior valorização dos recursos endógenos. Os sistemas sustentáveis de geração de energia elétrica e calor, podem ser aplicados na maioria dos edifícios, além das vantagens energéticas destes sistemas sustentáveis, estes requerem modestos acréscimos de investimento. Porém, existem situações em que a sua implementação simples não é possível, como e o caso dos edifícios antigos classificados como património histórico edificado, edifícios com limitações estruturais para os equipamentos de geração e edifícios cuja característica visual é de grande valor. O presente trabalho surge da importância dos sistemas sustentáveis de energia e o conflito com as suas dificuldades de implementação.

O trabalho expõe conceitos e apresenta alguns dos sistemas de geração de energia sustentável através das fontes renováveis do vento, do Sol, da geotermia e da biomassa. Expõe os seus sistemas de conversão da fonte energética primária em geração de calor e de energia elétrica, o funcionamento dos sistemas face ao consumo, as tecnologias presentes no mercado e as suas taxas de potência e eficiência. Para exemplificar esta problemática são abordados alguns casos de edifícios patrimónios passíveis de reabilitação, para levantamento das possibilidades de implantação de cada tecnologia de geração de energia sustentável. Apresentando as necessidades de instalação para cada tecnologia e a análise da possibilidade de instalação nos edifícios escolhidos. Por fim, apresenta o resultado e a análise da viabilidade técnica e social do estudo.

Pretende-se que o carácter pioneiro do tema da dissertação contribua para o crescimento da sustentabilidade na reabilitação de edifícios antigos, para a modernização destes edifícios, atendendo as necessidades da sociedade contemporânea, sempre respeitando o património edificado das cidades. Contribui, igualmente, para o meio académico com a sugestão de novas tecnologias que precisam ser desenvolvidas, no setor das energias endógenas, específicas para a reabilitação destes edifícios.

**Palavras-chave:** Energias endógenas; fontes renováveis; reabilitação; património histórico edificado, limitações técnicas.



## ABSTRACT

The development of several technologies for the production of sustainable energy and their availability in the market, makes possible to have more efficient systems today, with less environmental impact and greater appreciation of endogenous resources. Sustainable systems for generating electricity and heat can be applied to most buildings, in addition to the energy advantages of these sustainable systems, they require modest investment increases. However, there are situations in which its simple implementation is not possible, for example, old buildings classified as historical heritage, buildings with structural limitations for generation equipment and buildings whose visual characteristics are of great value. The present work increases the importance of sustainable energy systems and the conflict with their implementation difficulties.

The work exposes concepts and presents some of the sustainable energy generation systems through renewable sources of wind, sun, geothermal and biomass. It exposes systems for converting the organic energy source into heat and electricity generation, a coordination of systems aimed at consumption, such as technologies present on the market and their power and efficiency rates. To exemplify this problem, some cases of a patrimonial building that can be rehabilitated are presented, in order to survey the possibilities of implementing each sustainable energy generation technology. Presenting as installation requirements for each technology and analysis of the possibility of installation in the chosen building. Finally, the result and an analysis of the technical and social feasibility of the study.

The dissertation, with its pioneering spirit on the subject, contributes to the growth of sustainability in the rehabilitation of old buildings, to the modernization of these buildings, meeting the needs of contemporary society, always respecting the built heritage of cities. It also contributes to the academic environment with the suggestion of new technologies that need to be developed, in the sector of endogenous energies, specific for the rehabilitation of these buildings.

**Keywords:** Endogenous energies; renewable sources; rehabilitation; built historical heritage; limitações técnicas.



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Apresentação do Problema	4
1.2	Motivação	6
1.3	Objetivos	6
1.4	Metodologia	7
1.5	Estrutura do Trabalho Final de Mestrado	7
<b>2</b>	<b>NOÇÕES BÁSICAS</b>	<b>9</b>
2.1	Património Histórico	9
2.1.1	Princípios e Conceitos Contemporâneos de Preservação do Património	9
2.1.2	Reabilitação	15
2.1.3	Cenário em Portugal	15
2.1.4	As Energias Renováveis na Reabilitação	17
2.2	Energia Solar	19
2.3	Energia Eólica	24
2.4	Energia Geotérmica	29
2.5	Energia de Biomassa	32
2.6	Considerações Gerais	35
<b>3</b>	<b>ANÁLISE DAS EDIFICAÇÕES EM ZONAS HISTÓRICAS</b>	<b>37</b>
3.1	Tipologias dos Edifícios Antigos	37
3.1.1	Edifícios Pombalinos	37
3.1.2	Sistema Construtivo Pombalino	38
3.1.3	Edifícios Gaioleiros	39
3.1.4	Sistema Construtivo Gaioleiro	40
3.1.5	Edifícios de Estrutura Mista	41
3.1.6	Sistema Construtivo Estrutura Mista	42
3.1.7	Síntese dos Sistemas Construtivos Correntes	44
3.2	Gestão da Reabilitação	48
3.3	Limitações e Dificuldades	50
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS</b>	<b>53</b>
4.1	Sistemas de Geração Comuns	53
4.2	Tecnologias em Desenvolvimento	61
4.3	Soluções Alternativas para a Reabilitação	65
4.3.1	Instalação de OPV em Portadas Interiores	65
4.3.2	Instalação de OPV em Claraboias	66
4.3.3	Pintura de Telhas Fotovoltaicas	69
4.3.4	Instalação de OPV em Tubos Solares	70

4.3.5 Placas Fotovoltaicas em Coberturas de Chaminés .....	72
4.4 Tabela de Auxílio.....	73
<b>5 ESTUDO DE CASOS .....</b>	<b>77</b>
5.1 Edifícios Escolhidos.....	77
5.1.1 Estudo de Caso 01 .....	77
5.1.2 Estudo de Caso 02 .....	79
5.2 Justificativas das Escolhas .....	81
5.2.1 Estudo de Caso 01 .....	81
5.2.2 Estudo de Caso 02.....	81
5.3 Caracterização dos Edifícios.....	82
5.3.1 Estudo de Caso 01 .....	82
5.3.2 Estudo de Caso 02.....	85
5.4 Situação Atual do Edifício .....	90
5.4.1 Estudo de Caso 01 .....	90
5.4.2 Estudo de Caso 02 .....	96
5.5 Sistemas Energéticos Sugeridos.....	97
5.5.1 Estudo de Caso 01 .....	97
5.5.2 Estudo de Caso 02 .....	104
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>113</b>
6.1 Desenvolvimentos Futuros.....	115
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>117</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Variação do preço do barril de petróleo na última década.....	2
Figura 1.2 – Potencial fotovoltaico de Portugal.....	4
Figura 1.3 – Temperaturas médias no inverno e verão de Portugal.....	5
Figura 1.4 - Intensidade do vento em Portugal.....	5
Figura 2.1 - Torre de São Vicente de Belém, classificado como Monumento Mundial.....	13
Figura 2.2 - Edifício Praça Dq. de Saldanha, classificado como Imóvel de Interesse Público .	14
Figura 2.3 - Edifício antigo em Lisboa, património edificado corrente.....	14
Figura 2.4 - Gráfico da tipologia das estruturas das construções.....	16
Figura 2.5 - Gráfico do estado de conservação dos edifícios antigos.....	16
Figura 2.6 – Exemplos de sistemas heliotérmicos.....	19
Figura 2.7 – Estrutura e vista frontal de uma célula solar de silício cristalino.....	20
Figura 2.8 – Estrutura típica de um painel de 1ª geração.....	21
Figura 2.9 – Estrutura típica de uma célula de 2ª geração.....	22
Figura 2.10 – Película delgada fotovoltaica.....	22
Figura 2.11 – Esquema de um sistema de geração isolado.....	23
Figura 2.12 – Integração de sistema fotovoltaico na arquitetura do edifício.....	24
Figura 2.13 – Moinho de vento dos Países Baixos.....	25
Figura 2.14 – Moinhos de vento de diferentes tipos em Alcabideche, Portugal.....	25
Figura 2.15 – Rotores de eixo vertical.....	26
Figura 2.16 – Detalhe de uma turbina de eixo horizontal.....	27
Figura 2.17 - Sistema de uma microturbina.....	28
Figura 2.18 – Esquema de aquecimento residencial geotérmico.....	30
Figura 2.19 – Esquema de uma central geotérmica.....	31
Figura 2.20 - Diferentes utilizações da madeira como biomassa.....	33
Figura 2.21 – Fogão/forno com uso de biomassa.....	33
Figura 2.22 – Aquecimento de água com uso de biomassa.....	34
Figura 2.23 – Aquecimento de ar com uso de biomassa.....	34
Figura 3.1 – Arquétipo estrutural pombalino.....	39
Figura 3.2 – Arquétipo estrutural gaioleiro.....	41
Figura 3.3 – Arquétipo estrutural dos edifícios de madeira/placa.....	43
Figura 3.4 – Arquétipo estrutural dos edifícios de placa.....	44
Figura 3.5 – Fundações correntes em edifícios antigos.....	45
Figura 3.6 – Esquema dos tipos de interferências.....	48

Figura 3.7 – Vista área da baixa de Lisboa a partir do Castelo de São Jorge, com pormenor para os telhados.....	52
Figura 4.1 – Painel solar Tiger Pro.....	55
Figura 4.2 – Película fotovoltaica aplicada em vidro.....	56
Figura 4.3 – Linha de aerogeradores WINDEFORCE.....	57
Figura 4.4 – Modelo Dolphin200DC da TESUP.....	57
Figura 4.5 – Aerogerador ATLAS2.0.....	58
Figura 4.6 – Aerogerador ATLASX.....	59
Figura 4.7 – Exemplo de inversor.....	59
Figura 4.8 – Bateria Powerwall da Tesla.....	60
Figura 4.9 – Controlador de carga e medidor bidirecional.....	61
Figura 4.10 – Professor Richard Lunt e o vidro fotovoltaico transparente.....	62
Figura 4.11 – Tecnologia das películas Wysips.....	62
Figura 4.12 – Telhas fotovoltaicas da TESLA texturizada.....	63
Figura 4.13 – Telhas fotovoltaicas Eternit.....	63
Figura 4.14 – “Turbina” eólica Vortex Bladeless.....	64
Figura 4.15 – Portada interior de janela com OPV.....	65
Figura 4.16 – Claraboia com OPV.....	67
Figura 4.17 – Claraboia com OPV linha SUNEW FLEX no Shopping Bahia.....	68
Figura 4.18 – Hipótese de telha fotovoltaica pintada.....	69
Figura 4.19 – Tubo Solar TS400 da empresa Chatron.....	70
Figura 4.20 – Hipótese de tudo solar com OPV.....	71
Figura 4.21 – Tipos diferentes de chaminés.....	72
Figura 5.1 – Edifício escolhido.....	78
Figura 5.2 – Localização e envolvente do edifício.....	79
Figura 5.3 – Fachada do conjunto habitacional em estudo.....	80
Figura 5.4 – Localização e envolvente dos edifícios.....	80
Figura 5.5 – Projeto inicial do edifício.....	82
Figura 5.6 – Projeto de ampliação do edifício.....	83
Figura 5.7 – Planta Piso 00 existente.....	86
Figura 5.8 – Planta Piso 01 existente.....	87
Figura 5.9 – Planta Piso 02 existente.....	88
Figura 5.10 – Revestimento presente no interior do edifício.....	89
Figura 5.11 – Edifício 01 em amarelo, Edifício 02 em azul.....	90
Figura 5.12 – Edifício após a reabilitação.....	91
Figura 5.13 – Projeto da cave do edifício.....	92
Figura 5.14 – Projeto do rés-de-chão do edifício.....	93

Figura 5.15 – Projeto do piso tipo.....	94
Figura 5.16 – Projeto dos dois últimos pisos. ....	95
Figura 5.17 – Corte transversal do edifício.....	95
Figura 5.18 - Patologias no conjunto edificado. ....	96
Figura 5.19 – Edifício em análise, em vermelho e os seus vizinhos.....	97
Figura 5.20 – Edifício em análise e os seus vizinhos.....	98
Figura 5.21 – Portadas interiores da fachada principal. ....	98
Figura 5.22 – Caixilharia nova do edifício.....	99
Figura 5.23 – Nova estrutura das varandas. ....	99
Figura 5.24 – Portada interior da fachada posterior. ....	100
Figura 5.25 – Nova ocupação do sótão. ....	100
Figura 5.26 – Cobertura da chaminé.....	101
Figura 5.27 – Miradouros próximos do edifício. ....	102
Figura 5.28 – Sugestão de instalação do ATLAS2.0. ....	102
Figura 5.29 – Jardim do edifício. ....	103
Figura 5.30 – Proposta para o Piso 00.....	104
Figura 5.31 – Proposta para o Piso 01.....	105
Figura 5.32 – Proposta para o Piso 02.....	106
Figura 5.33 – Construções na envolvente do Caso 02 .....	107
Figura 5.34 – Corte CD do original e da proposta de reabilitação.....	108
Figura 5.35 – Opção de área para instalação de OPV.....	109
Figura 5.36 – Opções para as novas coberturas. ....	110
Figura 5.37 – Opção de aerogerador na cobertura nova. ....	111



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Dados globais de geração de energia. ....	1
Tabela 3.1 – Sistemas construtivos correntes em edifícios antigos. ....	47
Tabela 4.1 – Características da instalação de OPV em portadas interiores. ....	66
Tabela 4.2 – Características da instalação de OPV em claraboias. ....	68
Tabela 4.3 – Características da pintura de telhas fotovoltaicas. ....	69
Tabela 4.4 – Características da instalação de OPV em tubos solares. ....	71
Tabela 4.5 – Características da instalação de placas fotovoltaicas em chaminés. ....	73
Tabela 4.6 – Tabela de apoio para uma reabilitação. ....	73
Tabela 5.1 – Características da estrutura do edifício. ....	83
Tabela 5.2 – Resumo dos sistemas sugeridos Caso 01. ....	103
Tabela 5.3 – Resumo dos sistemas sugeridos Caso 02. ....	111



## SIMBOLOGIA

°C	Grau Celsius
°C/km	Grau Celsius por quilômetro
€	Euro
\$	Dólar
%	Porcentagem
a-Si	Silício amorfo
Art.	Artigo
CdTe	Telúrio de cádmio
CIGS	Disseleneto de cobre-índio-gálio
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
dB	Decibéis
ft	Pés
h	Altura
km	Quilômetro
TW	Tera Watts
TW/h	Tera Watts por hora
kg	Quilogramas
kg/m <sup>2</sup>	Quilogramas por metro quadrado
kW	Quilo Watts
kW/m <sup>2</sup>	Quilo Watts por metro quadrado
kWh	Quilo Watts hora
kWh/kWp	Quilo Watts hora por quilo Watts pico
kWh/m <sup>2</sup>	Quilo Watts hora por metro quadrado
kWp	Quilo Watts pico
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
mm	Milímetro
m/s	Metro por segundo
n <sup>o</sup>	Número
n.d.	Não datado
p.	Página
p-n	Tipo de junção entre dois semicondutores
W	Watts
W/m <sup>2</sup>	Watts por metro quadrado



## SIGLAS

BCG	Bomba de Calor Geotérmico
BP	British Petroleum (Petróleo Britânico)
CSP	Concentrate Solar Power (Energia Solar Concentrada)
DGPC	Direção Geral do Património Cultural de Portugal
EPB	Energy Plus Buildings (Edifícios de Mais Energia)
ESMAP	Energy Sector Management Assistance Program (Programa de Assistência à Gestão do Setor de Energia)
EVA	Espuma Vinílica Acetinada
ICOMOS	International Council of Monuments and Sites (Conselho Internacional de Monumentos e Sítios)
IHRU	Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana
ISEL	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
NZEB	Nearly Zero Energy Buildings (Edifícios de Energia Quase Zero)
nZEB	Net Zero Energy Buildings (Edifícios de Energia Zero)
FV	Fotovoltaico
OPV	Organic Photovoltaic (Fotovoltaico Orgânico)
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RGEU	Regulamento Geral de Edificações Urbanas
SIM	Serviço Internacional de Museus
TFM	Trabalho Final de Mestrado
UNESCO	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura)
UPAC	Unidade de Produção em Autoconsumo
UPP	Unidade de Pequena Produção
USB	Universal Serial Bus (Porta Serial Universal)



# 1 INTRODUÇÃO

A vitalidade e a prosperidade da economia e da sociedade tecnológica global dependem da existência de fontes de energia. As fontes de energia são recursos naturais ou artificiais, utilizados para realização de trabalho, estas fontes de energia podem ser classificadas em renováveis e não renováveis. Estas primeiras, são aquelas em que a fonte é considerada inesgotável, pois se renova naturalmente, como, por exemplo a energia solar, a segunda se refere às fontes que são consideradas esgotáveis, como os combustíveis fósseis.

De acordo com a 69ª edição do relatório Revisão Estatística da Energia Mundial, da BP Energy Economics (2020), a geração de energia elétrica entre 2009 e 2019 cresceu 33,26 %, somente em 2019 houve um acréscimo de 1,32 %, devido ao aumento do consumo de energia elétrica, causado pelo crescimento populacional no planeta, a expansão tecnológica e a maior necessidade de produção de bens, alimentos e serviços. O relatório da BP traz dados do consumo energético mundial com as principais fontes de energia para geração de energia elétrica, adaptado na Tabela 1.1 (BP Energy Economics, 2020).

Tabela 1.1 – Dados globais de geração de energia (adaptado de BP Energy Economics, 2020).

Geração de Energia por Combustível em 2019								
(TW/hora)	Petróleo	Gás Natural	Carvão Mineral	Energia Nuclear	Energia Hídrica	Renováveis	Outras	Total
Mundo	825,3	6297,9	9824,1	2796,0	4222,2	2805,5	233,6	27004,7
	3,05%	23,33%	36,38%	10,35%	15,64%	10,38%	0,87%	100,0%

Os combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e o carvão mineral) são as principais fontes energéticas para produção de eletricidade no mundo (62,76% do modal energético), esses combustíveis são fortes impactantes na produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no planeta, conforme o relatório da BP em 2019 foram emitidos 34.169,0 milhões de toneladas, 14,87 % superior à emissão em 2009.

Além dos problemas ambientais gerados pela emissão de CO<sub>2</sub>, os combustíveis fósseis geram problemas políticos, sociais e econômicos, guerras são geradas com motivações de posses de reservas de petróleo, embargos econômicos são aplicados e afetam a vida de sociedades inteiras, aumentam o custo de vida e consequentemente aumentam a pobreza. A definição do preço do petróleo é responsabilidade dos próprios produtores de petróleo, o que gera grande oscilação no preço (Figura 1.1), criando assim incertezas na economia e influenciando políticas sociais, além de ser naturalmente uma fonte energética finita.

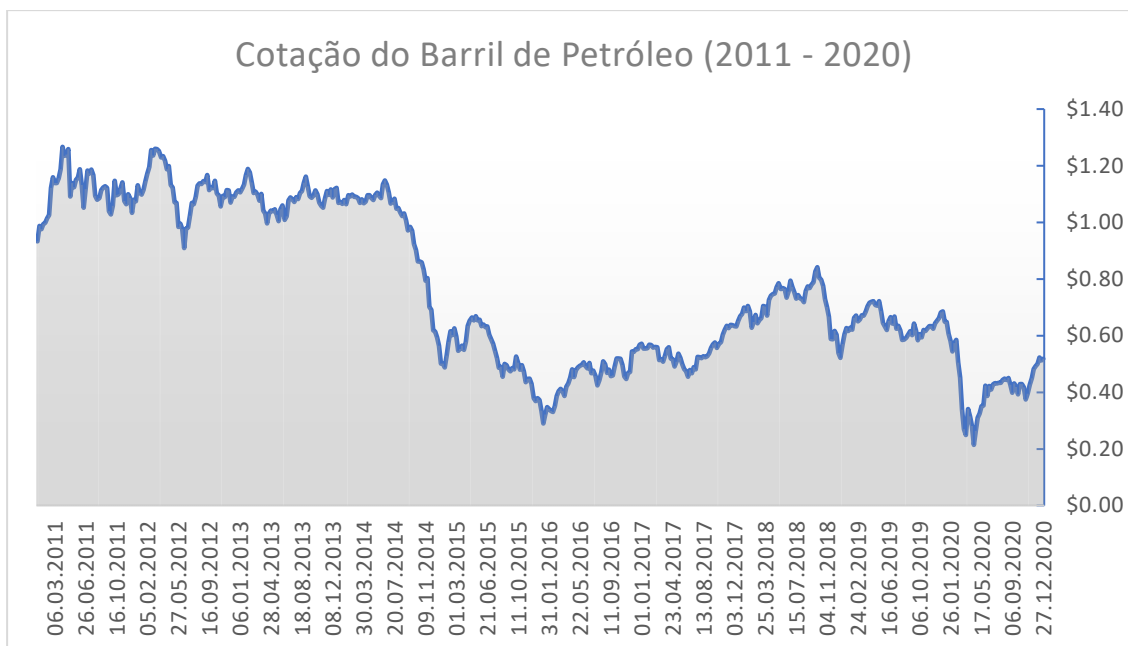


Figura 1.1 – Variação do preço do barril de petróleo na última década (adaptado de Investing.com, 2021).

As dificuldades, citadas anteriormente, incentivam e geram políticas para criação e produção de energias por outras fontes, mais constantes, de preferência ilimitada, ou renovável, fontes de energias que não favorecem as alterações climáticas, que tornem os países autossuficientes sem dependerem de importação energética, que sejam mais controláveis e gere progresso social, económico e ambiental. Como principalmente as fontes de energia solar, eólica, hídrica, dos oceanos, biomassa e geotérmica, que são objeto de estudo neste trabalho.

Além das grandes centrais produtoras de energia elétrica por fontes renováveis que abastecem as cidades, há também o interesse e a produção de tecnologia para as Unidades de Pequena Produção (UPP) e Unidade de Produção em Autoconsumo (UPAC). Os edifícios comerciais, através da maior capacidade financeira das empresas, são os grandes incentivadores e pioneiros na produção de tecnologias para pequenas gerações de energia em meios urbanos, para autoconsumo, criando ou adaptando espaços em seus edifícios para produção de energia renovável.

Os novos edifícios, já nas suas conceções, podem facilmente incorporar as tecnologias de geração de energia e de calor, sendo projetados para serem edifícios bioclimáticos que aproveitam o clima local da maneira mais eficiente, para não só poupar o consumo de energia elétrica, como também ser capaz de produzir e em alguns casos distribuir energia na rede pública quando for excedente. Estes podem facilmente, desde a sua construção, serem classificados como NZEB (Near Zero Energy Buildings), ou nZEB (net Zero Energy Buildings) ou EPB (Energy Plus Buildings), respetivamente, são edifícios com balanço energético quase nulo, saldo nulo no consumo de energia e com saldo positivo.

Para atingir as metas de tornar um edifício NZEB como pretende o Decreto-Lei 101-D/2020 para certificação energética de edifícios, é primeiramente necessário implantar no edifício medidas passivas de isolamento térmico, coletor solar, iluminação natural, ventilação natural, ou seja, de aproveitamento bioclimático, em conjunto com equipamentos eficientes e hábitos que reduzem o consumo de energia elétrica, não sendo isto suficiente, parte-se para a instalação de equipamentos de geração de energia elétrica por fontes renováveis para tentar anular o saldo energético, ou torná-lo positivo.

Os edifícios antigos pelos critérios da legislação para classificação energética, acabam em maioria por terem uma classe energética baixa, mesmo possuindo sistemas construtivos com bom comportamento energético, como por exemplo, as espessas paredes que são excelentes isolantes térmicos. Por isso, a tentativa de incorporar a produção de energia elétrica neste tipo edifício é fundamental para colaborar com uma melhor classificação energética, logo, valorizar o património edificado.

Infelizmente, há um grupo de edifícios que apresentam singular limitação quanto ao uso de tecnologias de geração de energia renovável, são os edifícios ou em zonas, ou os próprios classificados como património histórico, arquitetónico, construído ou paisagístico, que de acordo com a Direção-Geral do Património Cultural de Portugal (DGPC), este tipo de património engloba “os aspetos do meio ambiente resultantes da interação entre as pessoas e os lugares através do tempo, é um recurso de importância vital para a identidade coletiva e um fator de diferenciação e de valorização territorial que importa preservar e legar para as gerações futuras” (Direção-Geral do Património Cultural, 2020).

O Decreto-Lei n.º 95/2019 de 18 de julho que estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas, diz no seu Artigo 4º que “a proteção e valorização das construções existentes assenta no reconhecimento dos seus valores: artísticos ou estéticos; científicos ou tecnológicos; e socioculturais”, ou seja, é necessário a preservação das características arquitetónicas e estéticas dos edifícios e das zonas históricas.

Os edifícios que portam uma bagagem cultural, histórica e social, classificados como património ou não, devem ser preservados e respeitados, a sua estética representa a imagem e as características visuais de uma sociedade, eles contribuem com a construção da identidade de um lugar. Assim, há diversas restrições quanto as alterações feitas durante a reabilitação de um edifício, em relação aos materiais utilizados, as técnicas que serão usadas para reabilitar e as conceções dos projetos. Essas restrições também limitam ou impossibilitam a implantação de energias renováveis na reabilitação destes edifícios, para geração de energia elétrica.

## 1.1 Apresentação do Problema

A limitação legal, estética, arquitetónica, estrutural e de tecnologias nos edifícios em zonas classificadas como património (ou o próprio edifício isolado tido como património), reduz consideravelmente a possibilidade de incorporação de sistemas de geração de energia elétrica por fontes renováveis. São edifícios com sistemas construtivos antigos, alguns frágeis, com muitos materiais que já estão em desuso e peças artesanais impossíveis de serem repostas.

Os sistemas de geração de energia solar, eólica e geotérmica, precisam que alguns equipamentos estejam em contacto direto com as fontes primárias de energia (respetivamente os raios do Sol, os ventos e o solo), logo, há a necessidade de instalação destes equipamentos no exterior das edificações, afetando sua estética e exercendo um acréscimo de esforços na estrutura. Existem diversas outras limitações para as demais fontes de energia, que serão descritas nos próximos capítulos deste trabalho.

Por outro lado, Portugal possui, geograficamente, grandes motivações para implementar a geração de energia renovável, existem ótimas fontes de energias primárias no seu espaço territorial. O país possui grande potencial solar térmico e consequentemente, grande potencial fotovoltaico ultrapassando os 1680 kWh/kWp (Figura 1.2 e Figura 1.3), presença de ventos constantes de bom aproveitamento para geração de energia eólica (Figura 1.4) e boa geotermia superficial dos solos (Solargis, 2018) (Casadinho, 2014).



Figura 1.2 – Potencial fotovoltaico de Portugal (Mapa de recursos solares © 2019 Solargis).

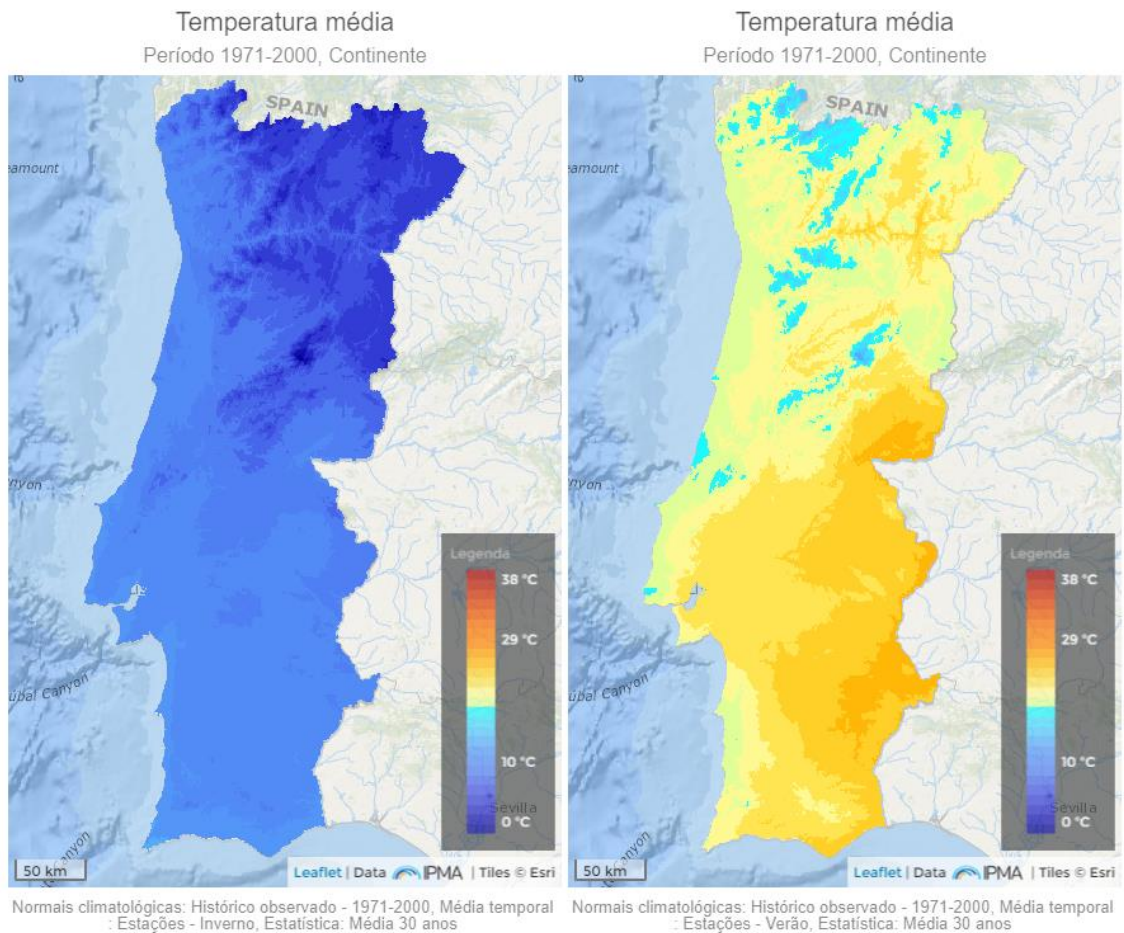


Figura 1.3 – Temperaturas médias no inverno e verão de Portugal (fonte: www.portaldoclima.pt).

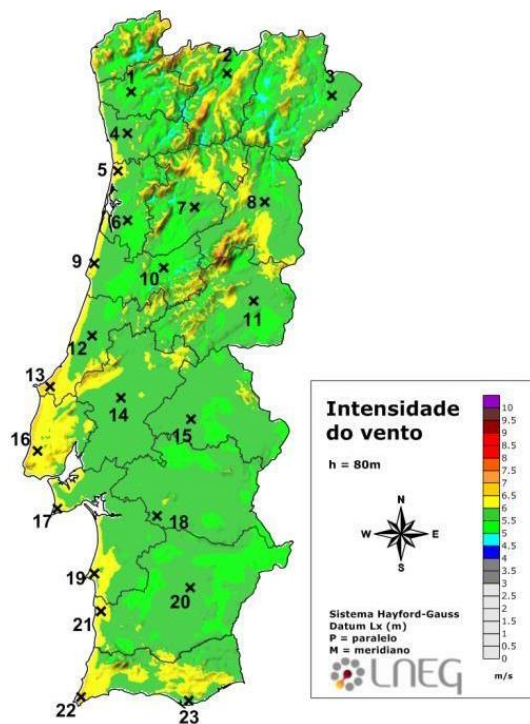


Figura 1.4 - Intensidade do vento em Portugal (Casadinho, 2014).

Em resumo, há limitações tecnológicas quanto às necessidades deste grupo de edifícios em se tornarem NZEB, ou até mesmo, ter qualquer quantidade de produção de energia renovável. Eis a necessidade de pesquisar sobre tecnologias e técnicas que possam resolver ou minimizar este problema, permitindo manter as características originais, ou dos edifícios, ou das zonas e serem capazes de gerar energia elétrica por fontes renováveis.

## **1.2 Motivação**

A principal motivação deste trabalho vem da tentativa de contribuir para uma engenharia civil mais consciente e sustentável. Sabendo que a indústria da construção é uma das que mais queima combustíveis fósseis, tentar aumentar o uso de energias renováveis em qualquer seguimento da engenharia civil é uma atitude nobre e de grande valor. A vontade de tornar o planeta um lugar mais habitável já seria uma motivação suficiente para o estudo deste trabalho, porém, também se acrescenta aqui a admiração pelas construções antigas, onde o conhecimento e as tecnologias eram rudimentares, porém, o resultado era construções únicas, verdadeiras obras de arte que precisam ser valorizadas e reabilitadas.

## **1.3 Objetivos**

Em face da problemática explicada no item anterior deste trabalho, no intuito de aprofundar apenas nos sistemas de geração de energia elétrica, em reabilitações de edifícios de forma individual, pois grande parte das reabilitações são particulares, os objetivos principais nesta pesquisa são:

- Encontrar e classificar as limitações que os edifícios, considerados patrimónios, possuem em relação à instalação de sistemas de geração de energia por fontes renováveis.

- Encontrar e classificar sistemas de geração de energia por fontes renováveis que se adaptem às necessidades dos edifícios em zonas históricas.

- Encontrar uma metodologia que possa ser utilizada no meio profissional para orientação de arquitetos e engenheiros, em relação às possibilidades de utilização de energia renovável em reabilitações de edifícios em zonas históricas.

- Avaliação da possibilidade de criação de nova tecnologia ou técnica de instalação de sistemas de geração de energia, por fontes renováveis, para edifícios antigos.

Neste trabalho foi privilegiada a componente qualificadora na introdução de energia renovável na reabilitação em detrimento da vertente quantificadora, assim, não serão aprofundadas as questões de cálculos estruturais, dimensionamento de sistemas de geração de

energia e custos financeiros de produção de energia ou de reabilitação de edifícios. Será apresentado, apenas para efeito comparativo, o custo por potência de alguns equipamentos.

## **1.4 Metodologia**

Para o desenvolvimento deste trabalho e cumprimento dos objetivos, o primeiro passo constituiu na pesquisa na literatura sobre os principais assuntos deste tema, os patrimónios históricos, a reabilitação e as energias renováveis. Os conceitos básicos e o histórico internacional sobre a preservação do património foram estudados e apresentados neste trabalho com maior ênfase nos conceitos e documentos contemporâneos mais relevantes para este trabalho. É pesquisado e mostrada noções básicas sobre a reabilitação dos edifícios antigos com as principais etapas na gestão deste tipo de obra, a considerar a situação no cenário nacional.

As energias renováveis são separadas pelas fontes de cada tipo energético com a explicação da tecnologia necessária para cada fonte ser convertida em eletricidade, já nesta fase é apresentada qual energia é viável ser considerada como uma solução plausível para ser introduzida na reabilitação dos edifícios antigos. Neste trabalho, apenas a energia solar e a energia eólica acabam sendo consideradas como possíveis soluções.

Pela sua representatividade no universo edificado no território português, com fim ao estudo da caracterização dos edifícios antigos, foram consideradas as tipologias construídas entre 1755 e 1960, com a pesquisa das principais características arquitetónicas e quais as principais patologias encontradas nestes edifícios, a partir disto levantado as suas limitações.

Os principais fabricantes de equipamentos para energia solar e eólica são pesquisados para seleção de quais equipamentos possuem melhor desempenho dentro das limitações dos edifícios, com redução do impacto visual, sem danificar o edifício ou o seu valor histórico. Sendo os mais relevantes os aerogeradores de eixo vertical e as películas orgânicas fotovoltaicas.

E por fim, são escolhidos edifícios antigos com valor patrimonial reconhecido, em zonas históricas de Lisboa, tipo “gaioleiro” e “seiscentistas”, que já foram alvo de trabalhos de mestrado e pós-graduação sobre reabilitação, estes históricos são apresentados e então acrescentado como poderiam ter sido introduzidas as energias renováveis nestes imóveis nas suas propostas de reabilitação, respeitando os regulamentos vigentes.

## **1.5 Estrutura do Trabalho Final de Mestrado**

Este Trabalho Final de Mestrado é constituído por seis capítulos, sendo os mesmos:

- Capítulo 1 – Introdução: É apresentado um enquadramento geral sobre o tema, os contextos das energias, da produção de energia e da reabilitação de edifícios. Também a problemática, a justificação e a motivação da pesquisa, os seus objetivos e a metodologia.
- Capítulo 2 – Noções Básicas: É apresentada uma pesquisa bibliográfica relativa aos patrimónios históricos, legislação sobre reabilitação, patologias e tecnologias de construções antigas, princípios da energia solar, energia eólica, energia geotérmica e outras energias renováveis.
- Capítulo 3 – Análise das Edificações em Zonas Históricas: Neste capítulo é caracterizada a tipologias dos edifícios antigos estudados neste trabalho, discriminando as possíveis limitações presentes nos edifícios em zonas considerados património e que são relevantes para o estudo de uma solução para a problemática proposta. Alguma limitação estrutural ou técnica existente e a análise da envolvente destes edifícios.
- Capítulo 4 – Análise dos Sistemas Energéticos: Neste capítulo é discriminado, após pesquisa, as possíveis tecnologias já presentes no mercado nacional ou internacional e que são relevantes para o estudo da solução da problemática proposta. É também neste capítulo pensado e pesquisada soluções não convencionais de instalação dos sistemas já existentes.
- Capítulo 5 – Estudo de Casos: Neste capítulo são apresentados dois edifícios em Lisboa passíveis de reabilitação e que se enquadrem como um edifício que seja património, são então, apresentadas as suas características relevantes, suas limitações e por fim implementados os resultados das pesquisas dos capítulos anteriores deste trabalho. Neste capítulo também será apresentado o resultado das análises obtidas na aplicação das pesquisas em cada estudo de caso escolhido.
- Capítulo 6 – Conclusão: É aqui apresentada a conclusão da pesquisa realizada, os objetivos que foram alcançados, se o problema foi resolvido ou ainda persiste e proposta para novas investigações, ou orientações para pesquisas futuras sobre esta temática.

## **2 NOÇÕES BÁSICAS**

### **2.1 Património Histórico**

#### **2.1.1 Princípios e Conceitos Contemporâneos de Preservação do Património**

No contexto internacional, no século XV, é observado um renascimento da Antiguidade, durante expedições e conquistas territoriais, elementos das civilizações antigas eram recolhidos e eram valorizados por determinadas sociedades europeias, muito comum na época a utilizar na construção de edifícios novos a incorporação de elementos de ruínas ou de construções de outra região com determinado valor simbólico, este processo é denominado atualmente como anastilose simbólica. Começam assim as primeiras medidas para preservação dos monumentos, porém, com a mentalidade da época.

No século XIX, o restauro e a reabilitação ao património começam a ganhar forma com a ascensão dos conceitos e das teorizações sobre as metodologias que deveriam ser aplicadas. Neste contexto, destacou o arquiteto francês Viollet-le-Duc, que defendia a restauração integral do monumento. Contrário a este, o crítico de arte britânico Jonh Ruskin, defendia que a restauração não deveria ser feita, era melhor preservar as ruínas.

Ainda no cenário europeu do século XIX, aparece o arquiteto italiano Camillo Boito, que defendia a manutenção periódica das ruínas, a incorporação de elementos modernos deveria ser visível, deveria ser reconhecido o que era antigo e o que era novo no edifício e questionava Viollet-le-Duc quando não se tinha o conhecimento real de como era o edifício em restauro, podendo este nunca ter sido concluído. Por fim também se destacou o britânico William Morris, apoiava as ideias de Jonh Ruskin, menos radical, reconheceu a necessidade da função de cada construção e a necessidade de preservação dos conjuntos urbanos.

Viollet-le-Duc, Jonh Ruskin, Camillo Boito e William Morris, são alguns dos pensadores e personagens que escreveram os primeiros capítulos da história da preservação dos monumentos, da sua reabilitação e do seu restauro. Foram importantes e determinantes para os ideais e documentos posteriores que foram criados no século seguinte. Exclusivamente para este trabalho, os conceitos e documentos mais importantes, considerados mais contemporâneos, se iniciam com a Carta de Atenas (1931).

A Carta de Atenas (1931) traz as primeiras considerações e diretrizes efetivas para a conservação de patrimónios históricos, tendo em consideração o fator urbanístico das cidades, que na época estavam se modernizando. Em resumo, os seus princípios podem ser resumidos em: respeito pela obra histórica e artística do passado sem banir nenhum estilo; manutenção regular e

permanente; evitar reconstituições integrais e parciais; e ocupar os monumentos para melhorar a sua preservação (SIM, 1931).

No período após a Segunda Guerra Mundial, cidades e grandes zonas urbanas que foram destruídas, precisavam de intervenções, em alguns casos, reconstruções parciais, demolições e reconstruções totais, com sentimento de urgência, conforme a necessidade e capacidade de cada cidade. É neste contexto que se realiza em 1964, em Veneza, o IIº Congresso Internacional dos Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Nacionais, com objetivo de publicar uma nova carta que aumenta e altera alguns parâmetros de classificação de património arquitetónico, denominada “Carta de Veneza”.

A Carta de Veneza (1964) traz, no seu primeiro artigo, a importante definição do que é monumento histórico:

*“Art. 1º*

*A noção de monumento histórico engloba a criação arquitetónica isolada bem como o sítio rural ou urbano que testemunhe uma civilização particular, uma evolução significativa ou um acontecimento histórico. Esta noção estende-se não só às grandes criações, mas também às obras modestas que adquiriram com o tempo um significado cultural.”*

Outro artigo importante, da Carta de Veneza (1964), para esta pesquisa e que acolhe a problemática deste trabalho é o artigo quinto, em que relaciona a utilidade e o uso do monumento para benefício da sociedade e que possuem as suas necessidades variáveis ao longo do tempo, porém, sempre sem alterar a sua estética (ICOMOS, 1964):

*“Art. 5º*

*A conservação dos monumentos é sempre favorecida pela sua adaptação a uma função útil à sociedade: esta afectação é pois desejável mas não pode nem deve alterar a disposição e a decoração dos edifícios. É assim dentro destes limites que se devem conceber e que se podem autorizar as adaptações tornadas necessárias, exigidas pela evolução dos usos e dos costumes.”*

Este quinto artigo da carta deixa claro que a máxima prioridade é a preservação da sua forma original, do seu significado, cultural e histórica do edifício, se sobrepondo a qualquer necessidade de alteração ou utilização que a sociedade venha ter em relação a este edifício classificado com monumento histórico.

Ao longo do tempo vários documentos internacionais sobre o tratamento em relação aos patrimónios culturais, mundiais e naturais com interesse em proteção foram publicados. A Organização das Nações Unidas pela Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), em 1972, realiza a Convenção para a Proteção do Património Mundial, Cultural e Natural, na cidade de Paris nos meses de outubro e novembro. Motivados pela preocupação com a degradação dos patrimónios

culturais e naturais, nesta convenção é mais uma vez atualizado o conceito de património cultural (UNESCO, 1972).

*“Os monumentos. - Obras arquitectónicas, de escultura ou de pintura monumentais, elementos ou estruturas de carácter arqueológico, inscrições, grutas e grupos de elementos com valor universal excepcional do ponto de vista da história, da arte ou da ciência;*

*Os conjuntos. - Grupos de construções isolados ou reunidos que, em virtude da sua arquitectura, unidade ou integração na paisagem, têm valor universal excepcional do ponto de vista da história, da arte ou da ciência;*

*Os locais de interesse. - Obras do homem, ou obras conjugadas do homem e da natureza, e as zonas, incluindo os locais de interesse arqueológico, com um valor universal excepcional do ponto de vista histórico, estético, etnológico ou antropológico.”*

Este documento também cita a importância da ação do Estado na conservação do património, em resumo, determina o Estado de cada país como o responsável por levantar e classificar os patrimónios culturais no seu território, elaborar as suas próprias legislações para conservação, restauro ou reabilitação, fiscalizar o cumprimento da mesma e colaborar de forma global com a conservação dos patrimónios históricos no mundo, também foi criado o Comité do Património Mundial. Em Portugal foi aprovada esta convenção em 1979 pelo Decreto n.º 49/79 de 6 de junho.

A fim de aproximar os laços entre os Estados europeus em relação à preservação do património cultural, na cidade de Granada na Espanha foi realizado a Convenção para Salvaguarda do Património Arquitectónico da Europa (1985) , apenas nesta convenção é que chegamos a uma definição precisa do que seriam monumentos, conjuntos e sítios (Conselho da Europa, 1985).

*“1) Os monumentos: todas as construções particularmente notáveis pelo seu interesse histórico, arqueológico, artístico, científico, social ou técnico, incluindo as instalações ou os elementos decorativos que fazem parte integrante de tais construções;*

*2) Os conjuntos arquitectónicos: agrupamentos homogéneos de construções urbanas ou rurais, notáveis pelo seu interesse histórico, arqueológico, artístico, científico, social ou técnico, e suficientemente coerentes para serem objecto de uma delimitação topográfica;*

*3) Os sítios: obras combinadas do homem e da natureza, parcialmente construídas e constituindo espaços suficientemente característicos e homogéneos para serem objecto de uma delimitação topográfica, notáveis pelo seu interesse histórico, arqueológico, artístico, científico, social ou técnico.”*

A publicação desta convenção europeia foi ratificada em Portugal no ano de 1999 através do Diário da República em 19 de novembro, Série 1, n.º 270, p.8220. No contexto legislativo português, a lei que está vigente sobre reabilitação é o Decreto-Lei n.º 95/2019 que estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios e frações autónomas.

Um dos temas abordados nesta lei é a eficiência energética, concilia os objetivos da gestão do consumo energético de forma racional, com garantia do conforto aos usuários do edifício, garantindo os hábitos e modos de vida do país. Esta publicação traz a importante definição do que é operação de reabilitação.

*“a) «Operações de reabilitação», as intervenções de reabilitação realizadas em edifícios ou frações autónomas que consistam nas seguintes operações urbanísticas, conforme definição prevista no Regime Jurídico da Urbanização e Edificação, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de dezembro, na sua redação atual:*

*i) Obras de alteração;*

*ii) Obras de reconstrução ou de ampliação, na medida em que sejam condicionadas por circunstâncias preexistentes que impossibilitem o cumprimento da legislação técnica aplicável”*

Os princípios que norteiam este decreto são de fundamental importância para este estudo, destacando entre eles o “Princípio da proteção e valorização do existente” presente no Artigo 4º do documento, atentando para a preocupação com uma adequada preservação e valorização do edificado existente, reconhecendo os valores estéticos, artísticos, científicos, tecnológicos e sócio culturais, que fazem parte da expressão singular do edifício e da comunidade ali existente.

Outro, o “Princípio da Sustentabilidade Ambiental” no Artigo 5º, traz a preocupação com os recursos naturais e o meio ambiente no serviço de reabilitação e utilização do edificado, com o pensamento de minimizar a extração de recursos naturais e diminuir a emissão de gases nocivos. A reabilitação em sua essência é uma atividade sustentável, por consumir menos recursos naturais que a atividade de demolição e construção de novo edifício. O referido Decreto-Lei salienta também, a importância e a necessidade de melhoria da eficiência energética, a redução do consumo de energia e o aproveitamento de fontes de energias renováveis.

Para este trabalho será utilizado o conceito de “Edifício Antigo” apresentado por Pereira (2013), em que diz: “designam-se por edifícios antigos aqueles que foram construídos antes da generalização das estruturas de betão armado como material estrutural dominante”. Esta generalização aconteceu na metade do século passado, ou seja, o que distingue esta classificação é a

tipologia em que o edifício foi construído, sendo assim, são em maioria, edifícios construídos basicamente de estruturas em pedra, madeira, tijolos, ferro e uso abundante de cal.

Com a intenção de criar uma rede de proteção patrimonial, os edifícios antigos mais significativos são ainda classificados em três tipos diferentes, em função do seu valor cultural, sendo eles:

- Património Monumental: este exige maior fidelidade para as técnicas de construção antigas durante a sua construção, com técnicas não intrusivas e reversíveis, é necessária maior prioridade para a conservação e não para as exigências dos usuários. Esta tipologia é o maior objeto de alcance das cartas de preservação e tratados internacionais sobre conservação de monumentos (Figura 2.1).



Figura 2.1 - Torre de São Vicente de Belém, classificado como Monumento Mundial (imagem do autor).

- Património Edificado Classificado: estes compõem os levantamentos municipais de bens imóveis, que por alguma característica, possui algum valor de interesse histórico, arquitetónico, arqueológico, científico, técnico ou social. A reabilitação deste deve preservar o seu carácter, os seus elementos determinantes para a sua imagem e identidade, porém, se adaptando às necessidades contemporâneas, quando possível (Figura 2.2).



Figura 2.2 - Edifício na Praça Duque de Saldanha, classificado como Imóvel de Interesse Público (imagem do autor).

- Património Edificado Corrente: este refere-se ao amplo património presente nos grandes centros das cidades, são os edifícios antigos de arquitetura corrente, com menor grau de exigência e maior flexibilidade em relação à reabilitação, este representa o maior grupo de edifícios tidos como património (Figura 2.3).

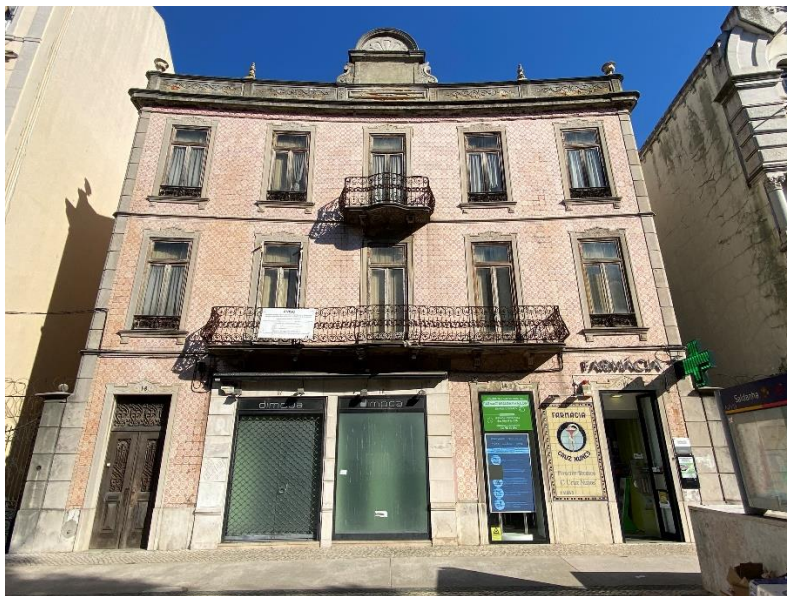


Figura 2.3 - Edifício antigo em Lisboa, património edificado corrente (imagem do autor).

Com os conhecimentos dos documentos citados anteriormente, é possível ter a noção da importância na conservação das construções antigas e do máximo cuidado na reabilitação destes edifícios, que serão objeto da pesquisa deste trabalho. Não apenas observando e respeitando as características arquitetónicas, mas também, a sua funcionalidade, as características dos materiais utilizados na sua construção, na sua reabilitação, os efeitos das novas intervenções na estrutura existente e como o edifício vai comportar e receber a nova reabilitação e os possíveis sistemas de geração de energia, sendo assim um trabalho multidisciplinar, envolvendo principalmente a arquitetura, a engenharia civil e a engenharia mecânica.

### **2.1.2 Reabilitação**

Reabilitar um edifício é, em resumo, um conjunto de ações realizadas com objetivo de recuperar e beneficiar o edificado para torná-lo apto para o uso atual, em função das novas exigências dos usuários, como, por exemplo, atualização das instalações, equipamentos e disposição dos ambientes. Pode-se dizer também que “reabilitar consiste em reequacionar uma realidade. O seu objetivo fundamental consiste em resolver as deficiências físicas e as anomalias construtivas, ambientais e funcionais acumuladas ao longo dos anos” (Pereira, 2013).

As ações da reabilitação são classificadas em duas tipologias principais, beneficiação e recuperação. Esta primeira tem por objetivo aumentar o nível de qualidade da construção antiga para atender as novas exigências atuais dos seus utilizadores, já a recuperação, são ações destinadas a recuperar o estado de satisfação inicial do edifício que por algum motivo foi prejudicado, estas ações podem devolver exatamente o edifício como ele era. Em resumo um edifício antigo pode manter o seu uso inicial ou um uso diferente do que era, podendo utilizar para alcançar estes objetivos as ações de remodelação, restauro e revitalização.

A reabilitação de um edifício é um processo mais complexo do que uma construção nova, pois os edifícios antigos foram construídos utilizando técnicas e materiais que podem estar em desuso, dificultando o encontro de fornecedores e equipas habilitadas para executar os trabalhos necessários. Outra grande dificuldade é o correto diagnóstico das patologias e do comportamento do edifício, é uma etapa prévia e fundamental, de grande responsabilidade, para uma correta reabilitação do património edificado.

### **2.1.3 Cenário em Portugal**

O parque habitacional de Portugal é considerado jovem, visto que de acordo com o último Censo de 2011, o número de edifícios construídos até o ano de 1960 representa uma quantidade menor que o dobro de edifícios construídos nos dez anos entre 2001 e 2011. Sendo predominantemente um parque habitacional formado por edifícios que utilizam o betão como material constituinte do sistema estrutural (Figura 2.4). Porém, o mesmo Censo apresenta que 27,25 % dos edifícios possuem necessidades de reparação. O maior foco deste trabalho são os edifícios antigos construídos antes de 1919, quando o betão ainda não era um material utilizado na construção dos edifícios, pelo Censo de 2011 estes edifícios somavam 206.343 unidades no território nacional, representando 5,8 % de todo o parque habitacional na época, e destes 63 % precisam de algum tipo de reparação (Figura 2.5) (Instituto Nacional de Estatística, 2012).

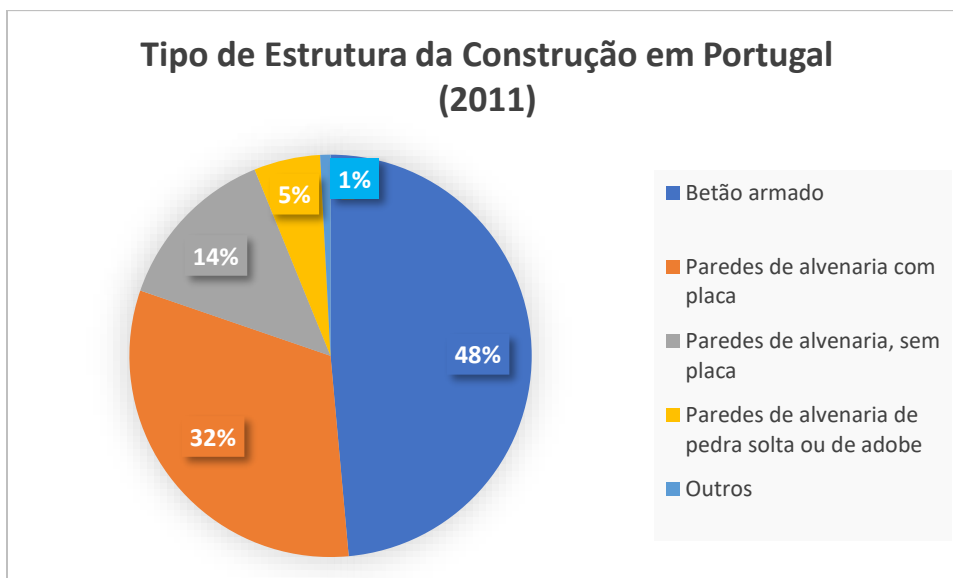


Figura 2.4 - Gráfico da tipologia das estruturas das construções (Instituto Nacional de Estatística, 2012).

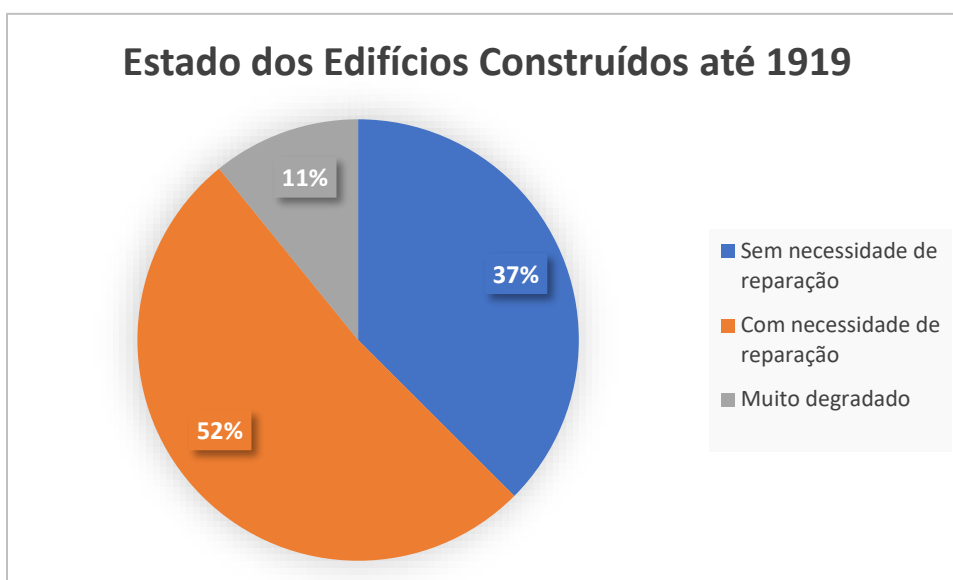


Figura 2.5 - Gráfico do estado de conservação dos edifícios antigos (Instituto Nacional de Estatística, 2012).

Anterior ao sismo de 1755, as construções eram na sua maioria de estrutura em pedra e madeira, porém, após o sismo, por questões de segurança, para prevenir novos acidentes, foram adotadas novas técnicas de construção e assim, podemos classificar os edifícios posteriores em três tipologias básicas antes das estruturas modernas em betão:

- Pombalinos, aproximadamente entre 1755 e 1880;
- Gaioleiros, aproximadamente entre 1880 e 1940;
- Edifícios de estrutura mista (placa), aproximadamente entre 1940 e 1960;

Para Pereira (2013) é necessário ampliar o setor de informação para a reabilitação de edifícios antigos em Portugal, a indústria da construção de edifícios novos recebe maior parte de

investimentos e incentivos do setor público e privado, deixando em segundo plano a reabilitação, carente de investimentos e informações técnicas importantes.

As dificuldades económicas enfrentadas por Portugal prejudicaram a construção civil em diferentes épocas, sendo esta uma das menos eficientes quando comparada com outros setores da indústria produtiva. A falta de investimentos e de recursos gerou uma grande quantidade de intervenientes, como, falta de coordenação eficiente, ausência de projetos, projetos incompletos, falta de investigação prévia, execução de técnicas impróprias e utilização de materiais não compatíveis para as reabilitações, por estes motivos, encontramos atualmente edifícios antigos reabilitados com presença de diversas patologias durante a sua vida útil.

#### **2.1.4 As Energias Renováveis na Reabilitação**

Em meio urbano, os edifícios históricos são geralmente edifícios de uso habitacional, executados ao abrigo das construções da época, com maior ou menor complexidade arquitetónica conforme o investimento financeiro dos proprietários. A energia utilizada era basicamente animal e humana para a construção e para a utilização do edifício, a utilização de energia elétrica e energias fósseis foram implantadas apenas no século passado (Gonçalves, 2015).

Cada edifício antigo possui a sua particularidade, em relação às necessidades de reabilitação, que são definidas pela idade, pelos materiais utilizados na sua construção, as técnicas construtivas, a utilização da edificação e como foi a manutenção durante a sua operação. É necessário ter conhecimento de quais sistemas construtivos eram utilizados, para saber como proceder na reabilitação.

Em resumo, é comum encontrar nas fundações de edifícios antigos, técnicas como, caboucos em alvenaria, pegões em alvenaria e estacas curtas de madeira. Como estrutura das paredes, é corriqueiro, cantaria simples, alvenaria simples, alvenaria armada com elementos de madeira, adobe e taipa. Para as soluções estruturais de pavimentos, são encontrados, madeira, alvenaria simples (arcos ou cúpulas), ferro fundido e aço. Nas coberturas a estrutura geralmente é em madeira e as telhas são de argila, tipo “canudo” (Ordem dos Arquitectos, 2016).

Fixação de sistemas de geração de energia nas paredes externas de um edifício histórico, pode instigar o desenvolvimento de algumas patologias comuns neste tipo de construção, como fendas estruturais ou não estruturais, perda de material das juntas, infiltrações de água, degradação dos materiais da alvenaria, degradação dos materiais de revestimentos e sujidades. Isto pode acontecer devido aos meios de fixação dos equipamentos, a sua possível vibração e o peso acrescido na alvenaria estrutural ou de vedação (Ordem dos Arquitectos, 2016).

Instalação de equipamentos nas coberturas antigas, além do acréscimo de peso no sistema estrutural, causa movimentação de pessoas sobre a cobertura para instalação do sistema e manutenção do mesmo. Este efeito pode contribuir para o surgimento de patologias nas coberturas, como deformações e deslocamentos excessivos da estrutura, fissuras das telhas, deslocamento das telhas, sujidades e perda de estanquidade da cobertura (Ordem dos Arquitectos, 2016).

Devem ser estudadas todas as exigências de autenticidade, compatibilidade, durabilidade e economia, antes de iniciar uma reabilitação de um edifício histórico, buscando o baixo impacto ambiental, a preservação do edificado existente, a flexibilidade e adaptabilidade da solução, a facilitação da manutenção, a reversibilidade da solução adotada e a compatibilidade dos materiais novos com os existentes (Gonçalves, 2015).

A introdução dos sistemas de geração de energia renovável deve estar planeada em conjunto com a implantação de técnicas de melhoria do desempenho energético da construção, como instalação de sistemas de isolamentos térmicos, equipamentos modernos de baixo consumo energético, sistemas de ventilação e iluminação natural, para assim reduzir a dependência e o consumo de energia elétrica na utilização do edifício histórico. Por fim conclui Gonçalves (2015):

*“Garantir, futuramente, a eficiência energética no contexto dos edifícios antigos e das infra-estruturas urbanas existentes será decisivo para que o ambiente físico das cidades sofra uma progressão positiva. Para que a cidade antiga caminhe inteiramente neste sentido, é necessário que todo o tecido histórico seja alvo de uma estratégia de adequação às exigências funcionais e de conforto contemporâneas, com a consciência de que se trata de um recurso não renovável para o qual é urgente associar uma preservação inteligente, a longo prazo.”*

É responsabilidade das Câmaras Municipais a aprovação dos projetos de reabilitação de determinado edifício. O corpo técnico da Câmara é quem vai julgar as limitações específicas de cada projeto de reabilitação, como, por exemplo se será permitido a alteração de uma cobertura, o que poderá alterar numa fachada, alterações estruturais, incêndio, acessibilidade, conforto térmico, acústico e energético.

Logo, neste trabalho abordaremos as limitações impostas pela Câmara Municipal de Lisboa, em relação às possibilidades de instalação de sistemas de geração de energia elétrica por fontes renováveis, numa eventual reabilitação do edifício escolhido para o estudo de caso desta pesquisa e também o impacto patológico de cada solução, descritos detalhadamente nos capítulos seguintes.

Para o estudo do referido impacto patológico, é necessário ter conhecimento das características de cada tipo de construção, do seu estado de degradação, além do comportamento

dos elementos em pedra, em terra, em madeira e os metálicos, igualmente, quais são os esforços que cada tipo de equipamento de geração de energia irá exercer na estrutura do edifício. Sendo assim, cada edifício é único e cada um deve ser analisado com máxima atenção e responsabilidade, utilizando todo o conhecimento disponível na área da engenharia civil para este cenário do trabalho.

## 2.2 Energia Solar

Energia solar é a energia nuclear do Sol, ela é considerada renovável e pode ser transformada em energia térmica ou energia elétrica e serem utilizadas para diversos fins. As suas principais formas de aproveitamento se resumem à geração de energia elétrica e o aquecimento de água para diversos fins.

Existem dois sistemas de geração de energia elétrica através da energia solar, o heliotérmico e o fotovoltaico, o primeiro também chamado de Energia Solar Concentrada ou CSP, o sistema é baseado na reflexão dos raios solares utilizando um conjunto de espelhos que acompanham o movimento solar durante o dia e direcionam os raios para um recetor de calor (Figura 2.6). Assim a energia térmica neste recetor, transforma a água em vapor, este movimentará a turbina, assim seguirá os mesmos processos de uma central de energia térmica convencional gerando energia pelo movimento de turbinas geradoras de eletricidade.

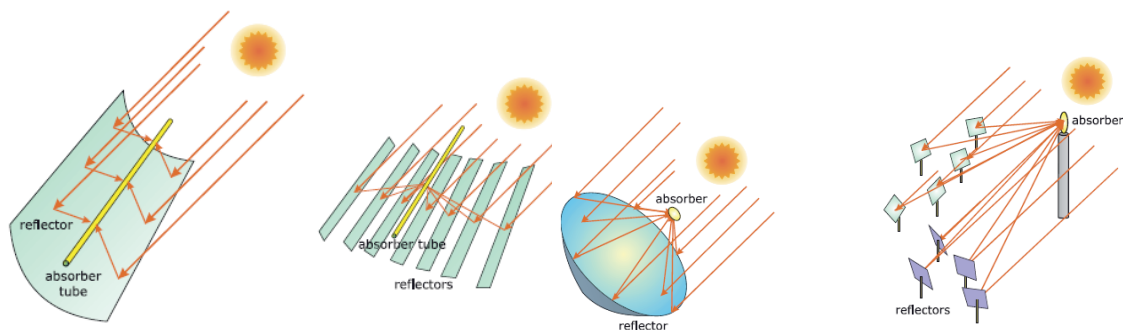


Figura 2.6 – Exemplos de sistemas heliotérmicos (Quaschnig, 2010).

O sistema de geração heliotérmico possui as suas limitações, é necessária grande incidência de energia solar, grandes áreas para os refletores, manutenção constante, limpeza frequente dos espelhos, um sistema de aquecimento de água e turbinas de geração de eletricidade, isto gera um custo financeiro de implantação elevado. Logo esse sistema não é o ideal para produção de energia elétrica em edifícios residenciais e comerciais, por isso, esse sistema não será estudado neste trabalho como possível solução da nossa problemática para geração de eletricidade (Lorenzini, Biserni, & Flacco, 2010).

O sistema fotovoltaico, será o estudado neste trabalho mais detalhadamente, o termo “fotovoltaico” é originalmente constituído por duas palavras, “foto” que se refere à luz e “volt”

que se refere à unidade de tensão elétrica ou potencial elétrico. Em resumo fotovoltaico significa a conversão direta da luz solar em eletricidade e a sua abreviação mais comum é “FV” (Quaschnig, 2005).

Historicamente a tecnologia fotovoltaica tem início em 1839 quando o físico francês Edmond Becquerel descobre ao estudar a luz solar, os efeitos fotovoltaicos, mas apenas depois das descobertas de Shockley, em relação aos semicondutores, é que em 1954 nos Laboratórios Bell, foi produzida a primeira célula solar, cuja eficiência era de aproximadamente 5 % e foram desenvolvidas para projetos espaciais (Quaschnig, 2005).

As células fotovoltaicas tradicionais, são constituídas por uma camada de material semicondutor (como o silício) que recebe uma projeção de uma camada de carga positiva e outra de carga negativa, criando assim um campo elétrico. A célula em si, é composta por duas camadas, uma com dopagem para ficar com elétrons livres (camada n) e a outra camada com dopagem para que tenha ausência de elétrons (camada p), a junção destas duas camadas é conhecida por junção p-n. Quando estes semicondutores são expostos aos raios solares, a absorção dos fótons pelos elétrons provoca quebra em suas ligações, os elétrons liberados são conduzidos para a camada n e as lacunas seguem para o sentido contrário, a camada p. Assim a corrente elétrica é aproveitada através da ligação externa das duas camadas (Figura 2.7) (Quaschnig, 2010).

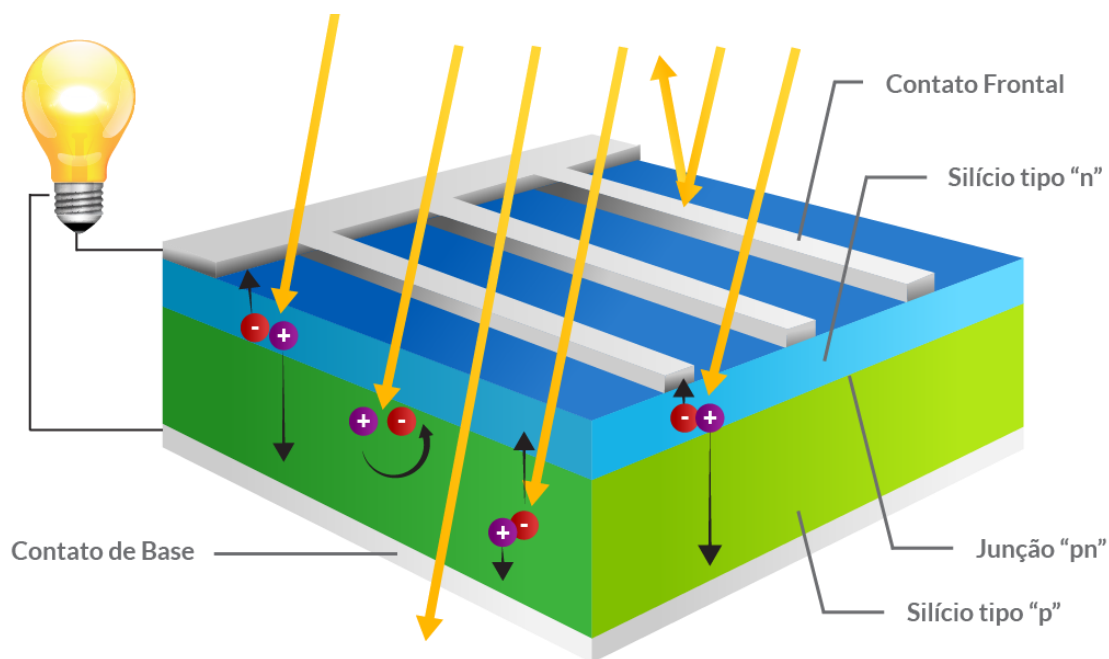


Figura 2.7 – Estrutura e vista frontal de uma célula solar de silício cristalino (Fontes, 2020).

A tecnologia dos painéis fotovoltaicos pode ser classificada em três gerações, a primeira geração (Figura 2.8) se refere aos painéis que utilizam células cristalinas de silício, estas podem ser monocristalinas, policristalinas e fita polida. Respetivamente, a primeira é a mais antiga técnica utilizada e uma das mais eficientes, a segunda representa a maior fatia do mercado por ser

mais económica e simples no fabrico, por último, a terceira não tem grande representatividade, pois apresenta baixa eficiência (Lopes, 2018).

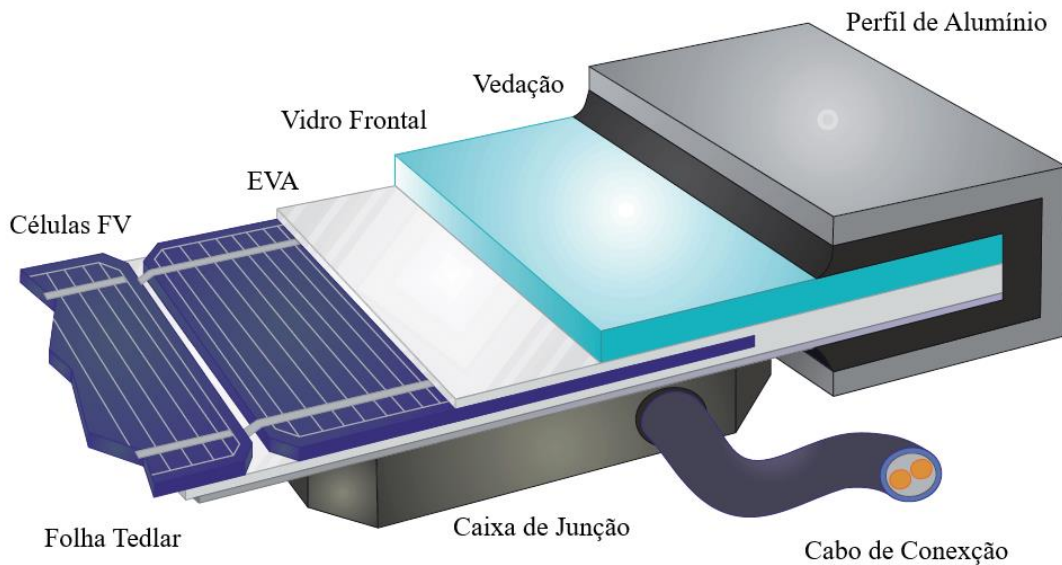


Figura 2.8 – Estrutura típica de um painel de 1ª geração (Quaschnig, 2010).

Os painéis monocristalinos apresentam vantagens como a necessidade de menor espaço devido a sua maior eficiência, possuem garantia de mais de 20 anos e uma vida útil superior a 30 anos e funcionam melhor em condições de pouca luz do que os policristalinos. Porém, possuem como desvantagem os custos de aquisição, por ser maior que os demais e a grande quantidade de silício da célula que não é utilizada, necessitando de reciclagem (EletroJr, 2018).

Considerando os painéis policristalinos, estes apresentam a vantagem de ter menor geração de silício residual em relação ao anterior, possuem um custo inferior ao monocristalino, também apresentam garantia de mais de 20 anos e vida útil superior a 30 anos. Como desvantagem, é menos eficiente devido à impureza do polisilício, logo precisa de maior área de painéis (EletroJr, 2018).

A segunda geração das células, desenvolvida nos anos 90, utilizam semicondutores de telúrio de cádmio (CdTe), de silício amorfo (a-Si) e o disseleneto de cobre-índio-gálio (CIGS), estes materiais possuem propriedades de alta absorção da luz solar, nesta tecnologia os condutores são aplicados em finas camadas, utilizando um substrato de plástico ou vidro (Figura 2.9). Permitindo assim, criação de películas fotovoltaicas leves, delgadas e flexíveis, podendo se adaptar às diversas situações. Porém, possuem algumas desvantagens, como a utilização de materiais tóxicos e contaminantes, menor resistência a agentes agressivos e humidade, possuem rendimento inferior em relação as outras tecnologias (Lopes, 2018).

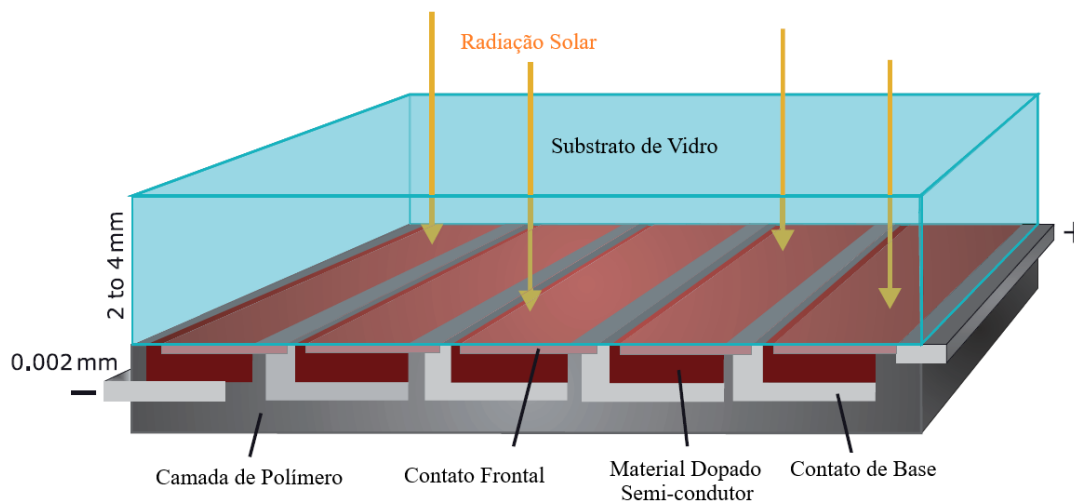


Figura 2.9 – Estrutura típica de uma célula de 2ª geração (Quaschnig, 2010).

A terceira geração utiliza células nano cristalinas sensibilizadas por corante e células orgânicas. Utilizam, por exemplo, o dióxido de titânio e outros compostos orgânicos como semicondutores, não existindo a junção p-n, são películas bastante flexíveis, podem ter cores distintas e serem parcialmente transparente, tornam-se boas indicações para compor a arquitetura de edifícios (Lopes, 2018).

A produção de películas delgadas (Figura 2.10) além de reduzir a quantidade necessária para fabricação das peças, também permite trabalhar sobre diferentes substratos, que são os materiais onde a película é depositada, o que permite flexibilidade de adaptação e capacidade de implantação conjunta com futuras tecnologias, tem assim grandes chances de aumentar a sua eficiência com novos experimentos (González & Rolón, 2018).

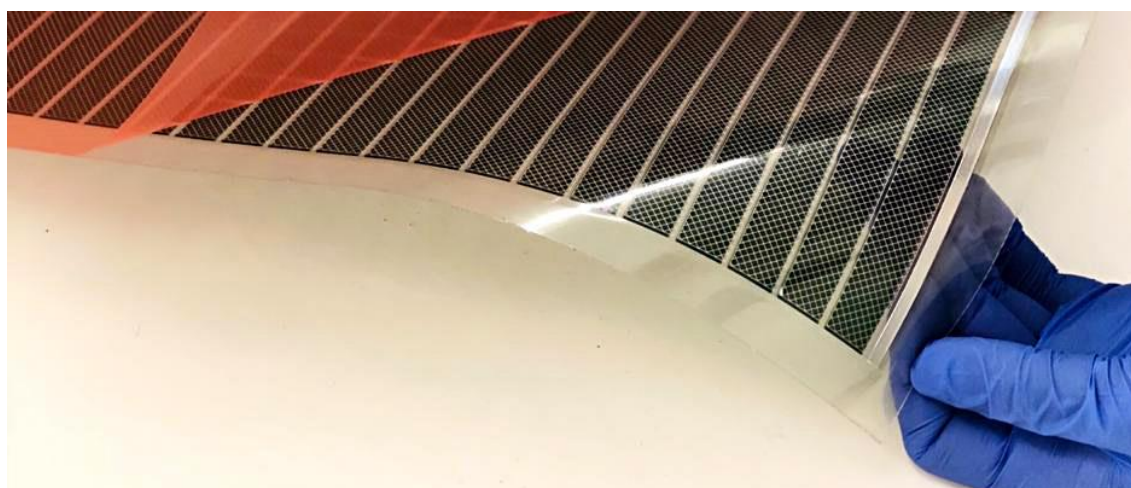


Figura 2.10 – Película delgada fotovoltaica (SUNEW, 2019).

Os filmes finos fotovoltaicos parecem ser uma ótima solução para ser considerada na problemática deste trabalho, estes possuem as vantagens de ter menor consumo de material, maior simplicidade e velocidade de fabricação, facilidade de transporte e instalação, aparência homogênea,

atrativa e grande flexibilidade, além de o sombreamento e a temperatura possuírem menor impacto. Porém, apresentam as desvantagens de serem menos eficientes por metro quadrado e necessitam de maior área de insolação, podendo ter maior custo na instalação, possuem menor garantia e menor vida útil que os painéis policristalinos e monocristalinos (EletroJr, 2018).

A geração de energia descentralizada, ou seja, gerada em diversos sítios da malha energética, é um objetivo dos governos da União Europeia, pois minimiza os custos e aumenta a eficiência do sistema, através da redução da distância entre produtor e consumidor. Assim Teixeira (2010) explica:

*“Uma das vertentes da produção de energia descentralizada é a microgeração, a qual se define como uma produção de electricidade em pequena escala, efectuada normalmente em instalações domésticas e, na maioria dos casos a partir de fontes renováveis, como o sol e o vento, e que, regra geral, é consumida no mesmo local onde é produzida.”*

Podemos concluir que os sistemas fotovoltaicos são adequados para integração ao envoltório de edifícios, estes podem ter duas funções, gerar eletricidade (Figura 2.11) e integrar a componente arquitetónica (Figura 2.12). São fabricados para serem utilizados em ambientes externos, sob sol, chuva e demais agentes climáticos, com vida útil de 30 anos ou mais (Rüther, 2004).



Figura 2.11 – Esquema de um sistema de geração isolado (Portal Solar, 2016).



Figura 2.12 – Integração de sistema fotovoltaico na arquitetura do edifício (SUNEW, 2019).

No desenvolvimento do TFM serão detalhadas as possíveis tecnologias e sistemas disponíveis no mercado que possam atender a problemática proposta. Caso seja proposta nova tecnologia ou sistema de utilização, como, por exemplo a pintura de películas fotovoltaicas para integração arquitetônica do patrimônio, de modo a não gerar impacto visual, também será discriminado nos próximos capítulos deste trabalho.

Entre estas três gerações de painéis fotovoltaicos é possível identificar que para este trabalho é mais interessante a terceira geração, que possui menor impacto visual devido a sua relativa transparência e variação de cores, o que é uma grande qualidade quando é necessário um menor impacto visual nos edifícios antigos e outra grande vantagem é a sua leveza, tendo assim um menor acréscimo de carga na estrutura da cobertura ou nas paredes, que possam vir a receber estes painéis, porém, é necessário verificar a disponibilidade da área de instalação, pois a sua eficiência energética ainda é relativamente baixa.

Mesmo não sendo o foco deste trabalho, é importante salientar que a energia solar pode e deve ser amplamente utilizada para aproveitamento do calor gerado para aquecimento de águas residências e para climatização interior de edifícios, como os coletores solares, tanto para construções novas, como para antigas em reabilitação.

### **2.3 Energia Eólica**

O vento é um fenômeno natural, é um deslocamento de uma grande quantidade de ar, o seu movimento é motivado pelas diferentes temperaturas da atmosfera e pelo movimento rotacional da Terra. Podem ser classificados quanto à direção, o tempo de duração, a sua

velocidade e a sua intensidade. A humanidade não consegue dominar estes fenómenos naturais, mas consegue aproveitá-los conforme a capacidade tecnológica disponível.

O poder do vento é aproveitado há muito tempo pela humanidade, 3000 anos atrás o vento era utilizado em sistemas de irrigação, evidências históricas mostram que no século VII o vento era utilizado na moagem de grãos na região do Afeganistão. No cenário europeu os moinhos de vento (Figura 2.13) eram amplamente usados após o século XII, nos Países Baixos foram aprimorados para serem utilizados também na drenagem das terras alagadas (Quaschnig, 2005). Em Portugal ainda é possível encontrar moinhos antigos preservados em diferentes regiões e de diferentes épocas (Figura 2.14).



Figura 2.13 – Moinho de vento dos Países Baixos (Fitzgerald, 2010).



Figura 2.14 – Moinhos de vento de diferentes tipos em Alcabideche, Portugal (Cascais Cultura, 2018).

Com o surgimento de novas tecnologias como motores a vapor, motores à combustão interna e motores elétricos, os moinhos deixaram de ter utilidade e se tornaram obsoletos. Mas

após a crise mundial do petróleo na década de 70, ressurgiu o interesse no poder do vento, mas desta vez não era para geração de energia mecânica, mas sim para gerar energia elétrica. Na década de 90 a Alemanha se destacou na geração de tecnologia e expansão do mercado de energia eólica (Quaschnig, 2010).

Em Portugal o primeiro parque eólico foi implantado em 1986 na ilha de Porto Santo, arquipélago da Madeira, posteriormente em 1988 o segundo na ilha de Santa Maria, nos Açores e apenas em 1992 houve a implantação no território continental de Portugal, o Parque Eólico de Sines. Em 2011 é implantado o primeiro parque eólico *offshore* do país, o parque eólico flutuante WindFloat (Casadinho, 2014).

Os aerogeradores são os equipamentos utilizados para geração da energia elétrica através da força do vento, em resumo, o vento choca com o rotor da turbina e gera movimento das pás, essa energia mecânica é transformada em energia elétrica através do gerador elétrico ligado ao eixo do rotor. A posição do eixo do rotor leva a classificação de dois tipos de turbina, as de eixo horizontal e as de eixo vertical (Casadinho, 2014).

As turbinas de eixo vertical possuem variados tipos de pás (Figura 2.15), este sistema possui algumas vantagens, a sua estrutura e a sua montagem são relativamente simples, a sua manutenção é facilitada, pois o seu gerador e demais equipamentos eletrônicos são montados na sua base. Estes não são montados ou orientados em direção ao vento, pois a direção do vento não interfere no seu funcionamento, sendo uma solução interessante para regiões com ventos turbulentos, como, por exemplo no meio urbano (Quaschnig, 2005).

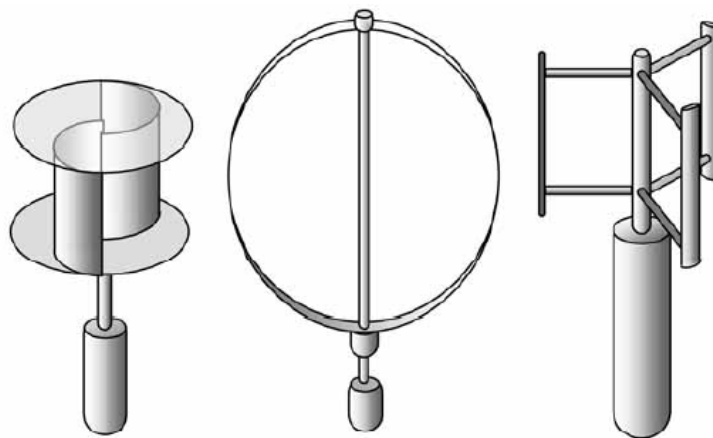


Figura 2.15 – Rotores de eixo vertical (Quaschnig, 2005).

No entanto, este tipo de rotor é utilizado apenas em casos especiais, estes sistemas demandam grande quantidade de material e não possuem grande eficiência, comparado ao sistema de rotor em eixo horizontal, este último sistema é o grande responsável pelo crescimento da geração de energia eólica no cenário atual (Quaschnig, 2005).

O sistema de uma turbina de geração eólica de eixo horizontal não tem tantas variações como um equipamento de eixo vertical, não há grande variação em relação às pás, estas são como hélices, o que pode variar é a quantidade de pás, podem ter uma, duas ou três pás, sendo mais usual a configuração com três pás, que possui em geral melhor relação eficiência e custo. Na Figura 2.16 é possível ver os componentes principais de uma turbina tradicional, de eixo horizontal com 3 pás no rotor, para geração de energia, utilizada nos grandes parques eólicos (Campbell, Harries, & Stankovic, 2009).

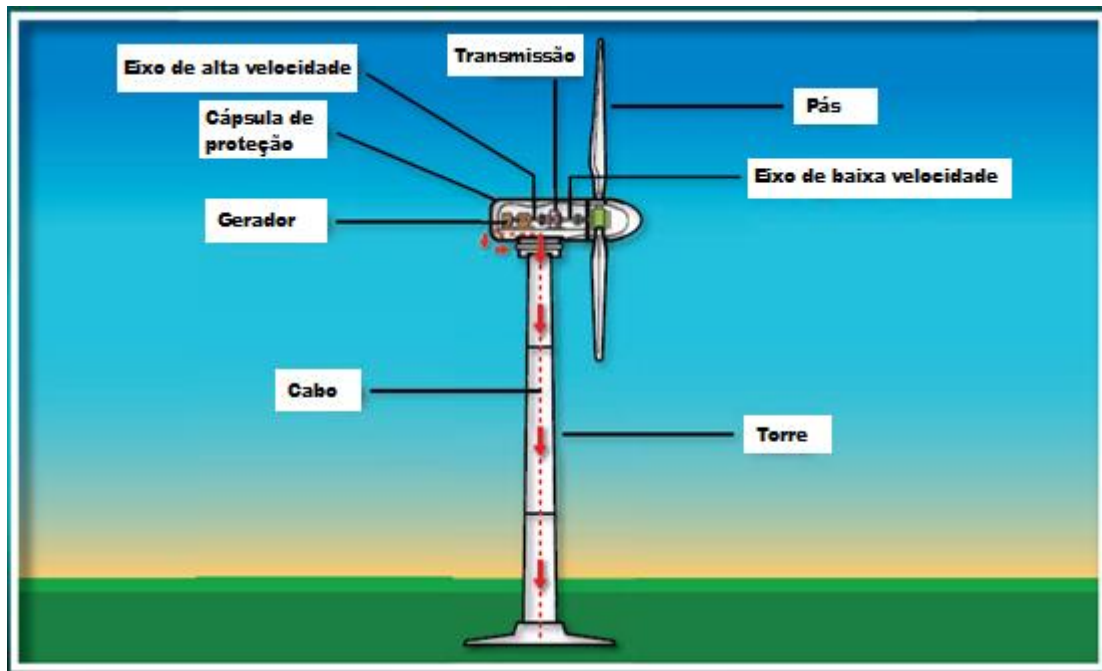


Figura 2.16 – Detalhe de uma turbina de eixo horizontal (Fitzgerald, 2010).

Para o desenvolvimento deste trabalho cabe apenas o estudo das tecnologias de microturbinas eólicas, pois os sistemas utilizados devem ser para meios urbanos e devem se integrar na envolvente do edifício.

*“O potencial eólico em áreas urbanas é de difícil caracterização devido ao elevado impacto de obstáculos e estruturas no escoamento atmosférico. Os edifícios causam frequentemente separação do escoamento, redução da velocidade do vento e turbulência elevada no topo e em redor dos edifícios. Além disso, em termos económicos, os custos elevados das campanhas de medição de vento constituem uma barreira importante para o desenvolvimento deste subsector de energia eólica.”* (Simões & Estanqueiro, 2019).

As dimensões das microturbinas e a simplicidade dos seus sistemas (Figura 2.17), permitem uma maior flexibilidade e adaptabilidade a determinados ambientes e necessidades em função das suas características para produção de energia elétrica. Mas isso não dispensa a necessidade de um estudo prévio da disponibilidade de recurso eólico, dos obstáculos, da

turbulência e da capacidade de geração elétrica para determinar a viabilidade técnica e econômica (Campbell et al., 2009).

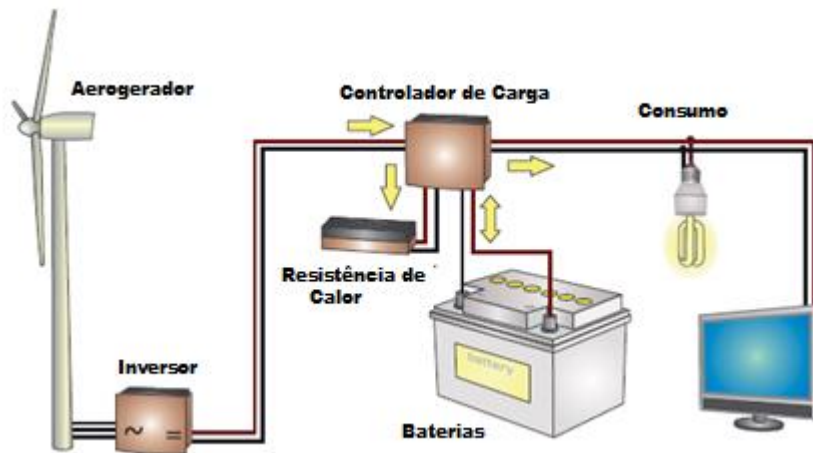


Figura 2.17 - Sistema de uma microturbina (Quaschnig, 2010).

Apesar de algumas microturbinas serem tecnologicamente avançadas, com designs e aerodinâmica modernas, em geral, são mecanicamente muito simples, nas de eixo horizontal, além das pás e do rotor, há um gerador acoplado ao eixo de rotação e um leme de orientação. Nestes sistemas são utilizados normalmente um gerador de indução (assíncrono) de características simples, robustas e de baixo preço, mas também há os geradores síncronos para regiões de ventos inconstantes. Hoje a tecnologia permite microturbinas de grande qualidade, esteticamente agradáveis e silenciosas (Teixeira, 2010).

Em 2009 foi lançada a primeira microturbina eólica 100 % portuguesa, com a colaboração de 20 cientistas, seis instituições universitárias e sete empresas envolvidas, com 75 % de investimento financeiro da Agência de Inovação, chamada de Turban com uma potência nominal de 2.5 kW (I. Pereira, 2011).

De acordo com as orientações de Teixeira (2010), para instalação de uma microturbina eólica em meio urbano devem ser considerados alguns fatores:

- É preferencial a instalação num edifício com um telhado ou terraço plano.
- Estudar as recomendações do fabricante quanto às necessidades de instalação e o suporte do edifício.
- Verificar a adequação da envolvente do edifício.
- Ter cuidado com os aspetos estéticos do edifício, o aerogerador deve ser integrado aos mesmos.
- A microturbina deve preferencialmente estar no ponto mais alto do edifício.
- Preferencialmente no centro da cobertura do edifício.
- Verificar a aceitação da microturbina pela vizinhança.

Demais necessidades e cuidados são levantados em função do tipo de microturbina, da tecnologia usada, das recomendações do fabricante e do ambiente onde será instalada, podendo em alguns casos não ser viável sua instalação para produção energética. Por fim, conclui Teixeira (2010):

*“A microgeração deve cada vez mais ser considerada como uma necessidade nos núcleos urbanos. Embora a penetração da energia solar apresente maior grau de fiabilidade, principalmente em Portugal, é possível considerar a microgeração eólica em ambiente urbano, principalmente em cidades pequenas onde os edifícios existentes por vezes não excedem a altura de cinco a seis pisos. É essencialmente nestes núcleos urbanos que a microgeração eólica poderá vir a ser considerada, quer para sistemas isolados quer para sistemas híbridos com a energia solar.”*

Porém, é necessário ressaltar que a implantação de microturbinas nas regiões urbanas requer bastante atenção, os ventos são geralmente mais fracos devido aos obstáculos e turbulentos, o que diminui a eficiência do aerogerador e conseqüentemente compromete em alguns casos a viabilidade de implantação pelo longo período de retorno. Os donos das residências podem não entender sobre o sistema e isto se torna mais uma desvantagem, pois é necessária manutenção periódica, as paredes e outros elementos estruturais podem não aguentar os esforços prolongados e stressantes das turbinas, causando acidentes ou prejuízos financeiros. Em resumo pode trazer deceções aos proprietários iludidos (Campbell et al., 2009).

Neste trabalho serão abordados, após pesquisa de mercado, possíveis equipamentos para instalação em edifícios classificados como património, descritos nos capítulos seguintes. Com as características dos sistemas eólicos apresentadas nesta revisão da literatura, é possível concluir, de forma geral, que o melhor sistema que se encaixa para ser utilizada nos edifícios antigos são as microturbinas de eixo vertical, para adaptação aos ventos turbulentos do meio urbano, e provável diminuição dos esforços laterais e vibrações. Além de ter um aspeto visual mais agradável por se mesclar na paisagem urbana. Os seus impactos físicos na estrutura e outros detalhes serão abordados nos capítulos seguintes.

## **2.4 Energia Geotérmica**

Energia geotérmica se define, de acordo com o Conselho Europeu da Energia Geotérmica, como a energia armazenada em forma de calor abaixo da superfície da Terra. Na parte mais superficial da crosta terrestre, as chuvas e a irradiação solar são os fatores mais importantes na variação da temperatura desta estreita camada de aproximadamente 15 metros, esse potencial térmico é conhecido como Energia Geotérmica Superficial (Nardin, 2018).

Avançando após os 20 metros iniciais da crosta, as fontes de calor principais de que mantém a temperatura elevada na Terra são, o calor primordial da formação do planeta, mais de 4,5 bilhões de anos atrás, o calor gerado pela cristalização do núcleo, os movimentos diferenciais das camadas internas do planeta e a desintegração de isótopos radioativos do manto e da crosta terrestre. Após os 30 metros de profundidade iniciais, em média, é percebido um aumento de temperatura em 33 °C por quilômetro de perfuração em direção ao núcleo da terra, esta variação é conhecida como gradiente geotérmico (unidade em °C/km) (Gomes, 2019).

A energia geotérmica não depende dos fatores climáticos externos, não depende diretamente da radiação solar, da chuva ou das marés. Por isso é considerada uma fonte inesgotável e contínua, sempre disponível em qualquer momento. Esta é a grande vantagem da energia geotérmica. Ela também permite ser utilizada de forma direta e indireta, podendo ser usada diretamente como fonte de calor para aquecimento residencial (Figura 2.18), fonte de calor em sistemas industriais, ou até mesmo em tratamentos medicinais e lazer, através das águas termais.

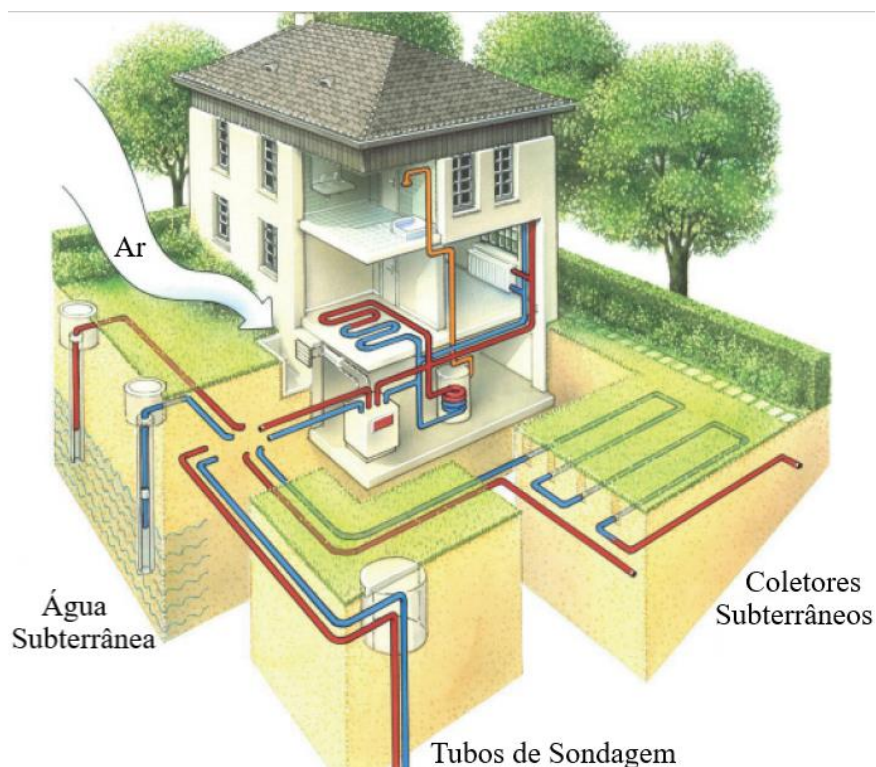


Figura 2.18 – Esquema de aquecimento residencial geotérmico (Quaschnig, 2010).

De forma indireta a energia geotérmica pode ser utilizada na produção de energia elétrica em casos muito específicos onde as fontes de calor superam os 150 °C. É uma solução difícil de ser implantada no meio urbano, exige equipamentos, materiais e mão de obra especiais, além de uma área adequada com geotermia suficiente. Porém, complementa Gomes (2019):

*“Também o facto desta energia representar uma energia local, ecológica e eficiente que permite atingir maiores níveis de sustentabilidade energética e ambiental, reduzindo a emissão de gases para a atmosfera e reduzir custos económicos, torna-a atractiva à escala global nas suas várias formas de exploração, a nível de usos diretos, geotermia superficial e estimulada. Além disso pode também funcionar paralelamente com outros sistemas, como o solar, constituindo por isso um fator de incremento da competitividade industrial e com efeitos positivos a médio e longo prazo no desenvolvimento da economia e na criação de emprego.”*

As centrais de geração de energia elétrica (Figura 2.19), não serão consideradas como solução viável para o problema deste trabalho, pois consistem resumidamente de poços escavados até os reservatórios geotérmicos, onde tubulações irão conduzir vapor ou água aquecida em alta pressão para as turbinas que vão transformar essa energia térmica em energia mecânica e por fim, movimentar um gerador de corrente que produzirá a energia elétrica. Esse vapor é então arrefecido e conduzido novamente para os poços subterrâneos, mantendo assim o equilíbrio hídrico do subsolo. Logo, é notável a grande complexidade de implantação de uma central de geração de energia geotérmica para abastecimento individual de um edifício. No nosso trabalho o foco são os edifícios patrimónios, logo o problema se agrava pela sensibilidade deste cenário (Nardin, 2018).

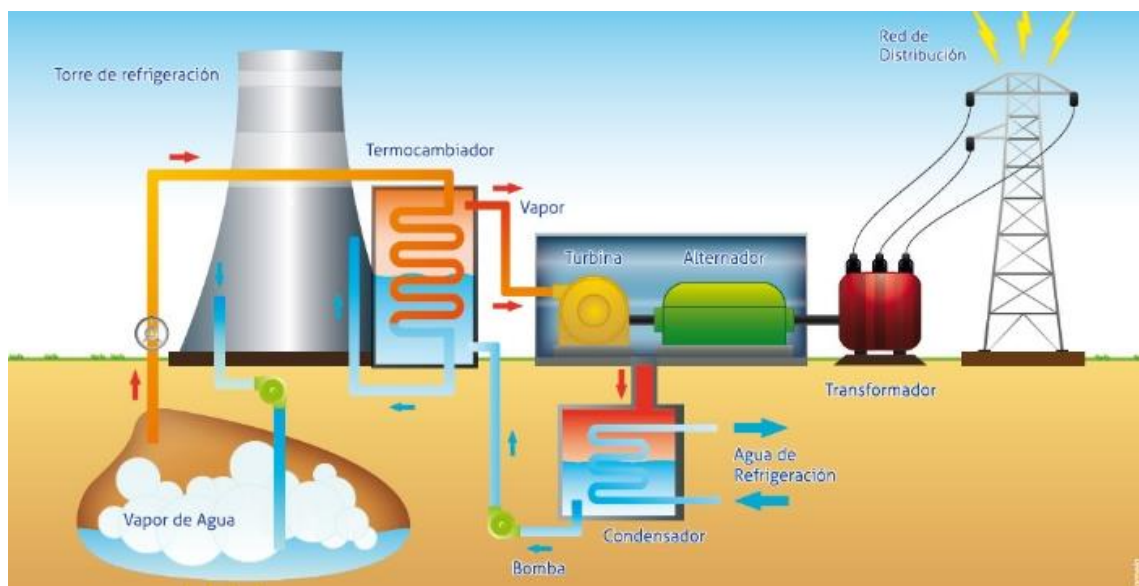


Figura 2.19 – Esquema de uma central geotérmica (Reis, 2019).

Porém, os sistemas de troca de calor utilizando a energia geotérmica pode ser uma ótima solução para reduzir o consumo energético do edifício de forma limpa, sustentável e económica, se este possibilitar a implantação do sistema.

*“Em Portugal continental apenas existe energia geotérmica de baixa entalpia, existindo já algumas aplicações diretas na climatização de edifícios e no aquecimento de piscinas e estufas. (...) A utilização de bombas de calor geotérmicas (BCG), surge apenas para as gamas de*

*temperaturas abaixo dos 40 °C, que corresponde à energia geotérmica de baixa ou muito baixa entalpia. (...) Deste modo, considera-se que os recursos hidrominerais, cuja temperatura seja superior a 20 °C, são suscetíveis de serem aproveitados na sua componente geotérmica.”* (Gomes, 2019).

Após análise desta revisão bibliografia sobre a energia geotérmica, é evidente a maior complexidade de instalação e de gestão destes sistemas. A geração de energia elétrica por esta fonte está claramente descartada. O seu possível uso em reabilitação de edifícios antigos, seria para regular a temperatura interna no edifício, porém, só é possível se o edifício possuir uma área externa com boa taxa de insolação para que o calor absorvido no solo superficial, pelos raios solares, possa ser utilizado pelo sistema da bomba de calor.

Mesmo não sendo esta a escala de aplicação deste trabalho, para casos de reabilitações coletivas, pela escala de um bairro ou conjunto de quarteirões, a energia geotérmica pode ser uma excelente solução para ser explorada, para aproveitamento da geotermia superficial de jardins, praças ou estacionamentos, gerando calor que pode ser introduzido em conjunto com as comunidades de energia.

## **2.5 Energia de Biomassa**

Biomassa de refere a qualquer material que tenha uma matriz orgânica na sua constituição, logo há uma grande quantidade de materiais que se encaixam nesse termo, de natureza bem heterogénea. Os plásticos e materiais fósseis são excluídos desse grupo, mesmo sendo compostos por carbono, pois estes não têm propriedades compatíveis com os materiais orgânicos. Assim pode-se afirmar em termos científicos que “biomassa” são compostos de origem biológica (Lorenzini et al., 2010).

Através da fotossíntese, as plantas transformam quimicamente a luz solar em energia química nas suas moléculas altamente energéticas. E é por esse motivo que a energia de biomassa é considerável renovável e inesgotável, por ser o Sol a sua origem primária. Porém, é necessário controle da vegetação utilizada, para que o consumo não seja superior à velocidade de regeneração da fonte de biomassa.

Há certa incompreensão da energia por biomassa quanto ao impacto ambiental que ela pode gerar, devido à libertação de gases poluentes, mas além da captação de gases durante o crescimento das plantas, a alternativa também é sustentável e ecológica, conforme Lorenzini et al, (2011) explica, “A quantidade de dióxido de carbono emitido durante a decomposição de biomassas, se acontecer naturalmente e através do processo de conversão de energia (mesmo que através de combustão), é equivalente ao absorvido durante o processo de crescimento desta mesma biomassa” [tradução própria].

As formas mais comuns de biomassa comercializadas são a lenha, os pellets de madeira para queima em fornos e lareiras, resíduos de serragem da madeira, carvão vegetal, biodiesel, bioetanol, biogás e óleos vegetais. A biomassa é geralmente convertida para facilitar o manuseio, o transporte e a sua comercialização. A transformação é apenas uma etapa da cadeia, a biomassa possui uma cadeia que se resume em, produção, coleta, conversão (por processo químico, bioquímico ou térmico) e utilização (Lorenzini et al., 2010).



Figura 2.20 - Diferentes utilizações da madeira como biomassa (Quaschnig, 2010).

Algumas formas de utilização da energia de biomassa, é através da geração de calor, como, por exemplo, utilização de biomassa como combustível para fogões e fornos domésticos (Figura 2.21), como combustível para caldeiras de aquecimento de água (Figura 2.22) e para aquecimento do ar em ambiente doméstico (Figura 2.23), podendo, ou ser individual por fogo, ou coletivo para o edifício. Atualmente a tecnologia do *rocket oven* e *rocket stoven* (forno foguete e fogão foguete) permite uma queima mais eficiente da biomassa, o design da câmara de combustão permite maior aproveitamento do calor e conseqüentemente gera uma redução do combustível queimado e do CO<sub>2</sub> gerado em comparação com um forno ou um fogão comum, para uma mesma quantidade de calor produzida.

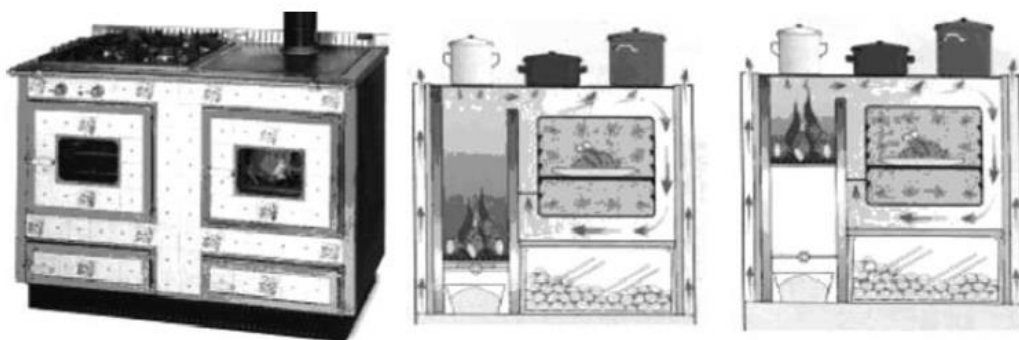


Figura 2.21 – Fogão/forno com uso de biomassa (Lorenzini et al., 2010).



Figura 2.22 – Aquecimento de água com uso de biomassa (Quaschnig, 2010).



Figura 2.23 – Aquecimento de ar com uso de biomassa (Quaschnig, 2010).

A biomassa também pode ser utilizada de forma individual através do tratamento, por exemplo, do lixo e dos dejetos sanitários, produzindo através de processos bioquímicos controlados, gases inflamáveis que podem ser utilizados na geração de calor (Lorenzini et al., 2010). Porém, estes sistemas necessitam de espaço, de controle e operação da cadeia de produção, por se tratar de produção de gás inflamável é necessário ter um protocolo de segurança. Sendo uma alternativa que deve ser estudada e projetada com bastante atenção e responsabilidade.

Para geração de energia elétrica a partir da biomassa, é necessária uma infraestrutura de grande porte que se resume num sistema de armazenamento, um sistema de geração de calor, turbina, gerador elétrico, sistema de distribuição, sistema de resfriamento e sistema de armazenamento de energia elétrica, se necessário. A implantação de geração de energia por um sistema termoelétrico pela queima de biomassa, é exigente, de custo alto e não se justifica para um ambiente residencial, individual em meio urbano.

Pelos motivos citados nos parágrafos anteriores, a energia por biomassa será inicialmente desconsiderada para produção de energia elétrica, mas considerada neste trabalho como uma solução de produção de energia térmica, reduzindo a necessidade de consumo de energia elétrica de uma edificação. Porém, é importante avaliar os riscos de utilização destas energias de biomassa em edifícios antigos, que fazem grande uso de madeira (elemento combustível) como material estrutural e de revestimento, aumentando o risco de incêndios.

A energia por biomassa, apesar de descartada para produção de energia elétrica, é uma alternativa para melhorar o desempenho energético do edifício, por ter um papel importante na produção de calor por fonte natural e não por fonte elétrica, sendo um forte aliado do objetivo deste trabalho. Pois, ao consumir menos energia elétrica mais plausível fica de o edifício alcançar a meta de ser um NZEB. Porém, cada caso deve ser analisado com rigor para implantação deste tipo de sistema, como o fornecimento e o custo de material e equipamentos, espaço seguro para a sua instalação e capacidade de operação e manutenção pelos seus utilizadores.

## **2.6 Considerações Gerais**

Além dos tipos de energia descritos nos itens anteriores, existem outras fontes de energias renováveis não apresentadas previamente neste capítulo, como a energia hídrica, a energia dos oceanos e a energia do hidrogénio. Há uma motivação para não abordar estes sistemas de geração de energia, é a falta de enquadramento como solução plausível para a problemática deste trabalho, após pesquisa sobre estas fontes de energia.

A energia hídrica consiste na transformação da energia potencial contida num volume de água disposto numa cota que permite escoamento para uma cota inferior, movimentando uma turbina durante esse escoamento e transformando a energia cinética deste movimento em energia elétrica (Quaschnig, 2010). Seja em escala de uma grande hidroelétrica ou uma mini-hidroelétrica, é necessário que haja disponibilidade de espaço para instalação do sistema e um curso regular de água com volume e inclinação suficiente. Algo pouco plausível de se encontrar num meio urbano no cenário da pesquisa deste trabalho.

A energia dos oceanos é ainda mais exigente que a energia hídrica, demanda previamente estudos detalhados e precisos e geralmente utilizam equipamentos complexos, com o detalhe que precisa ser instalada em região costeira ou submerso nos oceanos, é necessário ainda que as movimentações das massas das águas sejam aproveitáveis, logo não é uma solução para alimentação de uma edificação em centro urbano como a tipologia caracterizada neste trabalho.

O hidrogénio é uma excelente fonte de energia, por ser o elemento mais presente no planeta, tem uma eficiência energética grande e o seu processo de reação nas células de energia gera como resíduo apenas água e calor. Parece a princípio um combustível perfeito para geração

de energia elétrica, porém, na prática ainda não é assim, o hidrogénio na natureza não é encontrado livremente, está ligado aos outros elementos, formando compostos químicos e o processo de extração do hidrogénio é dispendioso e complexo. Em alguns métodos de separação há emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. Pelo custo, pela complexidade e as suas limitações, esta não é uma tecnologia plausível para geração de energia no processo de reabilitação de um edifício antigo (Quaschnig, 2010).

É pesquisado e apresentado, nos próximos capítulos deste trabalho, tecnologias que são plausíveis de enquadramento na problemática estudada. A revisão da literatura sobre os diferentes tipos de energias renováveis, sobre o património histórico e as construções antigas, permite concluir que esta pesquisa é multidisciplinar, assim como devem ser as reabilitações, uma reabilitação deve envolver conhecimentos de arquitetura, de engenharia mecânica, de engenharia elétrica e civil, sendo esta última a que possui o papel de gerir todos estes conhecimentos e incorporá-los na atividade de execução da reabilitação.

Desde já, fica claro o foco desta pesquisa nas soluções de produção de energia elétrica utilizada preferencialmente a energia solar pelos painéis de 3ª geração, pelas características de leveza e transparência, em conjunto com a energia eólica, através das microturbinas de eixo vertical, indicadas para meio urbano, devido aos ventos geralmente turbulentos causados pelos obstáculos próximos. Os demais sistemas não se enquadram para produção de eletricidade, porém são grandes aliados para produção de calor e a consequente redução do consumo energético do edifício.

## **3 ANÁLISE DAS EDIFICAÇÕES EM ZONAS HISTÓRICAS**

### **3.1 Tipologias dos Edifícios Antigos**

No cenário português, a classificação dos edifícios quanto a sua tipologia, é basicamente marcada pelo sismo ocorrido em 1755, onde antes desse acontecimento, os edifícios eram na sua maioria construídos com a utilização de pedra e madeira, destacando apenas dois tipos, as Casas com Andares de Ressalto e os Edifícios Seiscentistas (de 1500 até 1755), estes representam uma parte muito pequena dos edifícios construídos em Portugal que necessitam de reabilitação, por este motivo não são considerados objetos de estudo neste item do trabalho.

O parque construído mais significativo no território nacional, com necessidade de reabilitação, são os edifícios construídos aproximadamente após o ano de 1755 até o ano de 1960. Para ter maior objetividade neste trabalho, é dada maior ênfase nos edifícios históricos construídos no período aproximado de 205 anos após o sismo de 1755. Assim, os edifícios antigos construídos após 1755, podem ser classificados basicamente em três tipos, Pombalinos, Gaioleiros e de Placa, em resumo:

- Edifícios Pombalinos: Construídos aproximadamente entre 1755 e 1880, utilização da gaiola pombalina nas paredes, estrutura em madeira em todas as direções.
- Edifícios Gaioleiros: Construídos aproximadamente entre 1880 e 1940, algumas paredes são substituídas por alvenaria de tijolos, sem a estrutura de madeira, ou com ela deficiente.
- Edifícios de Estrutura Mista (madeira/placa): Construídos aproximadamente entre 1940 e 1960, incorporação do betão e do cimento, utilização de lajes finas de betão, paredes interiores em alvenaria de tijolos.

Com estas alterações dos sistemas construtivos, causadas pelos Gaioleiros e os Edifícios de estrutura mista, houve uma drástica alteração de rigidez, resistência e ductilidade das estruturas, de forma negativa, minimizando a segurança dos usuários, principalmente quanto aos sismos.

#### **3.1.1 Edifícios Pombalinos**

Sistema erudito de construção, com origem nos planos de reconstrução da baixa lisboeta e outros centros urbanos destruídos pelo sismo de 1755. Devido às gaiolas existentes e interligadas na alvenaria, quando o edifício é submetido às forças sísmicas, as paredes de alvenaria vibram em conjunto dissipando a energia de forma mais eficiente, minimizando os impactos no edifício.

Sem as gaiolas as paredes vibram de forma independente o que pode gerar grandes deslocamentos e fissuras, comprometendo a estrutura do edifício em função da intensidade do sismo.

Com a técnica de utilização das gaiolas pombalinas, houve uma industrialização da construção, pois principalmente os elementos em madeira e as guarnições em cantaria de pedra, podiam ser pré-fabricados para a sua posterior instalação. Houve uma maior integração com o planeamento urbano, pois o edifício era planeado numa lógica de quarteirão, o seu sistema estrutural era planeado em conjunto e não mais individualmente. Estes possuíam geralmente 4 pisos mais águas-furtadas, o rés-de-chão era destinado ao comércio ou armazém, os pisos superiores para habitação.

Em termos construtivos e de caracterização, pode-se dizer que as suas fachadas são sóbrias e ritmadas, há um alinhamento das cérneas, o pé-direito é generoso no primeiro piso e no rés-de-chão é com medidas próximas de 3,70 m, as águas-furtadas também recebem um pé-direito superior aos 2,50 m. Em cada piso há dois fogos simétricos, separados pela caixa de escadas e cada fogo possui duas portas de entrada, uma principal para as áreas nobres e outra para as áreas de serviço, não havia instalações sanitárias nos fogos.

### **3.1.2 Sistema Construtivo Pombalino**

As fundações são rasas, de alvenaria de pedra ligeiramente alargada, apoiadas em um sistema de estacas de madeira que confina o solo e aumentava a sua capacidade de suporte, estas estacas foram cravadas em linhas paralelas com distância média de 40 cm entre elas. As estacas possuem diâmetro de 15 cm e comprimento médio de 1,50 m, elas são unidas na parte superior por uma grade em madeira composta por longarinas e travessas (ambas circulares) com diâmetro de 15 cm e unidas por cavilhas de ferro fundido. Como era um sistema para solos húmidos, eram usados pinhos verdes, pois se mantinham bem conservados nesse meio.

As paredes exteriores eram espessas, para garantir resistência mecânica, estanquidade e conforto térmico. No rés-de-chão as paredes e pilares eram em cantaria, com abóbadas em cantaria ou de arestas em alvenaria. Nos demais pisos as paredes exteriores também eram chamadas de paredes mestras e eram executadas em alvenaria. As paredes internas recebiam a estrutura de madeira em “gaiola”, em formato da cruz de Santo André, estes pórticos eram contraventados e perpendiculares entre si.

As paredes de pedras no rés-de-chão possuem medida próxima de 90 cm em espessura e vai diminuindo a secção nos pisos superiores, estas alvenarias em pedra eram rebocadas e ligadas internamente por elementos de madeira de carvalho ou azinhos, para dar maior travamento para a parede. Os pilares eram em grandes blocos de pedra emparelhados. Já as paredes meeiras

eram com espessura média de 50 cm, não possuíam nenhuma abertura, eram em pedra rebocada e tinham também função de corta-fogo.

As escadas possuem dois lances onde os primeiros dois lances são em pedra, os demais em madeira. As divisões internas, eram bem compartimentadas, por paredes resistentes (frontais) e por paredes sem função resistente (tabiques). Estes frontais e a estrutura de madeira das paredes exteriores, torna a estrutura flexível com boa capacidade de dissipação de energia sísmica sem comprometer a vida útil do edifício. A Figura 3.1 mostra o arquétipo estrutural dos Pombalinos.

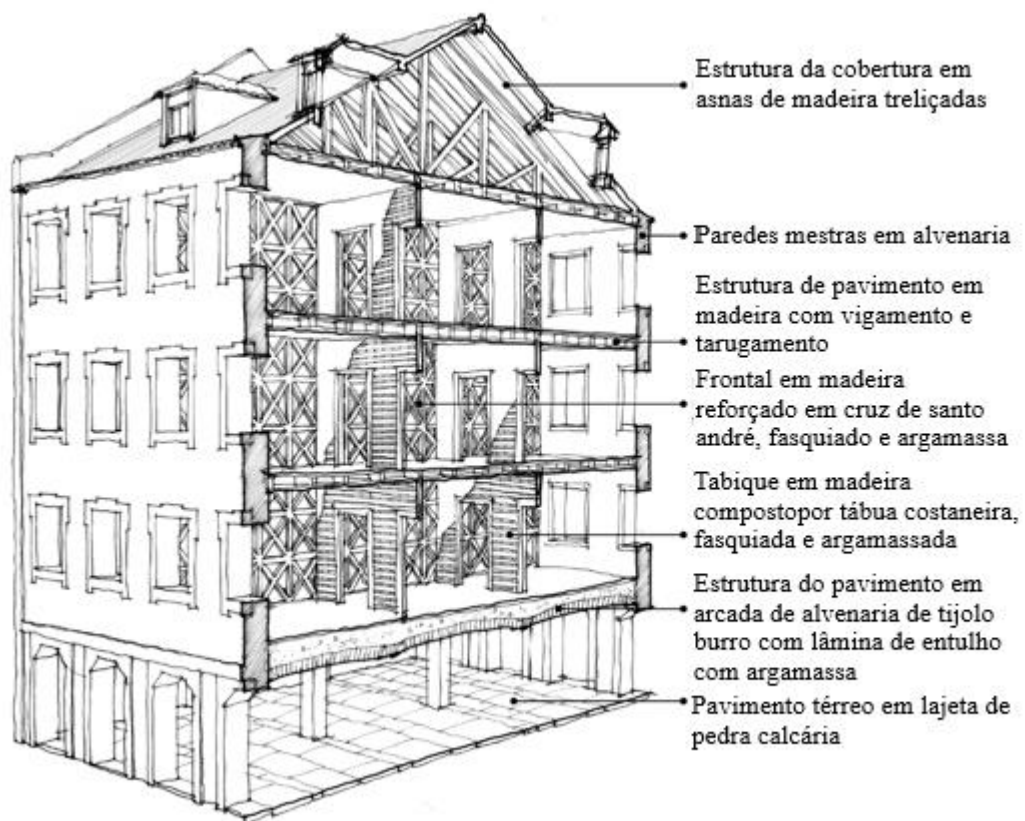


Figura 3.1 – Arquétipo estrutural pombalino (Ordem dos Arquitectos, 2016).

### 3.1.3 Edifícios Gaioleiros

No século XIX o sismo de 1755 foi ficando no esquecimento, em conjunto com o alto crescimento dos centros urbanos, que necessitavam de novas habitações, surgiram os Gaioleiros na tentativa de simplificar os processos construtivos, diminuindo o custo e o tempo de construção, porém, ao preço da perda de segurança contra os sismos, estes não tinham preocupações com a solidez e a resistência da estrutura. Estes edifícios são resultados da adulteração irresponsável dos edifícios Pombalinos.

Estes novos edifícios da época apresentavam maior área e maior quantidade de pisos que os Pombalinos. Devido ao Regulamento de Salubridade das Edificações Urbanas de 1903, os

Gaioleiros podem ser divididos em dois tipos, os anteriores e os posteriores ao regulamento até os anos 30, aqueles após os anos 20 ainda incorporaram o modernismo com decorações em *Art déco* nas fachadas.

### **3.1.4 Sistema Construtivo Gaioleiro**

Os Gaioleiros já não apresentavam a preocupação coletiva de integrar ao quarteirão, eram construídos em lotes estreitos e profundos, em maiores alturas, fachadas mais elaboradas com influência francesa, porém, estruturalmente ainda débeis. As fundações são rasas e diretas, nas paredes de empenas a fundação muitas vezes é de má qualidade.

As paredes exteriores são em alvenaria de pedra irregular argamassada, com 90 cm de espessura no piso térreo chegando a apenas 30 cm no último piso. Este tipo já apresentava saguão, e as paredes destes e as paredes de empena eram em tijolo maciço. As paredes internas eram de alvenaria de tijolos confinadas por uma malha ortogonal de montantes e travessa, aos níveis dos pavimentos, ao meio do vão e nos contornos das portas e nos topos. Paredes de tabique de tábua ao alto, faiscado e argamassado.

Pavimentos em madeira, com apoio direto nas paredes exteriores, sem apoio nos frechais ou apenas pregados nos mesmo e apoiados nas paredes interiores, vigas perpendiculares as fachadas, algumas vezes subdimensionadas. As coberturas em madeira, já as escadas de serviço e as marquises do tardo foram construídas em ferro. A Figura 3.2 mostra o arquétipo estrutural dos Gaioleiros.

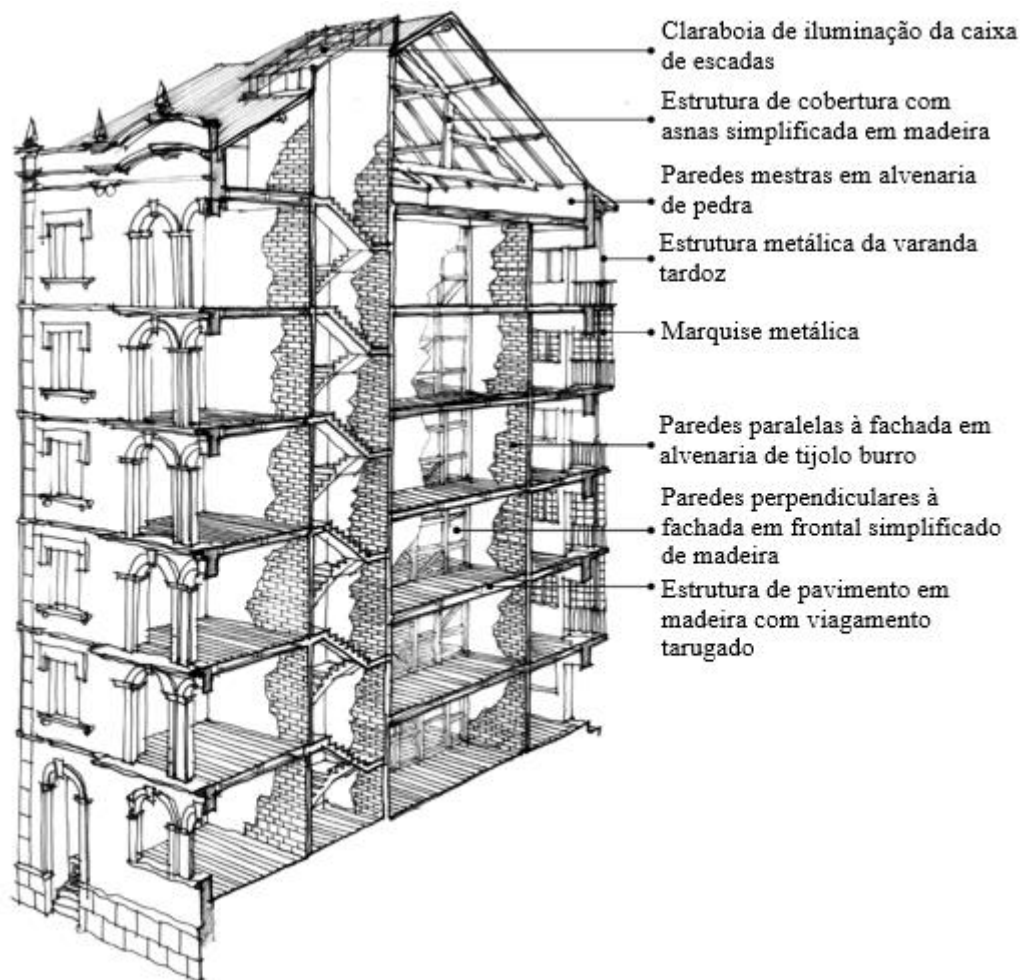


Figura 3.2 – Arquétipo estrutural gaioleiro (Ordem dos Arquitectos, 2016).

### 3.1.5 Edifícios de Estrutura Mista

Os edifícios de estrutura mista começaram com os Edifícios de Madeira/Placa que são os edifícios precursores dos Edifícios de Placa, nesta tipologia começa a ter a introdução de elementos em betão armado, são as lajes em betão. Com os novos regulamentos para as construções urbanas, havia uma preocupação em utilizar matérias mais resistentes ao fogo para evitar novos incêndios, neste contexto, novos hábitos também traziam novas exigências, como a necessidade de materiais não putrescíveis para as cozinhas e áreas sanitárias, na esperança de evitar os problemas comuns de apodrecimento das estruturas de madeira.

Os construtores começaram então a utilizar o betão de forma modesta apenas nas áreas molhadas, porém, com os resultados obtidos começou a estudar a possibilidade de toda a laje do piso ser em betão armado, e assim surgiram os Edifícios de Placa, primeiramente para edifícios da iniciativa pública. São em geral construções de modestas dimensões e boa homogeneidade.

No contexto histórico estes tipos de edificações encontraram algumas dificuldades, como a falta de aço devido ao grande consumo do material nas indústrias bélicas durante o período

de guerras na Europa e ainda a falta de maturidade quanto à produção e utilização do cimento Portland. É verificado nestas tipologias, uma ligação deficiente entre as paredes portantes e as lajes de betão, também entre a ligação das diferentes lajes entre si e lajes subdimensionadas.

### **3.1.6 Sistema Construtivo Estrutura Mista**

As fundações destes edifícios são rasas e diretas semelhantes aos anteriores, inicialmente nos edifícios de madeira/placa o betão é utilizado apenas nas zonas que eram obrigatórias (zonas húmidas), as paredes exteriores são em alvenaria ordinária de pedra argamassada ou tijolo burro, as paredes das caixas de escadas e as divisórias dos fogos são em tijolos cerâmicos maciços. As paredes divisórias dentro dos fogos são em tijolos cerâmicos perfurados.

As lajes de betão armado colocadas nas zonas húmidas, têm em média 10 cm de espessura e são armadas com uma tela de varões lisos de aços colocada na metade da secção da laje. As escadas também são em betão armado com o mesmo tipo de varão e possuem, no topo, uma claraboia para a sua iluminação. As plantas possuem certa homogeneidade e raramente o edifício ultrapassa cinco pisos.

As coberturas são em madeira com asnas mais simplificadas que as tipologias anteriores. As varadas presentes na fachada do tardo são fechadas com janelas de estrutura metálica. Nos ambientes comuns os pavimentos eram em madeira com vigamento e tarugamento também em madeira. Na Figura 3.3 percebe-se o arquétipo dos edifícios de madeira/placa.

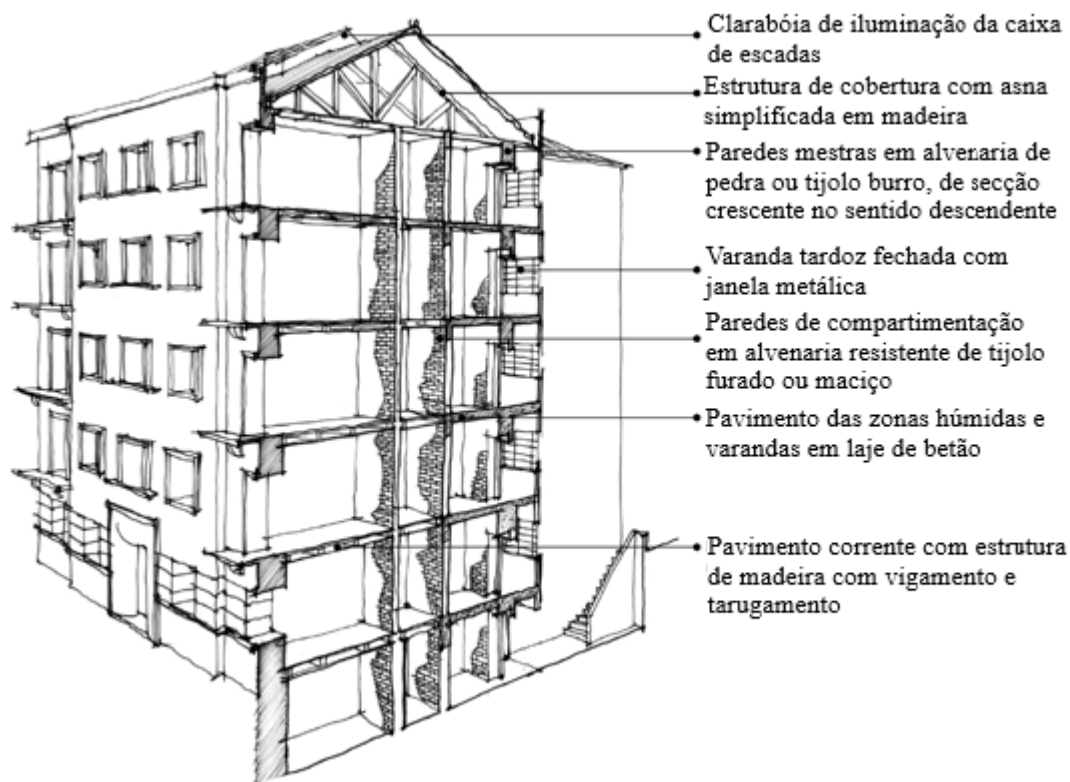


Figura 3.3 – Arquétipo estrutural dos edifícios de madeira/placa (Ordem dos Arquitectos, 2016).

Na tipologia dos Edifícios de Placa (Figura 3.4), apresentam as mesmas características, porém, com a variante que todo o piso é em betão e não somente as áreas húmidas, as lajes têm as mesmas características, 10 cm de espessura, armada com tela de aço em varão liso, colocada a meia altura. E outra variante são as paredes, quem podem ser:

- Paredes exteriores em alvenaria ordinária de pedra calcária, paredes de empena em betão armado, com as paredes internas de divisão dos fogos em tijolos cerâmicos maciços e as paredes internas dos fogos em tijolo cerâmico perfurado.
- Paredes exteriores, da caixa de escada e da divisão de fogos em tijolo cerâmico maciço, demais em tijolos cerâmicos perfurados ou blocos de betão.
- Paredes exteriores, da caixa de escada e da divisão de fogos em tijolo cerâmico perfurado.
- Paredes exteriores, da caixa de escada e da divisão de fogos em blocos de betão.

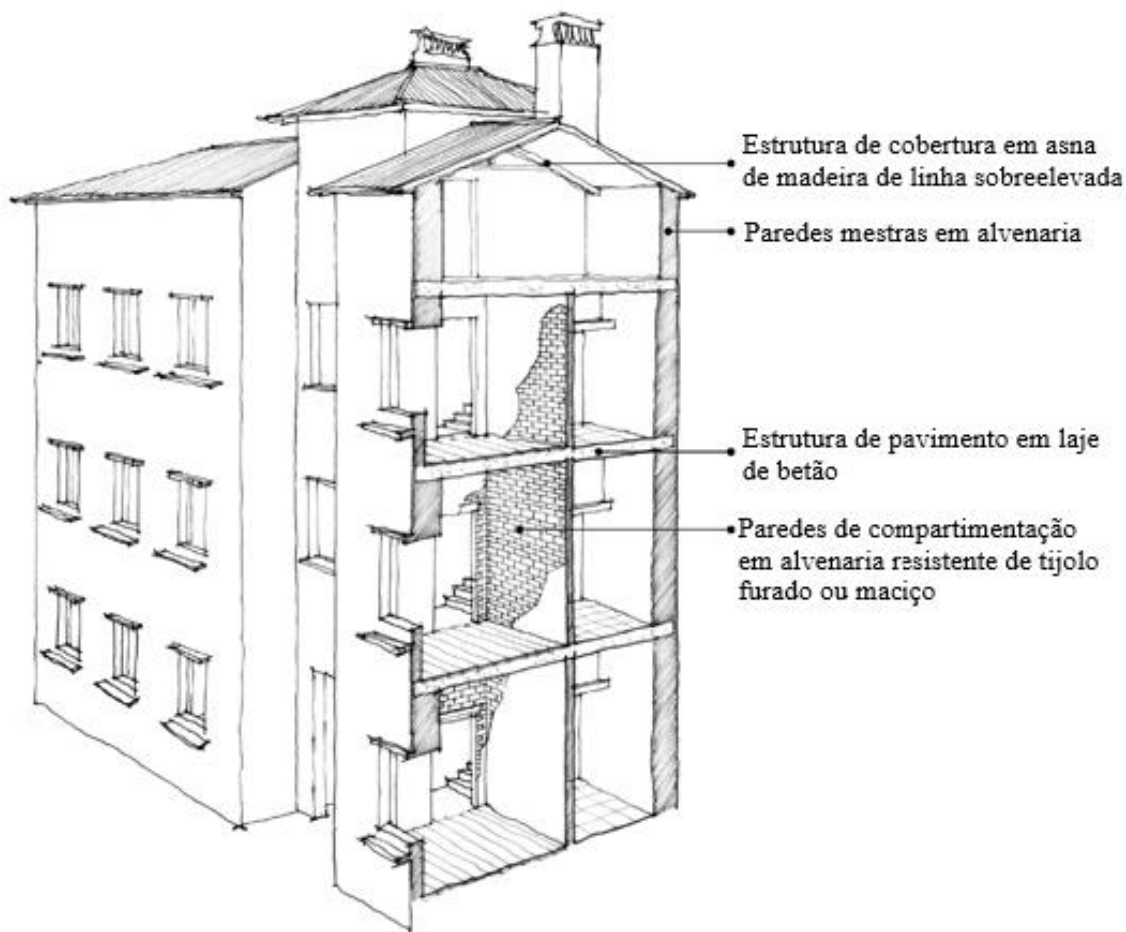


Figura 3.4 – Arquétipo estrutural dos edifícios de placa (Ordem dos Arquitectos, 2016).

### 3.1.7 Síntese dos Sistemas Construtivos Correntes

Em geral, os edifícios antigos têm o predomínio das fundações rasas, diretas ou indiretas, são alvenarias com determinado alargamento em relação à sua secção corrente, permitindo uma melhor dissipação das forças no solo (Figura 3.5), ou em estacas curtas de madeira. Porém, em casos em que a fundação não era possível de ser feita desta forma, por presença de solo sem capacidade de suporte na superfície, era então escavado e surgiam as caves, para alcançar um solo melhor, ou utilizavam-se de poços de fundação escavados com regular afastamento. As fundações por estaca de madeira cravada, eram limitadas pelo porte das árvores existentes na região e pela capacidade da energia de cravação que era possível mobilizar.

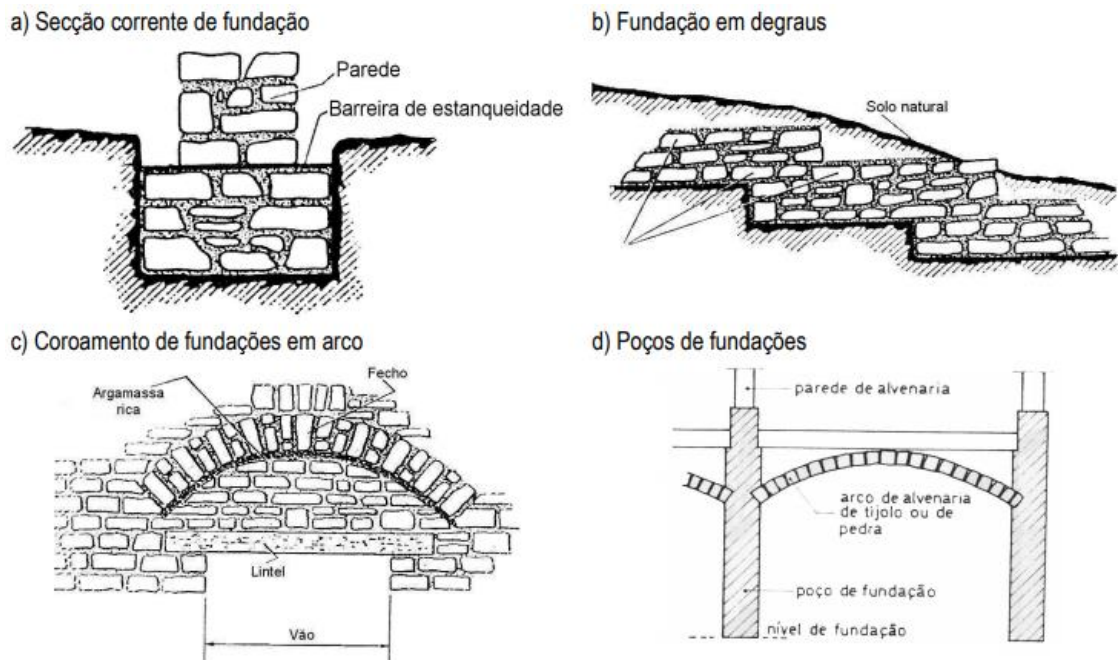


Figura 3.5 – Fundações correntes em edifícios antigos (Sousa, 2003).

Nos edifícios antigos as paredes exteriores além do papel de vedação, também empenham o papel estrutural, predominam as alvenarias resistentes, sendo mais comum os tipos:

- Cantaria – paredes de pedra, com faces aparelhadas, ligadas por argamassa de cal ou simplesmente justapostas, ou sobrepostas, geralmente calcário ou granito, estas possuem grande presença em prédios de maior valor monumental;
- Alvenaria de pedra – paredes irregulares, aparelhadas em uma das faces, geralmente à vista, também em calcário ou granito;
- Alvenaria ordinária – paredes irregulares em forma e dimensão, ligadas com argamassa ordinária, levemente ordenadas com intuito de posteriormente serem rebocadas;
- Alvenaria de pedra seca ou insossa – Paredes de pedra sem o uso de argamassa na ligação das pedras, geralmente em construções do meio rural, ou regiões pobres, onde havia escassez de cal;
- Paredes mistas – Paredes com misturas de técnicas como cantaria e alvenaria de tijolo, ou alvenaria de tijolos com armação de madeira, entre outras combinações possíveis;
- Alvenaria de tijolo – Paredes construídas com tijolos e argamassa.
- Paredes de adobe ou taipa – Paredes construídas com blocos de terra secos ao sol ou terra compactada no local da parede, possuem pouca expressão no território português.

As caixilharias presentes nestas paredes são basicamente em madeira, o formato, as suas dimensões e geometrias variavam conforme a região, a época, a disponibilidade financeira e o estilo arquitetónico desejado.

Nos elementos estruturais horizontais, em alguns casos mais específicos, em função do tipo de edifício e a sua utilização, podem ser encontrados arcos e abóbadas de alvenaria, em caso de grandes vão e em caves com presença de humidade também são utilizados os arcos e as abóbadas no teto. Porém, o mais corrente é encontrar a estrutura horizontal em madeira, com a utilização de vigas em madeira, com fixação por elementos de ferro fundido ou encaixes talhados na madeira.

Nas coberturas de edifícios antigos existe o predomínio dos telhados inclinados, com duas, ou três, ou quatro águas, com telhas cerâmicas (poucos casos com xisto em determinadas regiões), a sua estrutura é em madeira com asnas e outras peças secundárias. Existem casos específicos de cobertura plana (como os pavimentos, porém, sem permeabilidade) em algumas regiões com clima favorável, porém, são poucos casos, já os edifícios de finalidade militar ou religiosa, é comum encontrar cobertura com estrutura em arcos e cúpulas de alvenaria.

As paredes de compartimentação mais comum no território nacional eram de tabique, que basicamente são tábuas fixadas verticalmente nos pavimentos, ou inclinadas, onde se prega o fasquiado, pequenas régua de madeira com secção trapezoidal, para melhor aderência do reboco, em alguns casos faziam a “lascagem” da madeira para melhorar esta aderência do reboco.

Nos edifícios pombalinos eram feitas as estruturas em madeiras conhecidas como cruces de Santo André, pregadas ao pavimento e aos frechais. Os tijolos de adobe eram utilizados em algumas construções, mas era uma técnica mais usual em determinadas regiões.

Os revestimentos utilizados dependiam de qual foi o tipo de alvenaria construída e da importância dada ao mesmo, edifícios públicos, religiosos e destinados para pessoas com grande poder económico recebiam melhores revestimentos que os edifícios correntes da época. Tradicionalmente os mais comuns são:

- Estuques.
- Argamassas de areia e cal aérea (ou saibro).
- Argamassas hidráulicas com pozolanas.
- Madeiras (teto, divisórias e pavimentos).
- Pedras.
- Cerâmicos tradicionais.
- Pinturas tradicionais (cal, fixadores e aditivos).
- Telhas cerâmicas e colmo.

- Cerâmicos e chapas metálicas de cobre ou chumbo (terraços).

Os edifícios antigos não dispunham de instalações sanitárias, elétricas, de telecomunicação, gás e águas pluviais, porém, muitas adaptações foram feitas ao longo do tempo, todavia com materiais inadequados e não compatíveis com o existente, paredes e pavimentos foram danificados para a passagem dos diversos tubos e cabos. Os materiais iniciais das construções também não previam a maior presença de água dentro do edifício, assim como não previam o aumento da carga na estrutura, como, por exemplo novos revestimentos nas casas de banho e nas cozinhas, ou o acréscimo de peso e humidade nas paredes exteriores pela fixação dos tubos de queda e dos cabos elétricos.

A Tabela 3.1 traz de forma bastante sintética os tipos de sistemas correntes que encontramos nos edifícios antigos:

*Tabela 3.1 – Sistemas construtivos correntes em edifícios antigos (próprio autor).*

Sistema	Características e Técnicas	Sistema	Características e Técnicas
Fundação	-Fundações rasas e diretas em alvenaria de pedra alargada. -Fundações rasas e indiretas com estacas de madeira. -Caves e poços de fundação para alcançar solo mais estáveis.	Paredes Interiores	-Tabique. -Alvenaria de tijolo. -Alvenaria mista com adobe e elementos de madeira.
Paredes exteriores	-Cantaria. -Alvenaria de pedra. -Alvenaria ordinária. -Alvenaria de pedra seca. -Paredes mistas. -Alvenaria de tijolo. -Adobe ou taipa.	Cobertura	-Estrutura em madeira. -Telhas cerâmicas. -Telhas em ardósia. -Alguns casos apresentavam elementos metálicos nas coberturas.
Caixilharia	-Madeira e vidro. -Edifícios que já sofreram alguma intervenção mais recente podem ter caixilharias metálicas, ou em elementos em plástico.	Revestimentos	-Estuques. -Argamassa de areia e cal. -Argamassa hidráulica. -Revestimento em madeira. -Revestimento em pedra. -Cerâmicos tradicionais. -Pinturas. -Azulejos. -Chapas metálicas.
Estrutura horizontal	-Arcos de alvenaria. -Abóbodas de alvenaria. -Vigamentos em madeira. -Vigamentos metálicos com abobadilhas. -Placas de betão com “armadura” em aço liso.	Instalações elétricas, hidráulicas e sanitárias	-Estes sistemas não existiam nos edifícios até a segunda metade do século XX, foram implantadas aos poucos nos edifícios através de beneficiações para adaptarem aos novos regulamentos. Muitos necessitam de reparo ou readequação.

## 3.2 Gestão da Reabilitação

É necessário definir qual o tipo de interferência (Figura 3.6) será feito no edifício, se será manutenção, ou reabilitação, esta última pode ser dividida em beneficiação ou recuperação, cada uma possui as suas devidas particularidades. A introdução dos sistemas de geração de energia num edifício antigo, é por natureza uma atividade de beneficiação, visto que nenhum edifício antigo possuía este tipo de sistema na sua conceção.

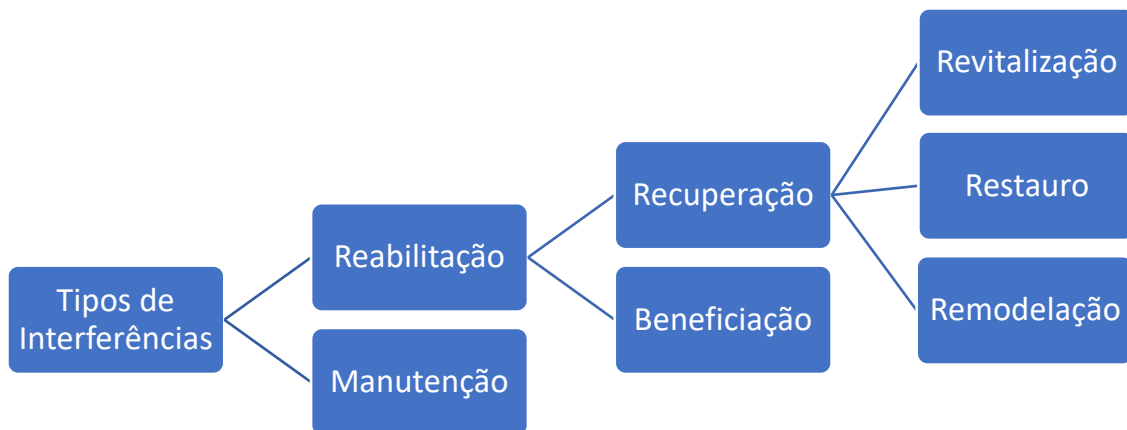


Figura 3.6 – Esquema dos tipos de interferências (próprio autor).

A reabilitação é uma atividade com grande especificidade, pois cada edifício possui um comportamento único, com um histórico próprio de construção, manutenção e utilização durante a sua vida útil, exige então uma reunião de conhecimentos diferentes com uma equipa multidisciplinar para elaboração precisa dos diversos projetos, desde a fase de diagnóstico até a conclusão da obra. Sinteticamente, Silva (2008) aponta para as principais dificuldades encontradas no processo de reabilitação:

- Falta de viabilidade económica em grandes intervenções;
- A ocupação dos edifícios durante a reabilitação;
- Assegurar a generalidade das exigências garantidas em obras novas;
- Incerteza na variação do custo de construção, tendo a tendência de serem mais caros;
- Os materiais necessários podem não ser correntes no mercado da construção;
- Falta de informações sobre o histórico da construção.

O processo de reabilitação inicia pelos estudos prévios, investigando a situação existente, analisando a envolvente, os edifícios vizinhos, as viabilidades e as condicionantes ao processo, nesta etapa de investigação é que se deve já introduzir a correlação com a possibilidade de implantação das energias renováveis, pois a envolvente pode, por exemplo, ser fator eliminatório para a implantação dos sistemas de geração de energia solar e eólica. Podemos

separar estes processos iniciais através das seguintes condicionantes, conforme Silva (2008) apresenta:

- Morfologia urbana e morfologia parcelar: nesta etapa, avalia a geometria do edifício ou do quarteirão, observando frente, profundidade, cêrcea, percentagem de ocupação, o espaço de logradouro correspondente, acessos, valores históricos e arquitetónicos mais marcantes;
- Espaço público de serventia: análise do espaço envolvente, ruas, avenidas, passeios, transportes públicos, estacionamento, espaços de lazer e cultura, analisando as suas localizações, dimensões, identificações e as suas pendentes;
- Fatores de guarnição urbanística: nesta etapa faz a análise se é possível a incorporação de elementos como, estacionamento dentro do edifício, serventia de equipamentos coletivos, infraestruturas de saneamento básico, águas pluviais, abastecimento de água, sistemas elétricos e de telecomunicações e local próprio para condicionamento do lixo doméstico;
- Valores significantes e dissonantes: estes são mais relevantes para análise de um quarteirão ou um conjunto de edifícios, nesta análise é feita uma comparação entres os diferentes estilos arquitetónicos, com os pontos em harmonia e os pontos discrepantes;
- Historial urbanístico de base: levantamento do histórico do edifício ou do logradouro, com datas das construções, alterações, manutenções, técnicas e materiais utilizados;
- Condicionantes urbanísticas do Plano Diretor Municipal (PDM): análise e submissão para as condicionantes limitadoras e impostas pelo PDM.
- Reconhecimento tipológico: análise das frações dos imóveis, a sua organização tipológica, dimensões disponíveis e as funcionalidades instaladas;
- Volumetria do edificado: análise da cêrcea do edifício ou da média daqueles presentes numa rua ou zona. Atenção aos pavimentos enterrados.
- Estrutura tipológica e funcional: análise da tipologia em relação à fração ser única ou variada, em frente, traseira, esquerdo ou direito, ou seja, os princípios organizativos, que resultam da disponibilidade da frente de construção. Que também condiciona as áreas comuns verticais, horizontais e as serventias autónomas.

### 3.3 Limitações e Dificuldades

A implantação de sistemas de geração de energia elétrica por fonte solar ou eólica não possuem influência considerável no sistema de fundação dos edifícios, por serem equipamentos relativamente leves, estes não causam sobrepeso ou qualquer outro tipo de dano nas fundações.

As paredes exteriores podem apresentar algumas possíveis limitações para a instalação dos equipamentos de geração de energia, seguem algumas das limitações:

- Falta de conhecimentos das propriedades mecânicas das paredes exteriores, para receber os esforços mecânicos dos possíveis equipamentos de geração.
- Se fixar o aerogerador nas paredes e houver falta de coesão entre os materiais, a vibração do equipamento pode gerar desagregação e fissuras, tanto dos tijolos, como dos rebocos e revestimentos.
- Fica impossibilitada a fixação direta de painéis ou películas fotovoltaicas nas paredes exteriores, pois estas precisam “respirar”, é necessário que a parede permita a evaporação da humidade, estes equipamentos são impermeáveis e não permitiria esta troca de vapor.
- Esteticamente, estas paredes não permitem alterações visuais em diversas situações, como, por exemplo, revestidas com azulejos, estes não podem ser danificados ou escondidos, ou seja, os equipamentos não podem alterar ou prejudicar o valor histórico e arquitetónico.
- Determinados revestimentos não possuem características mecânicas para suportar os esforços provenientes da fixação de equipamentos, como painéis ou aerogeradores, podendo fendilhar, desagregar ou se soltar da alvenaria.

A estrutura em madeira da cobertura existente muitas vezes subdimensionada pode não suportar o peso dos equipamentos a serem instalados, ou dos próprios instaladores, caso que obriga uma maior investigação da capacidade de suporte da estrutura e se necessário, execução de reforço estrutural ou execução de nova estrutura.

As telhas, por sua vez, se não forem trocadas por telhas novas, é necessário investigar como está a sua capacidade resistente e a sua permeabilidade, pois a instalação de equipamentos sobre o telhado, gera maior movimentação de pessoas sobre a cobertura para instalação e manutenção dos equipamentos, podendo ocasionar quebras ou deslocamentos das telhas. Os equipamentos que causam vibrações como as microturbinas eólicas podem aumentar o desgaste das telhas, a sua fissuração e deslocamentos. As instalações de painéis fotovoltaicos sobre as telhas podem gerar regiões de sombra nas telhas, que quando húmidas, podem gerar o desenvolvimento de agentes biológicos e sujidades.

As paredes interiores podem vir a sofrer cortes na sua secção na intenção de esconder os tubos, quadros e cabos necessários para os equipamentos de geração de energia, logo, é necessário prever se as paredes que serão cortadas, irão ter o seu comportamento e as suas características mecânicas preservadas. Outra limitação pode ser o tipo de revestimento ou material das paredes, que pelo seu valor histórico e arquitetónico, não pode ser danificado, sendo necessário alterar o caminho da infraestrutura elétrica ou optar por condutos externos às paredes.

Uma das opções de implantação dos sistemas de geração de energia, são nas áreas das janelas, através de vidros fotovoltaicos, películas em portadas interiores com dupla função de bloquear parcialmente a entrada da luz e produzir energia elétrica, porém, é necessário ter atenção para a interferência nos aspetos arquitetónicos, nas caixilharias que devem ser preservadas sempre que possível e no acréscimo de peso nas paredes das fachadas. Todos os equipamentos de geração energia estão interligados com cabos, as janelas antigas não previam isto, logo este é mais um detalhe que deve ser pensado, em qual o caminho que os cabos elétricos irão percorrer.

Os sistemas de geração de energia solar e eólica, são constituídos por um conjunto de equipamentos além dos painéis fotovoltaicos e dos aerogeradores, como, por exemplo, as baterias, os controladores de carga e os inversores, estes equipamentos ocupam certo espaço e possuem recomendações de instalações pelos seus fabricantes, é necessário durante a fase de projeto e investigação ter a atenção para os locais onde estes equipamentos serão instalados, de forma que permita o funcionamento eficiente e a facilidade de acesso para manutenção ou reparo.

A envolvente do edifício a ser reabilitado é de extrema influência na aplicação dos sistemas de geração de energia eólica e solar, pois além da possível formação de ventos turbulentos e da formação de sombra pelos edifícios vizinhos, também tem o fator social, a sociedade e as autoridades precisam aprovar a utilização dos sistemas, segue um exemplo para ilustrar esta condicionante, a vista do Castelo de São Jorge (Figura 3.7) é uma das vistas mais conhecidas e turísticas da cidade de Lisboa, a harmonia entre os telhados dos antigos edifícios do histórico bairro de Alfama é de grande beleza, numa situação hipotética onde haveriam painéis solares e microturbinas eólicas nestes telhados, haveria grande interferência visual e uma inicial rejeição social.



Figura 3.7 – Vista área da baixa de Lisboa a partir do Castelo de São Jorge, com pormenor para os telhados (fonte: Andreia Moscoso).

Todas as limitações e dificuldades citadas nos parágrafos anteriores devem ser previstas e solucionadas ainda na fase de projeto. A utilização dos sistemas de geração de energia deve ser considerada antes do início dos projetos executivos, ainda na conceção da reabilitação, pois a sua presença no edifício traz novas preocupações e novas interferências, não apenas na instalação durante as obras, mas na sua vida útil durante a manutenção e o reparo dos sistemas.

## 4 ANÁLISE DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS

Neste capítulo serão apresentados os principais e possíveis sistemas de produção de energia solar e eólica que podemos implantar nos edifícios antigos, sejam eles correntes, ou classificados, ou monumentais. Por conceito, é racional dizer que os edifícios correntes são mais flexíveis quanto a possibilidade de implementação de energias renováveis, pelo então “menor” reconhecimento do seu valor histórico e artístico.

O tipo de tecnologia, de sistema a ser utilizado vai depender das limitações do edifício. O tipo de painel fotovoltaico e a sua área de captação da luz solar vai pré-determinar quais serão os demais equipamentos que serão utilizados no sistema. O mesmo acontece no sistema eólico, o aerogerador utilizado irá ditar os demais equipamentos necessários no sistema.

Sem a intenção de entrar no mérito do dimensionamento e do custo financeiro de cada equipamento, serão citados no próximo subitem os equipamentos básicos e disponíveis no mercado para os sistemas de geração de energia elétrica, considerados plausíveis para a solução deste problema, sendo determinada, ou não, a sua utilização apenas na fase de projeto, conforme as características individuais de cada edifício.

### 4.1 Sistemas de Geração Comuns

Um sistema básico de energia solar fotovoltaico ou eólico pode ser isolado da rede quando são sem ligação na rede pública, ou podem ser conectados à rede pública. O sistema ligado à rede, apresenta a vantagem de não ser necessário sistema de armazenamento (como, por exemplo, baterias), nem sistema de melhoria da qualidade de geração (reguladores de tensão e corrente, filtros, entre outros) e nem de sistema de adaptação (como, os inversores para transformar corrente contínua em corrente alternada) porque esses serviços são desnecessários ou são garantidos pela rede. Além da redução de espaço necessário para instalação do sistema, existe um menor custo de instalação. Contudo, os sistemas isolados da rede não pagam a tarifa de potência diária à rede.

Os equipamentos principais do sistema fotovoltaicos e eólicos são:

- Painéis ou filmes fotovoltaicos – Responsável por transformar a energia solar em energia elétrica.
- Aerogeradores eólicos - Responsável por transformar a energia eólica em energia elétrica.
- Controladores de carga – Regulam o sistema, evitando sobrecargas nas baterias, preservando a vida útil e o seu correto funcionamento.

- Inversores – Responsáveis pela sincronização do sistema com a rede pública e com a conversão de corrente entre contínua e alternada, também entre as voltagens de entrada e saída conforme a necessidade de utilização.
- Baterias – Armazenam a energia elétrica para serem utilizadas posteriormente quando a produção do painel, ou do aerogerador, é inferior à demanda.
- Relógio medidor bidirecional – Equipamento para medir o fluxo de corrente entre o sistema de geração do edifício e a rede pública.

Independente de como será instalado o equipamento de geração (aerogeradores e equipamentos fotovoltaicos), ou o seu modelo, os demais equipamentos são necessários e cada um possui a sua particularidade em relação à instalação e ao funcionamento.

A estrutura de suporte dos painéis deve ser resistente, leve e compatível com a vida útil desejada do sistema, os materiais mais utilizados são o alumínio anodizado, ferro galvanizado, aço inoxidável e madeira em certos casos. A estrutura em alumínio é a mais leve, o ferro é indicado para cargas mais pesadas e o aço para ambientes mais corrosivos como as regiões no litoral.

Para a tipologia dos edifícios estudada neste trabalho, o cenário de menor impacto seria de instalação nos telhados ou fora do edifício. Os painéis fotovoltaicos podem ser instalados em série quando se deseja maior tensão ou em paralelo quando a tensão do módulo for suficiente, a forma de ligação depende da necessidade de cada caso e dos equipamentos que estão sendo utilizados no sistema.

De acordo com o último levantamento do PORDATA (2018), o consumo médio de energia elétrica por consumidor doméstico ao ano, em Portugal, é de 2.240,5 kW, o ideal seria um sistema no edifício que consiga produzir uma quantidade de energia elétrica equivalente a esta média por fogo. A área de painéis fotovoltaicos necessária para produção desta quantidade de energia vai depender da potência dos painéis, a sua dimensão e a taxa de radiação solar do local de instalação.

A empresa Jinko Solar é a maior fabricante mundial de painéis fotovoltaicos, a sua linha de painéis solares Tiger Pro (Figura 4.1) é a mais eficiente delas, com eficiência de 21,33 %, e potência máxima de 550 W para painéis com 144 células. Para efeito da reabilitação é importante considerar o peso destes painéis e da sua estrutura de suporte no dimensionamento da cobertura, os painéis desta linha da empresa Jinko Solar, variam entre 11,3 kg/m<sup>2</sup> e 12,9 kg/m<sup>2</sup>, a relação média custo/potência instalada é de 0,5 €/W (Jinko Solar, 2020).

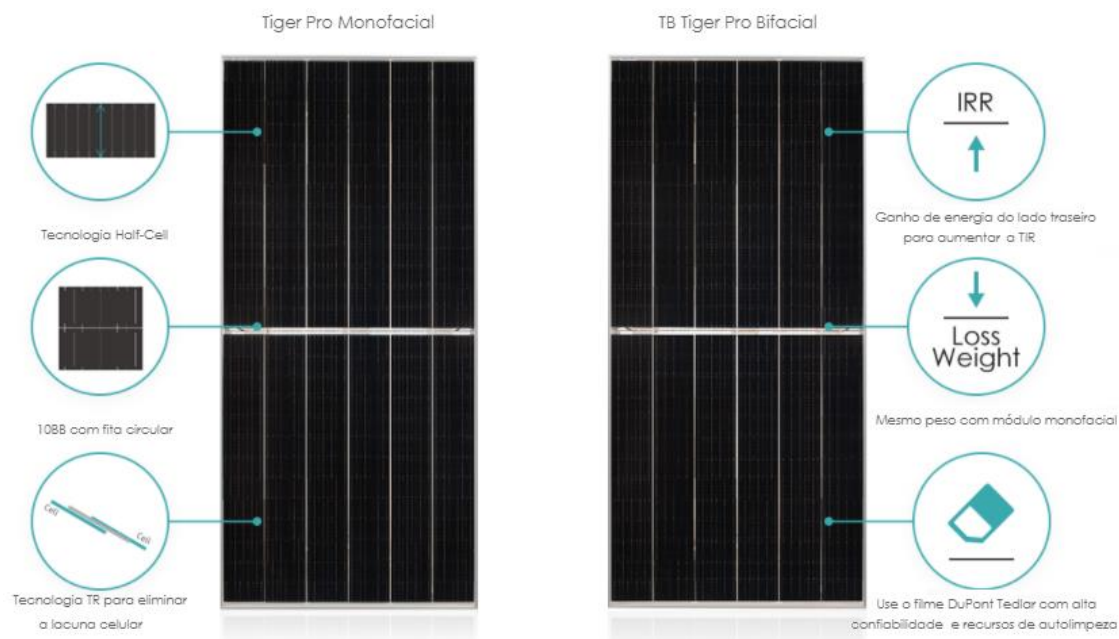


Figura 4.1 – Painel solar Tiger Pro (Jinko Solar, 2020).

Os filmes, ou películas, fotovoltaicas são uma ótima solução para os edifícios em reabilitação, são extremamente leves, melhor relação entre peso e potência do que os painéis, a sua eficiência aumenta quando a sua temperatura também aumenta, são muito flexíveis, possuem raio mínimo de curvatura de 12 cm e adaptam bem nas diferentes superfícies. Porém, possuem uma eficiência energética ainda muito inferior aos painéis tradicionais.

Uma das líderes mundiais na fabricação e instalação de filmes orgânicos fotovoltaicos é a empresa SUNEW, a sua linha de produtos mais interessante para a problemática deste trabalho é a linha SUNEW FLEX™ (Figura 4.2), os filmes dessa linha possuem espessura de 0,4 mm, largura de 53 cm e comprimentos que variam de 54 cm até 257 cm. A potência nominal do filme de 257 cm é de 37 W, a sua eficiência é de 3,5 % e o seu peso livre sem adesivo é de 0,55 kg (com camada adesiva 0,95 kg). A instalação, os equipamentos e as conexões entre os filmes são iguais as dos painéis fotovoltaicos tradicionais, a única restrição é a necessidade de maior área para uma mesma potência, a relação média custo/potência instalada é de 2 €/W (SUNEW, 2019).

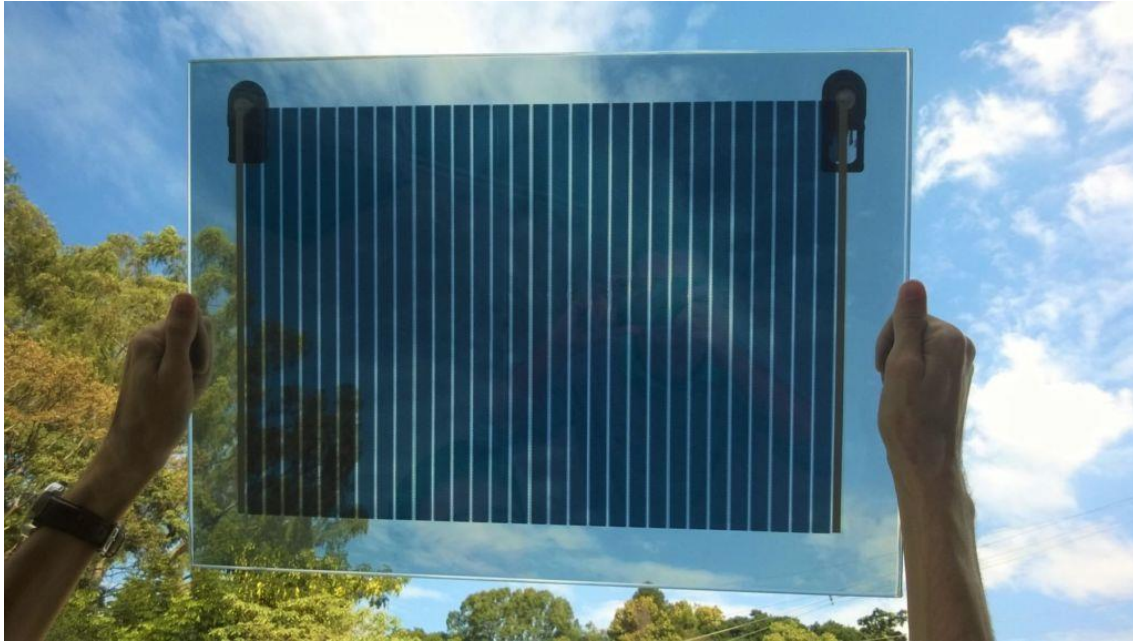


Figura 4.2 – Película fotovoltaica aplicada em vidro (SUNEW, 2019).

Para produção de energia eólica temos dois fabricantes mais comuns de microturbinas eólicas, a empresa TESUP Electronics com fabricação europeia, que possui sede em Londres e a XUNZEL com sede em Mendaro, Espanha. As duas empresas possuem uma variedade de produtos com características interessantes para as microturbinas que podem ser aplicadas em edifícios de pequeno porte e meios urbanos, como são os edifícios objetos deste trabalho.

Entre os produtos ofertados pela XUNZEL, destaca a linha WINDFORCE™ (Figura 4.3), que possui três modelos de aerogerador, uma para utilização marítima e os dois outros para demais utilizações, o WINDFORCE6000, possui potência nominal de 600 W, peso de 10,8 kg e diâmetro do rotor de 1,31 m, com início de rotação em ventos superiores à 1,0 m/s e produção em 2,0 m/s, a relação média custo/potência instalada é de 1,6 €/W. A WINDFORCE15000, possui potência nominal de 1500 W, peso de 15,7 kg e diâmetro do rotor 1,7 m, com início da rotação em ventos de 1,0 m/s e produção em 2,5 m/s, mostrando uma melhor relação peso/potência neste segundo modelo, já a relação média custo/potência instalada é de 2,9 €/W (Xunzel, 2019).



Figura 4.3 – Linha de aerogeradores WINDEFORCE (Xunzel, 2019).

A empresa TESUP possui uma maior variação de equipamentos para venda no mercado. O seu portfolio é composto por dez modelos de aerogeradores, sendo um modelo marítimo, dois modelos de eixo vertical e sete modelos de eixo horizontal, não é interessante falar aqui de cada modelo, eles variam entre si pelo aumento de tamanho e de potência. O menor deles é o DOLPHIN200DC (Figura 4.4) como potência máxima de 400 W, peso de apenas 6 kg, diâmetro do rotor de apenas 1,0 m e inicia o carregamento com ventos superiores à 3,0 m/s, o seu impacto visual e físico na estrutura é mínimo devido ao seu tamanho reduzido. O fabricante garante um ruído máximo de 30 dB, a relação média custo/potência instalada é de 0,9 €/W (TESUP, 2020b).

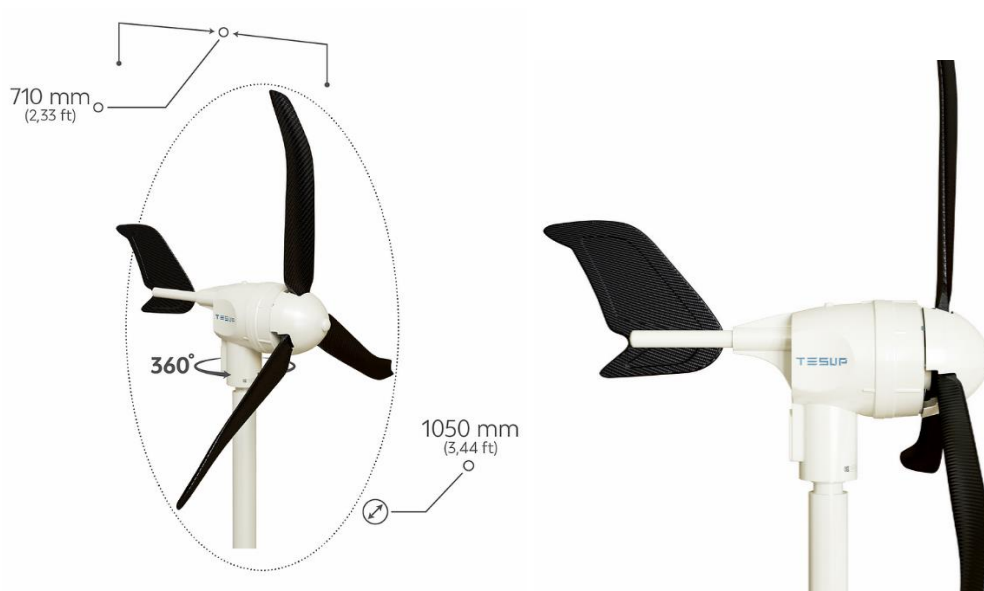


Figura 4.4 – Modelo Dolphin200DC da TESUP (TESUP, 2020b).

O maior dos aerogeradores da TESUP é o modelo ZEUS3.0, este modelo já possui características bem diferentes do modelo inicial, a sua potência máxima é de 3.100 W, peso de

24 kg, diâmetro do rotor de 2,25 m, inicia o carregamento com ventos de 3,0 m/s e o ruído máximo declarado pelo fabricante é de 60 dB, a relação média custo/potência instalada é de 0,23 €/W (TESUP, 2020c). Apesar da grande potência é um equipamento que tem maior impacto visual que os demais. Porém, ainda pode ser utilizado em casos de reabilitações de edifícios com grandes áreas de telhado onde não há alcance visual da cobertura, ou em edificações com área externa onde pode ser colocada uma torre para o aerogerador fora do edifício, sem prejuízo para o seu valor patrimonial histórico.

A proposta mais interessante em relação aos aerogeradores da TESUP é o modelo de eixo vertical ATLAS2.0, possui potência máxima de 2.000 W, peso de 24 kg, diâmetro do rotor de 60 cm, início do carregamento com ventos de 4,0 m/s, o fabricante informa ruído máximo de 30 dB, a relação média custo/potência instalada é de 0,34 €/W (TESUP, 2020a). Este equipamento possui um menor impacto visual devido a sua geometria, possui uma boa potência e é versátil para meio urbano onde os ventos não são constantes e são turbulentos.



Figura 4.5 – Aerogerador ATLAS2.0 (TESUP, 2020a) .

Uma variante desse aerogerador de eixo vertical da TESUP é o modelo ATLASX (Figura 4.6), neste modelo as pás do rotor possuem dimensões inferiores o que proporciona menor impacto visual, menor ruído e permite a geração de energia com ventos mais lentos, porém, também possui menor potência, são 750 W, 62,5 % inferior ao modelo ATLAS2.0, a relação média custo/potência instalada é de 0,73 €/W (TESUP, 2020a).

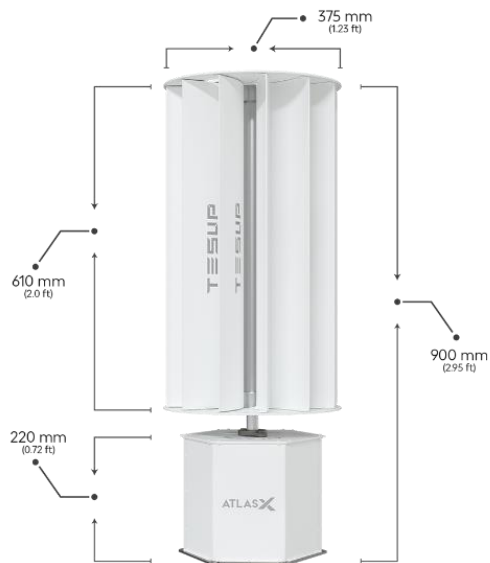


Figura 4.6 – Aerogerador ATLASX (fonte: [www.tesup.pt](http://www.tesup.pt)) .

Os inversores são os equipamentos responsáveis por transformar a energia de corrente contínua para corrente alternada de forma eficiente e estável com o menor desperdício possível, existem basicamente três tipos de inversores, os isolados da rede, os conectados e o “microinversor”, onde o primeiro é o inversor conectado à rede pública, o segundo é isolado da rede e por último, existem os pequenos inversores conectados individualmente em cada painel do sistema.

Os inversores são peças de tamanho e peso diferenciados conforme o fabricante e a sua potência (Figura 4.7). Nos casos residenciais geralmente são instalados próximos ao quadro geral de distribuição do edifício, porém, na reabilitação é necessária atenção para este local, verificar se não causará nenhuma interferência negativa nas paredes onde serão instalados os quadros e os inversores, pois estes equipamentos podem produzir calor, ruídos, podem diminuir a secção da parede estrutural causando perda de capacidade resistente e também o aparecimento de outras patologias.



Figura 4.7 – Exemplo de inversor (EPEVER, 2020).

Os sistemas que utilizam baterias possuem maior capacidade de autonomia em relação à rede pública, permitem armazenar a energia quando o saldo entre produção e consumo for positivo. Há diversos fabricantes de baterias no mercado, estes equipamentos possuem peso e volume considerável, sendo assim, é fundamental em caso de implantação de um sistema com uso de baterias, o estudo prévio ainda em fase de projeto do local onde serão instaladas as baterias e a influência do seu peso na estrutura do edifício em reabilitação.

A empresa TESLA é uma das líderes em produção de tecnologia para baterias, a linha de baterias Powerwall (Figura 4.8) desenvolvida para ambientes residenciais, permite com o seu design ocupar o mínimo de espaço possível, possui capacidade energética de 13,5 kWh, com apenas 14,7 cm de espessura, a sua base ocupa aproximadamente 0,17 m<sup>2</sup> de espaço, porém, pesa 114 kg, aparentemente é a melhor solução para uma reabilitação, contudo, é necessário verificar previamente a capacidade de suporte da estrutura em que ela será instalada (Tesla, 2019).



Figura 4.8 – Bateria Powerwall da Tesla (Tesla, 2019).

Os relógios medidores e os controladores de carga são equipamentos mais simples (Figura 4.9) e por este motivo possuem diversos fabricantes, sendo recomendado a utilização de equipamentos dos mesmos fabricantes dos demais equipamentos do sistema de geração, caso não seja possível, a melhor opção são os fabricantes já conceituados no mercado que possuem produtos certificados e fiáveis, para garantir a melhor eficiência e a maior segurança contra choques e incêndios, preocupação importante devido à constante presença de madeira e outros materiais combustíveis nos edifícios antigos. Estes equipamentos não possuem interferências significativas no processo de reabilitação, por este motivo não receberão atenção especial neste trabalho, como os demais equipamentos receberam.



Figura 4.9 – Controlador de carga e medidor bidirecional (EPEVER, 2019)(Nansen, 2016).

Todos os equipamentos descritos neste item do trabalho são opções plausíveis para instalação em edifícios antigos ou zonas urbanas históricas, o que vai determinar a sua real utilização são as características físicas do património edificado, os regulamentos vigentes em cada localização, a classificação do tipo de património em cada caso e a capacidade de produção energética do sistema.

## 4.2 Tecnologias em Desenvolvimento

Algumas tecnologias que parecem ser boas soluções para implantação em edifícios antigos ainda não são comercializadas, mas já estão em fase adiantada de desenvolvimento e provavelmente logo estarão no mercado, sendo conceptualmente novas e plausíveis opções para os edifícios objetos de estudo deste trabalho. São sobre estas tecnologias que este item se refere.

Uma tecnologia promissora é a produção de vidros fotovoltaicos transparentes, esta tecnologia permite a produção de energia fotovoltaicas sem qualquer interferência no aspeto visual, estes vidros podem substituir os vidros comuns das janelas dos edifícios, os vidros das claraboias e das portas externas quando estas possuírem partes em vidro.

A Universidade Estadual de Michigan, nos Estados Unidos da América, possui um grupo de pesquisa liderado pelo professor Richard Lunt para vidros fotovoltaicos transparentes (Figura 4.10), que utiliza pequenas moléculas orgânicas para absorver parte da luz solar infravermelha, não visível ao olho humano, para a geração de energia elétrica, dessa forma não interfere na iluminação do ambiente que conseguimos enxergar. Estes feixes de luz são guiados por reflexão até as bordas do vidro onde há uma estreita faixa com as células solares. Por estas faixas possuírem uma área muito pequena, a sua eficiência ainda é baixa, necessitando de grandes áreas de vidro para produção de uma quantidade energética considerável, a sua eficiência teórica ainda está abaixo de 7 % com transparência visível de 99 % (Liu, Yang, & Lunt, 2018).



Figura 4.10 – Professor Richard Lunt e o vidro fotovoltaico transparente (fonte: www.msu.edu).

A Sunpartner é uma empresa francesa que desenvolve a tecnologia *PV Transparent Wysips®* (Figura 4.11), uma tecnologia também de células fotovoltaicas em vidros com altas taxas de transparência, porém, o seu foco atualmente está maior concentrado em produção de películas fotovoltaicas para telas de aparelhos eletrônicos como smartphones, tabletes, relógios e outros semelhantes, mas ainda é pesquisada uma vertente para os vidros de janelas, portas e para vidros de automóveis. Apesar de promissor, é necessário aguardar novas informações para confirmar a possibilidade de utilização na construção civil.

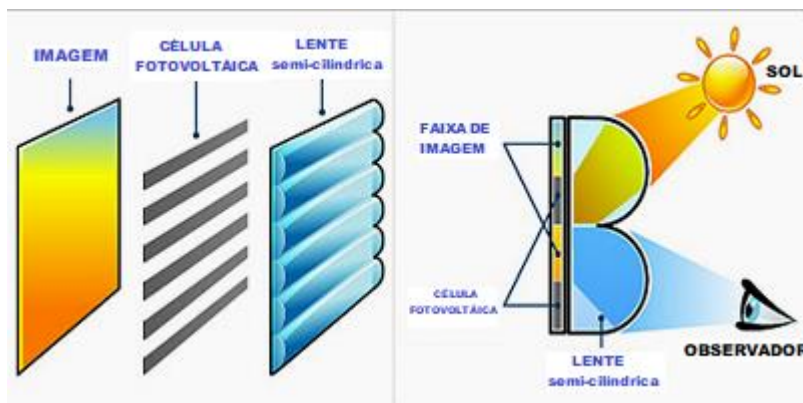


Figura 4.11 – Tecnologia das películas Wysips (fonte: www.sunpartnertechnologies.com).

Outra tecnologia promissora que pode revolucionar o mercado e a forma de utilização das células fotovoltaicas, são as telhas fotovoltaicas ou os também chamados “telhados solares”, nestes sistemas as telhas desempenham uma dupla função, além da função típica das telhas de proteção contra as condições climáticas, elas também produzem energia solar. No processo de fabricação destas telhas é integrado, em parte, uma placa fotovoltaica, ou em outros casos, a telha toda é uma placa fotovoltaica que utiliza um substrato mais resistente.

Desde 2016 foi anunciado pela TESLA uma linha de telhas fotovoltaicas para o ambiente residencial com promessas de design, eficiência, durabilidade e um custo muito

competitivo para o mercado, no seu website a TESLA já anuncia o produto e garante 25 anos de garantia, contra as intempéries, da potência e da própria telha, por enquanto apenas um tipo de telha é anunciado, o tipo “texturizado” (Figura 4.12).



Figura 4.12 – Telhas fotovoltaicas da TESLA texturizada (fonte: [www.tesla.com](http://www.tesla.com)).

Outras empresas também têm pesquisado e buscado a produção de telhas fotovoltaicas cada vez mais eficientes e acessíveis, como por exemplo a Eternit (Figura 4.13), o seu produto já está aprovado pela agência reguladora brasileira e está em processo de introdução no mercado, esta telha possui uma geometria próxima da tipo lusa, porém, o maior obstáculo para a utilização desta tecnologia nos edifícios antigos, que são o objeto deste trabalho, é o aspecto visual destas telhas, estas são pesquisadas e destinadas para construções novas ou beneficiação de construções comuns, sem valor arquitetônico ou histórico.



Figura 4.13 – Telhas fotovoltaicas Eternit (Tégula Solar, 2020).

Nos edifícios antigos é corrente encontrar telhas cerâmicas, do tipo canudo (também chamadas de árabe ou mourisca), telhas romanas ou nos casos mais recentes, telhas do tipo marselha e luso, estas telhas são naturalmente encontradas em tonalidades de marrom, já as telhas fotovoltaicas, devido o material da célula fotovoltaica, é sempre em tonalidade mais escura,

próxima da cor preta, o que causa uma grande mudança visual no edifício, além da geometria ser diferente, as telhas fotovoltaicas possuem superfícies planas, diferente das telhas do tipo canudo.

As telhas fotovoltaicas presentes no mercado podem ser uma opção interessante para edifícios antigos correntes que não possuem a sua cobertura exposta, no caso quando houver uma platibanda ou outro elemento na estrutura que oculte o telhado. Desta forma não haveria prejuízo ao aspeto visual do edifício, ou do conjunto urbano que ele esteja inserido.

Uma tecnologia revolucionária, pesquisada pela start-up espanhola, Vortex Bladeless, promete desenvolver uma “turbina” eólica ecológica que não precisa de pás, será específica para produção de energia local, residencial ou rural, é uma tecnologia que utiliza o fenómeno da “ressonância aeroelástica”. No seu website ([www.vortexbladeless.com](http://www.vortexbladeless.com)), a empresa publica que já está com 95 % do desenvolvimento já concluído e 50 % do processo de certificação já realizado.

Este equipamento da Vortex Bladeless (Figura 4.14) ao contacto com o vento acima de 3,0 m/s, faz uma parte móvel do seu mastro cilíndrico, fixado numa base elástica, oscilar através do vórtice formado, esta oscilação leva energia mecânica para um sistema alternador na base do equipamento e então este sistema gera a energia elétrica. Este está sendo projetado para adaptar bem aos ventos turbulentos, com constantes mudanças na direção, sendo assim uma ótima opção para os meios urbanos. Até o momento o modelo Vortex Tacoma, com 2,75 m de altura possui uma potência nominal de 100 W (Villarreal, 2018).



Figura 4.14 – “Turbina” eólica Vortex Bladeless (fonte: [www.vortexbladeless.com](http://www.vortexbladeless.com)).

A Vortex Bladeless promete um equipamento com inúmeras vantagens, em termos ambientais, de instalação, de manutenção e acessibilidade. Este conjunto de promessas faz parecer que este equipamento pode ser uma alternativa muito promissora para implantação em edifícios antigos e zonas históricas, por apresentar baixo peso e menor impacto visual, a oscilação do

mastro é lenta, curta (até 2,7° do eixo vertical) e silenciosa. Porém, ainda está em desenvolvimento e será necessário o início da sua comercialização no futuro, para que se torne uma opção concreta.

Todas estas tecnologias citadas neste item deste trabalho ainda não serão consideradas como solução plausível para a problemática, foram citadas com o intuito de mostrar que este campo científico, das energias renováveis, possuem uma grande variedade de pesquisas em andamento, que podem ser promissoras para resolver a problemática dos edifícios antigos, sendo necessário sempre uma atualização constante sobre as novas tecnologias.

### 4.3 Soluções Alternativas para a Reabilitação

A dificuldade em encontrar soluções específicas que possam ser implantadas na reabilitação de edifícios antigos, motiva a reflexão em soluções alternativas e criativas na tentativa de conseguir algum resultado, mesmo que mínimo, mas que seja fisicamente possível de ser realizado. Um dos caminhos seria a utilização dos equipamentos já comercializados em locais ou em instalações de formas não convencionais, neste item são apresentadas algumas sugestões.

#### 4.3.1 Instalação de OPV em Portadas Interiores

As películas orgânicas fotovoltaicas são as mais versáteis, pela sua flexibilidade, o seu peso reduzido e a sua menor interferência visual, já que possui relativa transparência. Por estas razões algumas utilizações não convencionais são sugeridas com a utilização do OPV em locais não usuais. Como a sua instalação nas portadas interiores das janelas (Figura 4.15), nas fachadas que recebem irradiação solar.

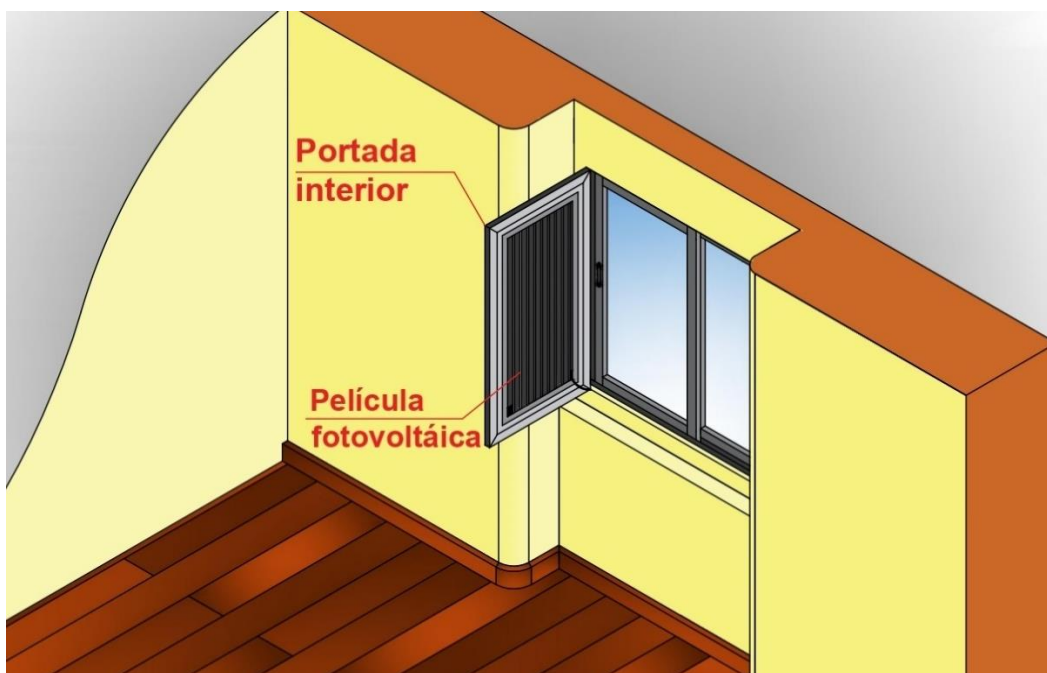


Figura 4.15 – Portada interior de janela com OPV (imagem do autor).

As janelas das edificações antigas são na sua maioria com caixilharias em madeira e elementos em vidro. Antes das modernas persianas, a entrada da luz era controlada por portadas em madeira, estas podiam ser interiores ou exteriores ao edifício, sendo mais usual no interior do edifício, estas geralmente acompanham a cor da caixilharia, em alguns casos a caixilharia possui tons de cores escuras, como o verde e o azul, nestes casos a instalação de películas adesivas de OPV pode ser uma ótima opção. A portada neste caso desempenharia duas funções, o bloqueio da luz e a produção fotovoltaica, as películas não apresentam risco em relação à integridade da caixilharia ou da parede em que esta está inserida, porém, ainda seria visível aos usuários, mas é uma interferência reduzida.

Na Tabela 4.1 abaixo, podemos de forma resumida analisar melhor as características dessa solução proposta:

*Tabela 4.1 – Características da instalação de OPV em portadas interiores (próprio autor).*

<b>Instalação de OPV em portadas interiores</b>		
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Observações</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não apresenta acréscimo de peso significativo;</li> <li>• Permite as funções da portada;</li> <li>• Não danifica a integridade da portada ou da janela;</li> <li>• Fácil acesso para manutenção.</li> <li>• Não interfere no exterior do edifício.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização depende do usuário;</li> <li>• Necessidade de limpeza do OPV;</li> <li>• Instalação de cabeamento a partir da janela para os equipamentos elétricos;</li> <li>• Instalação depende do posicionamento da janela;</li> <li>• Área de captação pequena;</li> <li>• Impacto visual relativamente pequeno.</li> </ul>	Considerando as características do Sunew Light: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potência máxima de 26,8 W por m<sup>2</sup>;</li> <li>• Considerando média de 6 horas de luz solar por dia, pode gerar 58,7 kWh por m<sup>2</sup> ao ano;</li> <li>• Pode ser instalada uma tomada USB próxima da janela para carregamento de dispositivos eletrônicos.</li> </ul>

### **4.3.2 Instalação de OPV em Claraboias**

No século XVIII, com o desenvolvimento da indústria do vidro, elementos em vidro começaram a ser introduzidos nas construções, em portas, vitrais fixos, janelas e em elementos das coberturas, como as claraboias, que podem ser planas, cilíndricas ou elípticas. O seu objetivo é permitir a entrada de luz natural no interior do edifício, visto que a eletricidade e as lâmpadas são tecnologias relativamente recentes e também permitir a circulação de ar na caixa de escada, nos salões e sótãos, as claraboias completas tridimensionais, possuem maior valor histórico por serem complexas e não correntes.

As claraboias são constituídas geralmente por vidros transparentes, fixados em perfis de ferro com geometrias variadas, apoiadas em uma estrutura de madeira fixada a estrutura da

cobertura. No seu exterior é revestida com zinco para garantir a sua estanquidade e em torno da claraboia é construído um canal, em chapas de zinco na parte superior e laterais para conduzir as águas das chuvas para um escoamento seguro.

Na realidade das reabilitações, as claraboias apresentam diversas patologias e frequentemente são anomalias ligadas à presença de humidade, seja proveniente de precipitação ou de condensação, muito comum devido à sua localização de difícil acesso, encontrar grande quantidade de sujidade e vidros partidos. A exposição ao sol também prejudica as mástiques e betumes. As claraboias são elementos importantes para a composição do edifício e carecem de atenção, cuidados e manutenção periódica.

Depois da correta reabilitação da claraboia, da substituição de elementos danificados, da correção das patologias e da sua limpeza, a aplicação de películas adesivas fotovoltaicas OPV nas claraboias (Figura 4.16) pode ser uma das opções mais interessantes para os edifícios antigos, apesar de terem pequenas áreas de superfície nas coberturas antigas, é uma das melhores opções com relação aos materiais disponíveis e o baixo impacto visual. Como o OPV possui relativa transparência e baixíssimo peso, este poderia ser instalado nos vidros das claraboias sem apresentar risco estrutural ou risco ao funcionamento da claraboia.

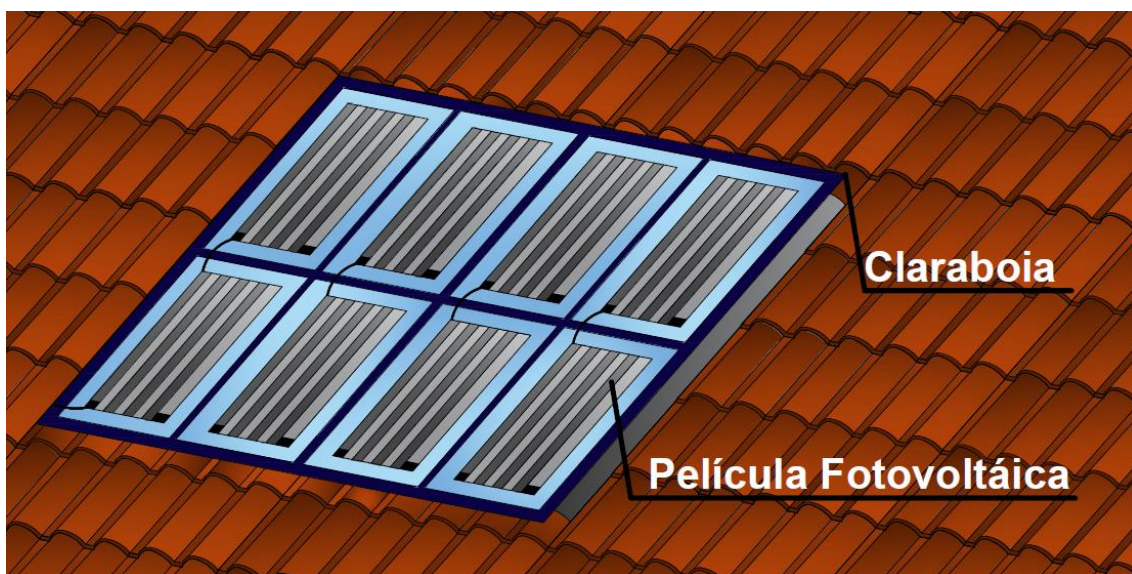


Figura 4.16 – Claraboia com OPV (imagem do autor).

A aplicação de OPV em claraboia já é praticada em edifícios modernos, como, por exemplo no centro comercial Shopping Bahia, na cidade de Salvador, Brasil (Figura 4.17), em edifícios antigos há uma grande dificuldade, que é o caso de claraboias posicionadas ao norte, sem insolação suficiente para produção de energia pelos OPV.



Figura 4.17 – Claraboia com OPV linha SUNEW FLEX no Shopping Bahia (fonte: www.sunew.com.br).

No cenário hipotético de uma claraboia com OPV instalado, é necessária uma manutenção periódica da claraboia, para garantir a limpeza das películas, de modo que estas atinjam a maior eficiência possível, pois as sujidades podem bloquear a luz de atingir as células fotovoltaicas, deve ter também um planeamento em relação aos cabos elétricos que ligarão as películas com os demais equipamentos do sistema elétrico. Esta necessidade de manutenção gera maior cuidado e atenção com o telhado, para que esta movimentação de pessoas sobre a cobertura não acelere o aparecimento de patologias.

Na Tabela 4.2 abaixo, é possível de forma resumida analisar melhor as características dessa solução proposta:

Tabela 4.2 – Características da instalação de OPV em claraboias (próprio autor).

Instalação de OPV em claraboias		
Vantagens	Desvantagens	Observações
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não apresenta acréscimo de peso significativo;</li> <li>• Permite a ventilação da claraboia;</li> <li>• Não danifica a integridade da claraboia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição relativa da iluminação da claraboia;</li> <li>• Aumento da movimentação de pessoas na cobertura;</li> <li>• Necessidade de limpeza do OPV;</li> <li>• Instalação de cabos a partir da claraboia para equipamentos elétricos.</li> <li>• Instalação depende do posicionamento da claraboia;</li> <li>• Relativo impacto visual.</li> </ul>	<p>Considerando as características do SUNEW FLEX:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potência máxima de 27,16 W/m<sup>2</sup>;</li> <li>• Considerando uma média de 6 horas de luz solar por dia, pode gerar 59,4 kWh/m<sup>2</sup> ao ano;</li> <li>• Uma claraboia de 4 m<sup>2</sup> poderia gerar 237,9 kWh ao ano, com 6 horas de luz solar ao dia.</li> </ul>

### 4.3.3 Pintura de Telhas Fotovoltaicas

Alguns modelos de telhas fotovoltaicas seriam uma excelente opção para reabilitação de edifícios antigos se as suas células FV fossem na cor da própria telha, este único empecilho motiva a hipótese de pintar as placas fotovoltaicas. As tintas geralmente são formadas por pigmento, carga, veículo fixo, veículo volátil e aditivos, já nos vernizes os pigmentos são substituídos por corantes solúveis conferindo uma película transparente, não opaca.

A opacidade das tintas é conferida pelos pigmentos, que são partículas sólidas, que impedem a passagem da luz, logo a pintura das placas fotovoltaicas diminui drasticamente a eficiência energética da placa, a sugestão seria a pintura de 50 % da área da placa em faixas delgadas e horizontais para que a sua interferência visual seja reduzida (Figura 4.18).



Figura 4.18 – Hipótese de telha fotovoltaica pintada (adaptada de Tégula Solar, 2020).

Na Tabela 4.3 abaixo, é possível de forma resumida analisar melhor as características dessa solução proposta:

Tabela 4.3 – Características da pintura de telhas fotovoltaicas (próprio autor).

Pintura de Telhas Fotovoltaicas		
Vantagens	Desvantagens	Observações
<ul style="list-style-type: none"><li>• Não apresenta acréscimo de peso nas coberturas, são mais leves que as telhas tradicionais;</li><li>• São mais resistentes;</li><li>• Menos telhas por m<sup>2</sup>;</li><li>• Telhas desempenham dupla função;</li><li>• Não necessita de instalação extra de estrutura de suporte para painéis solares.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aumento da movimentação de pessoas na cobertura;</li><li>• Necessidade de limpeza periódica;</li><li>• Instalação de cabeamento a partir da cobertura para equipamentos elétricos.</li><li>• Instalação depende do posicionamento do telhado em relação ao sol;</li><li>• Perda de eficiência energética pela pintura;</li><li>• Serviço de pintura;</li><li>• Relativo impacto visual.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• A telha solar da Eternit sem pintura possui potência de 9,16 W/telha, são 7,5 telhas por m<sup>2</sup> de telhado. São 68,7 W/m<sup>2</sup>.</li><li>• Considerando uma média de 6 horas de luz solar, as telhas com 50% da área pintada de forma opaca, produziram 75,22 KWh/m<sup>2</sup>.</li></ul>

#### 4.3.4 Instalação de OPV em Tubos Solares

Os tubos solares, são uma tecnologia já comum e utilizada no mercado para iluminação natural de ambientes internos, basicamente é um equipamento que conduz a luz solar para dentro do ambiente interno (Figura 4.19), a luz é captada por uma cúpula externa, entra no túnel de luz com paredes reflexivas até os difusores solares na parte interna do edifício. É uma forma muito interessante para economia de energia elétrica, melhora do ambiente interno com luz natural e conforto do usuário, os locais mais comuns de utilização são em estabelecimentos comerciais e no caso de ambientes residenciais, é indicado para casas de banho, cozinhas, corredores, caves e áreas comuns.



Figura 4.19 – Tubo Solar TS400 da empresa Chatron (fonte: [www.chatron.pt](http://www.chatron.pt)).

A sugestão é a fixação de uma película adesiva de OPV dentro do túnel solar (Figura 4.20), fixada na parede do tubo, dessa forma, os raios solares seriam absorvidos pelas células solares, os raios que inicialmente não fossem absorvidos, devido à transparência da película, seriam refletidos pela parede do túnel solar e podem novamente serem absorvidos pela película ou atingir o difusor, os tubos solares são comercializados em diâmetros a partir de 25 cm. Neste cenário o tubo solar provavelmente perderia a sua capacidade de iluminação, porém, teria uma capacidade de geração de energia elétrica pela luz solar, que é o intuito deste trabalho. A sua interferência visual na cobertura seria menor que a dos painéis solares tradicionais, o pode ser uma solução interessante a ser adaptada para algum caso de reabilitação de edifícios antigos.

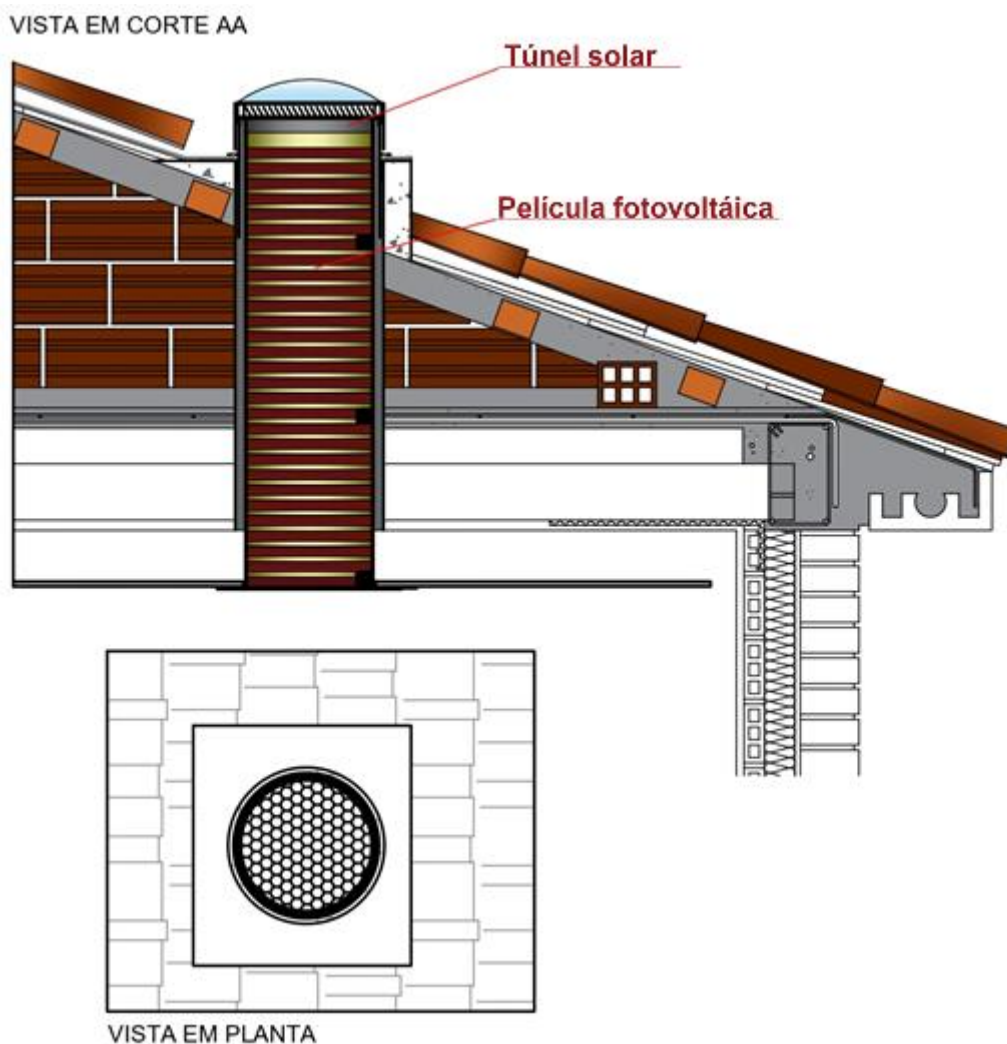


Figura 4.20 – Hipótese de tudo solar com OPV (imagem do autor).

Na Tabela 4.4 abaixo é possível de forma resumida analisar melhor as características dessa solução proposta:

Tabela 4.4 – Características da instalação de OPV em tubos solares (próprio autor).

Tubos Solares com Películas Fotovoltaicas		
Vantagens	Desvantagens	Observações
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não apresenta acréscimo de peso significativo nas coberturas;</li> <li>• Tubo solar pode apresentar dupla função;</li> <li>• Menor impacto visual em relação aos painéis fotovoltaicos</li> <li>• Não necessita de instalação extra de estrutura de suporte para painéis solares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da movimentação de pessoas na cobertura;</li> <li>• Necessidade de limpeza periódica da cúpula externa;</li> <li>• Instalação de cabeamento a partir do tubo solar para equipamentos elétricos.</li> <li>• Instalação depende do posicionamento do telhado em relação ao sol;</li> <li>• Perda de eficiência energética do OPV pela refração;</li> <li>• Relativo impacto visual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Um tubo com 25 cm de diâmetro com um metro de altura, poder conter 0,78 m<sup>2</sup> de película OPV.</li> <li>• A OPV SUNEWE FLEX possui 27,16 W/m<sup>2</sup>, o que poderia gerar num cenário otimista, considerando 6 horas de luz solar diárias e que toda película recebera luz, uma produção de 46,4 kWh/ano.</li> </ul>

### 4.3.5 Placas Fotovoltaicas em Coberturas de Chaminés

É comum encontrar nos edifícios antigos a estrutura das chaminés que eram utilizadas nas lareiras, nas fachadas do tardo, estas chaminés possuem no seu ponto mais alto uma proteção para evitar a entrada de água pluvial, estas proteções são de geometrias variadas (Figura 4.21), algumas possuem ornamentos e formas mais elaboradas, outras apenas são protegidas uma chapa metálica sem qualquer intenção arquitetônica.



Figura 4.21 – Tipos diferentes de chaminés (próprio autor).

No caso de chaminés com proteções sem ornamentos, onde apenas há uma placa horizontal, em metal, betão ou outro material semelhante, uma sugestão seria a instalação de um painel fotovoltaico para geração de energia sobre essa cobertura ou até substituindo a mesma, desta forma a área do telhado não sofreria interferência e por ser geralmente na fachada do tardo, não havia interferência visual significativa, porém, infelizmente a área de captação solar é bastante reduzida.

Na Tabela 4.5 abaixo, é possível de forma resumida analisar melhor as características dessa solução proposta:

Tabela 4.5 – Características da instalação de placas fotovoltaicas em chaminés (próprio autor).

Instalação de painéis fotovoltaicos em chaminés		
Vantagens	Desvantagens	Observações
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não apresenta acréscimo de peso significativo na estrutura da chaminé;</li> <li>• Cobertura desempenha dupla função;</li> <li>• Não interfere no telhado</li> <li>• Baixo impacto visual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da movimentação de pessoas na cobertura;</li> <li>• Necessidade de limpeza periódica;</li> <li>• Instalação de cabeamento a partir da chaminé para equipamentos elétricos.</li> <li>• Instalação depende da envolvente;</li> <li>• Pequena área disponível;</li> <li>• Solução limitada pela geometria da chaminé.</li> </ul>	<p>Os painéis da JinkoSolar podem produzir até 213,19 W/m<sup>2</sup> de potência. Uma chaminé de 1,0 m por 0,6 m, ou seja 0,6 m<sup>2</sup> de área, com 6 horas de luz solar diárias, poderia produzir até 280 kWh por ano.</p>

#### 4.4 Tabela de Auxílio

Neste item é exposto uma planilha (Tabela 4.6) para apoio da escolha das tecnologias de geração de energia eólica e solar, para profissionais envolvidos em uma reabilitação. O custo dos equipamentos por unidade de potência instalada, é referente aos equipamentos apresentados no capítulo 4.1 deste trabalho.

Tabela 4.6 – Tabela de apoio para uma reabilitação (próprio autor).

TABELA DE APOIO			
Tipo	Equipamento Custo/Potência Instalada	Necessidades dos Fabricantes	Necessidades na reabilitação
Energia Solar	Painel FV 0,5 €/W	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Seguir as regras do manual de instalação de cada fornecedor.</li> <li>-Cuidado com o ângulo de instalação para o máximo de captação da luz solar.</li> <li>-Orientação para o sul, para captação máxima da luz solar.</li> <li>-Espaço adequado para instalação dos painéis.</li> <li>-Garantir a segurança do processo de instalação.</li> <li>-Manutenção deve ser periódica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Verificação da capacidade de suporte da estrutura da cobertura ou outro local em que for instalado.</li> <li>-Verificação da possibilidade de danificar as telhas existentes, quando estas não forem substituídas.</li> <li>-Não alterar o valor histórico e arquitetónico.</li> <li>-Não danificar os elementos originais da construção.</li> <li>-Ser instalado de forma que possa ser desinstalado sem prejuízos para o património.</li> <li>-Verificar se o local de instalação não recebe sombra ao longo do ano ou tem possibilidade de receber nos próximos anos.</li> <li>- Verificar se o local de instalação permite acesso para manutenção de forma segura.</li> <li>-Verificar ao longo do tempo o surgimento de patologias devido a presença do equipamento.</li> </ul>

<b>TABELA DE APOIO (continuação)</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Equipamento Custo/Potência Instalada</b>	<b>Necessidades dos Fabricantes</b>	<b>Necessidades na reabilitação</b>
Energia Solar	OPV 2,0 €/W	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Seguir as regras do manual de instalação de cada fornecedor.</li> <li>-Cuidado com o ângulo de instalação para o máximo de captação da luz solar.</li> <li>-Orientação para o sul, para captação máxima da luz solar.</li> <li>-Espaço adequado para instalação das películas.</li> <li>-Garantir a segurança do processo de instalação.</li> <li>-Manutenção deve ser periódica.</li> <li>-OPVs são mais finos e por isso menos resistentes que os painéis tradicionais, deve-se ter atenção para evitar rasgos ou perfurações da película.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Não alterar o valor histórico e arquitetónico.</li> <li>-Não danificar os elementos originais da construção.</li> <li>-Ser instalado de forma que possa ser desinstalado sem prejuízos para o património.</li> <li>-Verificar se o local de instalação não recebe sombra ao longo do ano ou tem possibilidade de receber nos próximos anos.</li> <li>-Verificar se o local de instalação permite acesso para manutenção de forma segura.</li> <li>-Verificar ao longo do tempo o surgimento de patologias devido a presença do equipamento.</li> </ul>
Energia Eólica	Aerogerador de Eixo Horizontal 0,23 €/W a 2,9 €/W	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Seguir as regras do manual de instalação de cada fornecedor.</li> <li>-Local de instalação deve ser livre de obstáculos.</li> <li>-A altura mínima de cada fabricante deve ser respeitada.</li> <li>-De preferência no local mais alto possível, que garanta a segurança na instalação e manutenção.</li> <li>-Manutenção deve ser periódica.</li> <li>-Evitar instalação em locais com ventos turbulentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Não alterar o valor histórico e arquitetónico.</li> <li>-Não danificar os elementos originais da construção.</li> <li>-Ser instalado de forma que possa ser desinstalado sem prejuízos para o património.</li> <li>-Caracterização do vento no local que pretende instalar (velocidade e turbulência).</li> <li>-Verificar a possibilidade de aparecimento de obstáculos futuros.</li> <li>-Verificar a aceitação na envolvente, pelo valor arquitetónico e o ruído gerado.</li> <li>-Verificar ao longo do tempo o surgimento de patologias devido a presença do equipamento.</li> <li>-Verificar o efeito da vibração do equipamento.</li> </ul>
	Aerogerador de Eixo Vertical 0,34 €/W a 0,73 €/W	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Seguir as regras do manual de instalação de cada fornecedor.</li> <li>-Local de instalação deve ser livre de obstáculos.</li> <li>-A altura mínima de cada fabricante deve ser respeitada.</li> <li>-De preferência no local mais alto possível, que garanta a segurança na instalação e manutenção.</li> <li>-Manutenção deve ser periódica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Não alterar o valor histórico e arquitetónico.</li> <li>-Não danificar os elementos originais da construção.</li> <li>-Ser instalado de forma que possa ser desinstalado sem prejuízos para o património.</li> <li>-Caracterização do vento no local que pretende instalar (velocidade e turbulência).</li> <li>-Verificar a possibilidade de aparecimento de obstáculos futuros.</li> <li>-Verificar a aceitação na envolvente, pelo valor arquitetónico e o ruído gerado.</li> </ul>

<b>TABELA DE APOIO (continuação)</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Equipamento Custo/Potência Instalada</b>	<b>Necessidades dos Fabricantes</b>	<b>Necessidades na reabilitação</b>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>-Verificar ao longo do tempo o surgimento de patologias devido a presença do equipamento.</li> <li>-Verificar o efeito da vibração do equipamento.</li> </ul>
Outros	Inversores	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Seguir as recomendações técnicas do manual de instalação de cada fornecedor.</li> <li>-Evitar a instalação em locais de grande vibração.</li> <li>-Evitar locais com acúmulo de poeira e agentes corrosivos.</li> <li>-Evitar locais sujeitos aos raios solares, chuvas e maresias. Com temperaturas e humidade adequadas.</li> <li>-Garantir ventilação adequada para o equipamento.</li> <li>-Realizar manutenção periódica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Não alterar o valor histórico e arquitetónico.</li> <li>-Não danificar os elementos originais da construção, principalmente as paredes e os seus revestimentos.</li> <li>-Ser instalado de forma que possa ser desinstalado sem prejuízos para o património.</li> <li>-Verificar a possibilidade de aparecimento de problemas futuros durante a utilização.</li> <li>-Verificar ao longo do tempo o surgimento de patologias devido a presença do equipamento.</li> </ul>
	Controladores de Carga e Medidores	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Seguir as recomendações técnicas do manual de instalação de cada fornecedor.</li> <li>-Evitar locais com acúmulo de poeira e agentes corrosivos.</li> <li>-Evitar locais sujeitos aos raios solares, chuvas e maresias. Com temperaturas e humidade adequadas.</li> <li>-Garantir ventilação adequada para o equipamento.</li> <li>-Realizar manutenção periódica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Não alterar o valor histórico e arquitetónico.</li> <li>-Não danificar os elementos originais da construção, principalmente as paredes e os seus revestimentos.</li> <li>-Ser instalado de forma que possa ser desinstalado sem prejuízos para o património.</li> <li>-Verificar a possibilidade de aparecimento de problemas futuros durante a utilização.</li> <li>-Verificar ao longo do tempo o surgimento de patologias devido a presença do equipamento.</li> </ul>
	Baterias	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Seguir as recomendações técnicas do manual de instalação de cada fornecedor.</li> <li>-Evitar locais com acúmulo de poeira e agentes corrosivos.</li> <li>-Evitar locais sujeitos aos raios solares, chuvas e maresias. Com temperaturas e humidade adequadas.</li> <li>-Garantir ventilação adequada para o equipamento.</li> <li>-Realizar manutenção periódica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Não alterar o valor histórico e arquitetónico.</li> <li>-Não danificar os elementos originais da construção, principalmente as paredes e os seus revestimentos.</li> <li>-Ser instalado de forma que possa ser desinstalado sem prejuízos para o património.</li> <li>-Verificar a possibilidade de aparecimento de problemas futuros durante a utilização.</li> <li>-Verificar ao longo do tempo o surgimento de patologias devido a presença do equipamento.</li> <li>-Verificar a capacidade de suporte dos elementos que vão sustentar as baterias, pois estas possuem um peso elevado.</li> </ul>

Cada caso é único, pois cada edifício com a sua envolvente e o seu histórico, também são únicos, esta planilha de forma genérica, serve para atentar o profissional aos pontos mais importantes de cada equipamento de geração de energia elétrica de sistemas eólicos e fotovoltaicos, durante o processo de programação e de projeto de uma reabilitação.

## **5 ESTUDO DE CASOS**

Para maior representatividade dos possíveis cenários de reabilitação de edifícios antigos no cenário atual, foram escolhidos mais de um edifício para análise de como introduzir as energias renováveis nas suas reabilitações, pela diversidade do parque imobiliário construído que necessita de reabilitação, foram então escolhidos dois casos para serem estudados, ambos na cidade de Lisboa, para facilitar a explicação, serão chamados neste trabalho de Caso 01 e Caso 02.

### **5.1 Edifícios Escolhidos**

#### **5.1.1 Estudo de Caso 01**

No Caso 01, o primeiro edifício escolhido (Figura 5.1), está situado na rua Capitão Renato Baptista, números 78 a 86, caixa postal 1150-043, na freguesia de Penha de França (Figura 5.2). Este edifício foi objeto de estudo de uma dissertação de mestrado no ISEL pela aluna Cátia Filipa de Carvalho Pereira (2013), com o tema “Reabilitação de Gaioleiros”, no seu trabalho a aluna fez uma ótima descrição deste edifício com uma riqueza de detalhes que o torna útil para o desenvolvimento deste, na dissertação de Pereira (2013) é abordado o processo do levantamento, investigação, análise e propostas das soluções para reabilitação do edificado, porém, não aborda a introdução dos sistemas de geração de energia renovável na sua reabilitação.



Figura 5.1 – Edifício escolhido (fonte: Atelier Appleton & Domingos).

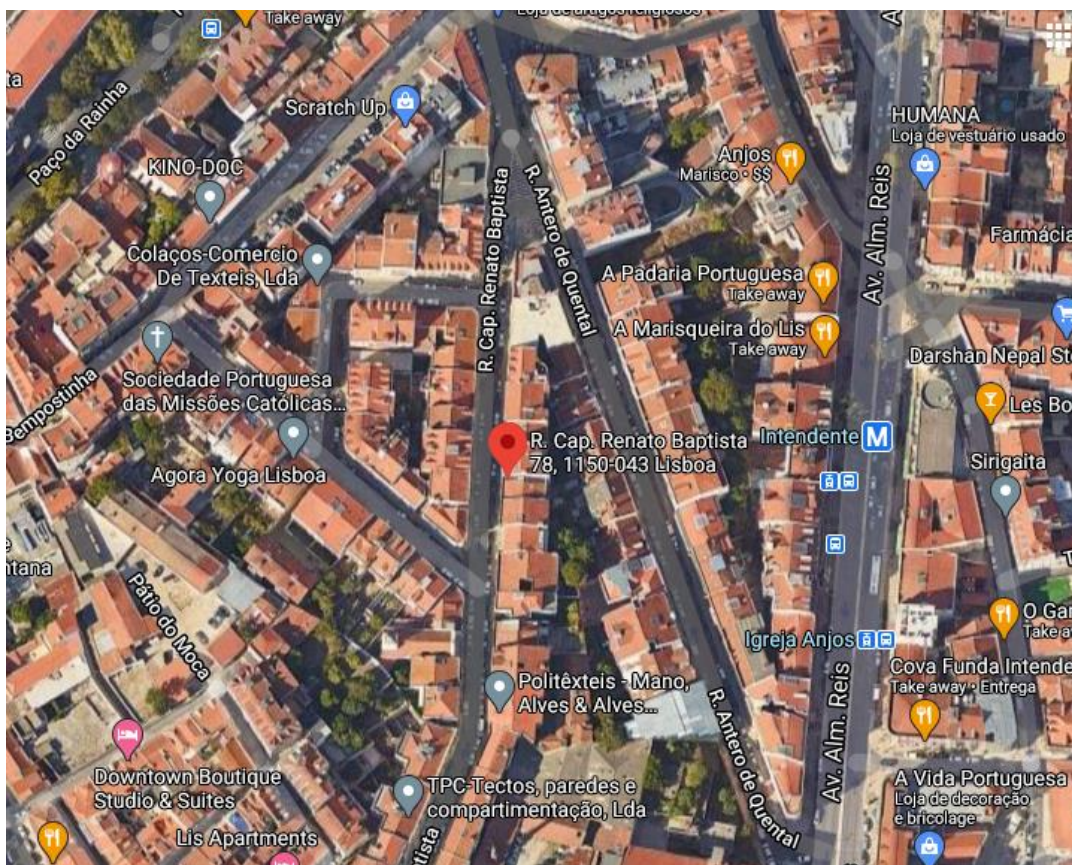


Figura 5.2 – Localização e envolvente do edifício (fonte: www.google.pt/maps).

### 5.1.2 Estudo de Caso 02

Para melhor demonstrar a problemática da introdução de energias renováveis na reabilitação de edifícios antigos em zonas históricas, mais um estudo de caso é considerado neste trabalho. O Caso 02, trata-se de um conjunto de edifícios (Figura 5.3) que estão localizados no Largo do Telheiro de São Vicente, números 16 e 17, caixa postal 1100-572, na freguesia de São Vicente, em Lisboa. Este conjunto habitacional está inserido no Centro Histórico de Lisboa, na sua vizinhança se faz presente, diversos elementos da história de Lisboa, há um troço da Muralha Fernandina, o Mosteiro e a Igreja de São Vicente de Fora e o espaço de realização da tradicional Feira da Ladra, entre outros ícones da freguesia (Figura 5.4).



Figura 5.3 – Fachada do conjunto habitacional em estudo (Rego et al., 2021)

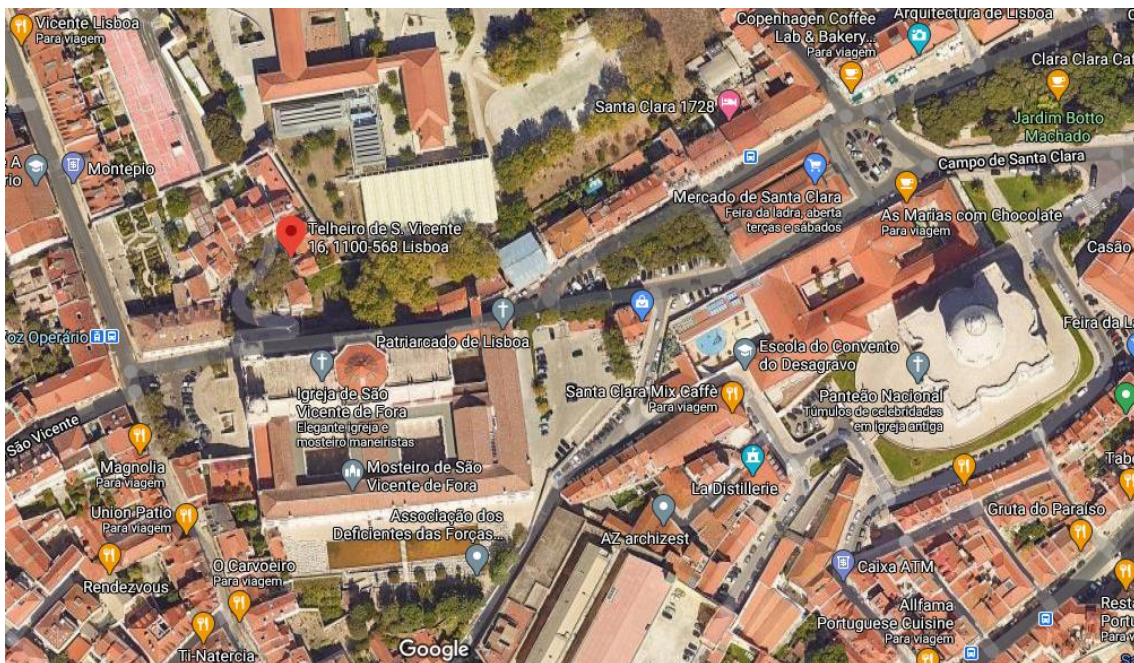


Figura 5.4 – Localização e envolvente dos edifícios (fonte: [www.google.pt/maps](http://www.google.pt/maps)).

## **5.2 Justificativas das Escolhas**

### **5.2.1 Estudo de Caso 01**

Dos edifícios antigos, os Gaioleiros possuem uma fatia considerável do mercado imobiliário local, sendo frequentemente alvo de ações de reabilitação. Outra questão que aumenta a sua necessidade de reabilitação é o cenário histórico em que foi construído, que levou a uma qualidade construtiva reduzida, que favorece o aparecimento de patologias. Sendo assim uma ótima tipologia para ser abordada neste trabalho, conforme é o Caso 01 deste trabalho.

A introdução das energias renováveis no processo de reabilitação deve entrar na fase de programa, antecedente a fase de projeto, porém, após a fase do levantamento sobre a utilização do edifício, os regulamentos vigentes, o valor patrimonial, as patologias e a fase de diagnósticos das causas das patologias e do plano de intervenção, ou seja, é necessário que já se tenha conhecimento de algumas informações sobre o edifício para que se possa começar o estudo da implantação dos sistemas de geração de energia. Estas informações estão presentes no trabalho de Pereira (2013), sendo assim, mais uma motivação para a escolha do edifício do Caso 01.

O valor arquitetônico e histórico do edifício escolhido é ainda aumentado por este ter recebido um prêmio, pela qualidade da reabilitação que este recebeu, do Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana e ainda ser reconhecido em 1996 pela Câmara Municipal como o local onde viveu, trabalhou e faleceu a talentosa pintora Eduarda Lapa.

Conforme os argumentos anteriores, a escolha do primeiro estudo de caso para o uso neste trabalho se justifica pela representatividade do Gaioleiro no contexto imobiliário e no contexto construtivo pela maior fragilidade dos Gaioleiros e por este trabalho de certa forma complementar o trabalho de Pereira (2013), que abordou a reabilitação do edifício sem considerar as energias renováveis, pode-se assim, mostrar como as energias renováveis seriam incorporadas no processo.

### **5.2.2 Estudo de Caso 02**

O segundo estudo de caso é um representante forte das construções antigas presentes em zonas históricas, além de todo o valor histórico que a construção possui em si, este valor é potencializado por estar inserido numa zona histórica, a envolvente do Caso 02 possui grande peso na sua reabilitação. Por ser um edifício de construção muito antiga, sofreu diversas interferências durante a sua existência, outra característica comum dos edifícios que passam por reabilitações.

No Caso 02, a presença do troço da Muralha Fernandina, traz grande valor histórico para ser considerado na reabilitação. Em resumo, este caso é bastante exigente na preservação do valor histórico envolvido na sua reabilitação e por estes motivos é um exemplar justificado para ser estudado nesse trabalho, independente de ser possível ou não a introdução de energias renováveis na sua reabilitação, este foi escolhido por sua forte representatividade e exigência.

## 5.3 Caracterização dos Edifícios

### 5.3.1 Estudo de Caso 01

No Caso 01 o edifício foi inicialmente construído em 1899, com apenas dois andares, cave e o rés de chão (Figura 5.5), com intenção de ser um edifício para fins comerciais. Em 1912 este edifício recebeu uma ampliação, foi reforçado o rés-de-chão e este recebeu mais três andares, respeitando o regulamento de salubridade da época (Figura 5.6). Várias interferências foram realizadas ao longo do tempo neste edifício para adaptar as necessidades dos usuários, aos novos regulamentos de salubridade e a correção de patologias (Pereira, 2013).

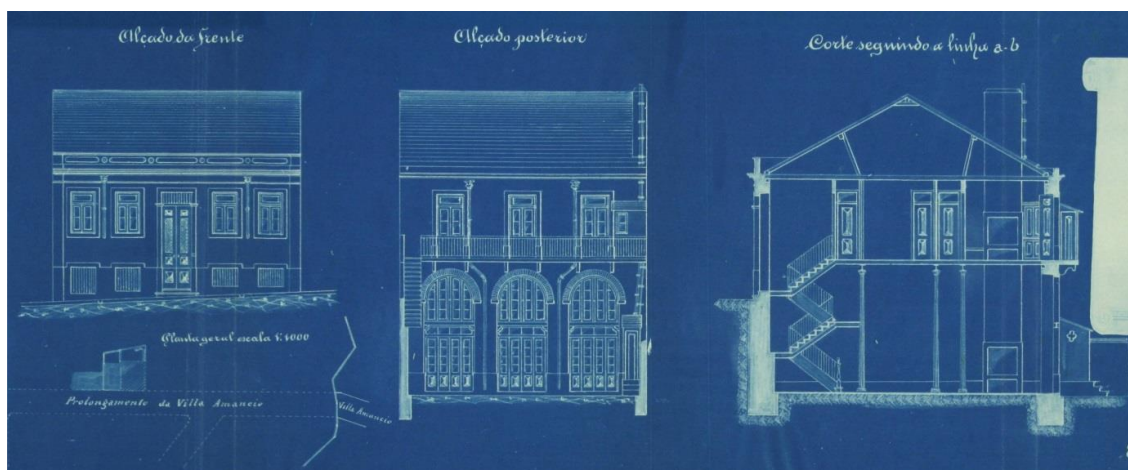


Figura 5.5 – Projeto inicial do edifício (Arquivo Histórico de Lisboa, n.d.).

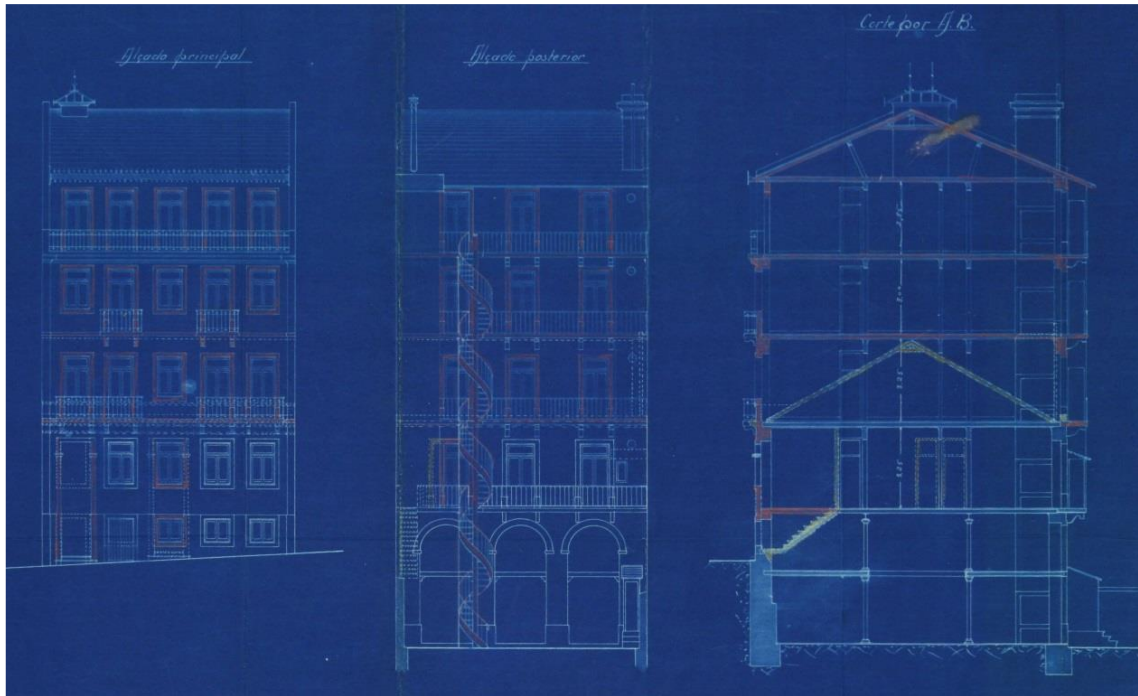


Figura 5.6 – Projeto de ampliação do edifício (Arquivo Histórico de Lisboa, n.d.).

Assim, o edifício é um gaioleiro, composto por 6 pisos, sendo (antes da sua reabilitação) os dois primeiros destinados para comércio e os demais destinados para habitação. Este possui duas fachadas livres, a fachada principal para rua Cap. Renato Baptista que está voltada para poente e a fachada de tardoz para o interior do quarteirão, voltada para nascente.

Estruturalmente o edifício é composto da seguinte forma:

Tabela 5.1 – Características da estrutura do edifício (adaptado de Pereira, 2013).

Pavimento	Características da estrutura do Caso 01
Primeiros dois andares	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No piso 0 o pavimento era constituído por vigas metálicas com abobadilhas cerâmicas;</li> <li>- No piso térreo, massame armado no pavimento;</li> <li>- Paredes da fachada principal e posterior em alvenaria de pedra;</li> <li>- Paredes meeiras em alvenaria de tijolo burro;</li> <li>- Demais paredes de alvenaria de tijolo, vigas em aço, colunas em ferro fundido e pavimento de madeira;</li> </ul>
Demais andares	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Paredes da fachada principal e posterior em alvenaria de pedra;</li> <li>- Paredes meeiras em alvenaria de tijolo burro;</li> <li>- Vigamentos em madeira apoiadas nas paredes de fachada e paredes interiores;</li> <li>- Paredes interiores de tabique;</li> <li>- Nas cozinhas e nas varandas, presença de vigas metálicas com abobadilhas.</li> </ul>

Outras características originais importantes do edifício para este trabalho são:

- Caixilharia em madeira com acabamento em esmalte.

- Claraboia na caixa de escadas para iluminação, constituída por vidro simples incolor e ferro.
- Telhas da cobertura do tipo Marselha.
- Fachada principal toda em azulejos com pormenor da utilização de frisos de azulejos florais pintados à mão.
- Fachada do tardo rebocada e pintada, com varanda e escada em estrutura metálica.

Todos estes elementos citados apresentavam patologias de graus variados, apontadas por Pereira (2013) após levantamento, como:

- Apodrecimento da madeira da caixilharia.
- Entrada de água através da claraboia.
- Telhas envelhecidas e fora do encaixe.
- Destacamento de reboco em fachada posterior.
- Destacamento dos azulejos da fachada principal.
- Apodrecimento da estrutura de madeira da cobertura.
- Instalações elétricas e hidráulicas não seguras.
- Oxidação acentuada nos elementos metálicos.
- Problemas com humidade de forma generalizada.

Após a análise para reabilitação deste imóvel, Pereira (2013) identificou que as paredes do imóvel não cumpriam as espessuras mínimas determinadas pelo RGEU, mas a alteração dessas espessuras o colocava no grupo dos incomportáveis, todavia cumpre o estipulado como mínimo para o vigamento dos pavimentos. As escadas não cumprem as dimensões mínimas exigidas, porém, a sua alteração seria impossível, as fundações e diversos outros elementos não foram verificadas as suas conformidades devido à ausência de projetos e informações.

As recomendações de Pereira (2013) para a reabilitação desse edifício, que são relevantes para este trabalho, são:

- Substituição geral do sistema elétrico do edifício, por não haver nenhum projeto de como este foi feito, o que indica ser um sistema antigo e possivelmente perigoso.
- Retirada das telhas, para substituição das madeiras degradadas e tratamento das madeiras antigas, com posterior reposição das telhas.
- Reparo das caixilharias existentes com aplicação de nova vedação.
- Execução de nova estrutura metálica na fachada posterior, para a escada de emergência, varandas e marquises.
- Substituição dos elementos danificados da claraboia com nova vedação.
- Reposição de novos azulejos onde estes foram danificados ou perdidos.

- Retirada e execução de novo reboco onde este foi perdido ou danificado.

Agora com estas informações do edifício do Caso 01, do diagnóstico das patologias e com as intervenções sugeridas, é possível integrar os sistemas de geração de energia com as medidas de reabilitação do património, o item 5.4 deste trabalho citará as possíveis soluções que podem ser instaladas e as suas justificativas.

### **5.3.2 Estudo de Caso 02**

Para a caracterização do segundo caso, foram utilizadas informações passadas pelo Professor Doutor Carlos Manuel de Moura Penim Loureiro, este conjunto de edifícios foi alvo de estudo no curso de Pós-Graduação Conservação e Reabilitação de Construções no ISEL no ano de 2020.

O Caso 02, trata-se de um conjunto habitacional, composto por 5 fogos, distribuídos em dois níveis acima do térreo, Piso 00 (Figura 5.7) e o Piso 01 (Figura 5.8), com o acréscimo de uma pequena área recuada, o Piso 02 (Figura 5.9), o conjunto possui área bruta de 402 m<sup>2</sup>. A princípio, o conjunto foi construído para abrigar trabalhadores da ampliação do Mosteiro de São Vicente de Fora, iniciada em 1590, por este motivo, é suposto que a parte mais antiga do conjunto foi construída entre o fim do século XVI e o século XVII, uma de suas divisões apresenta silhares em azulejos de figura avulsa (Figura 5.10) com padrão idêntico ao utilizado no Mosteiro de São Vicente de Fora, comprovando a contemporaneidade da origem dos edifícios do Caso 02 e das obras do Mosteiro (Sousa et al., 2021).

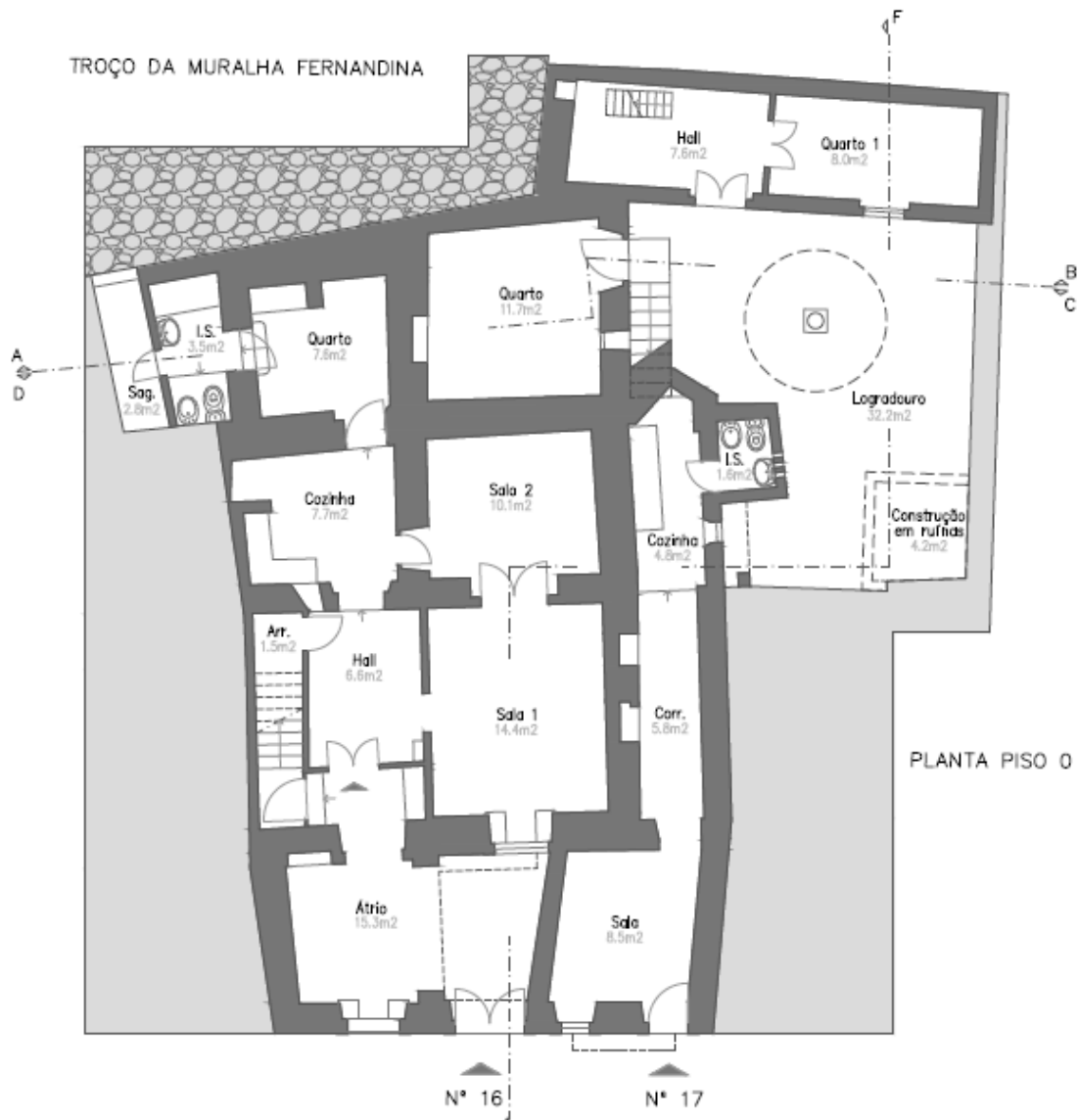


Figura 5.7 – Planta Piso 00 existente (Sousa et al., 2021).

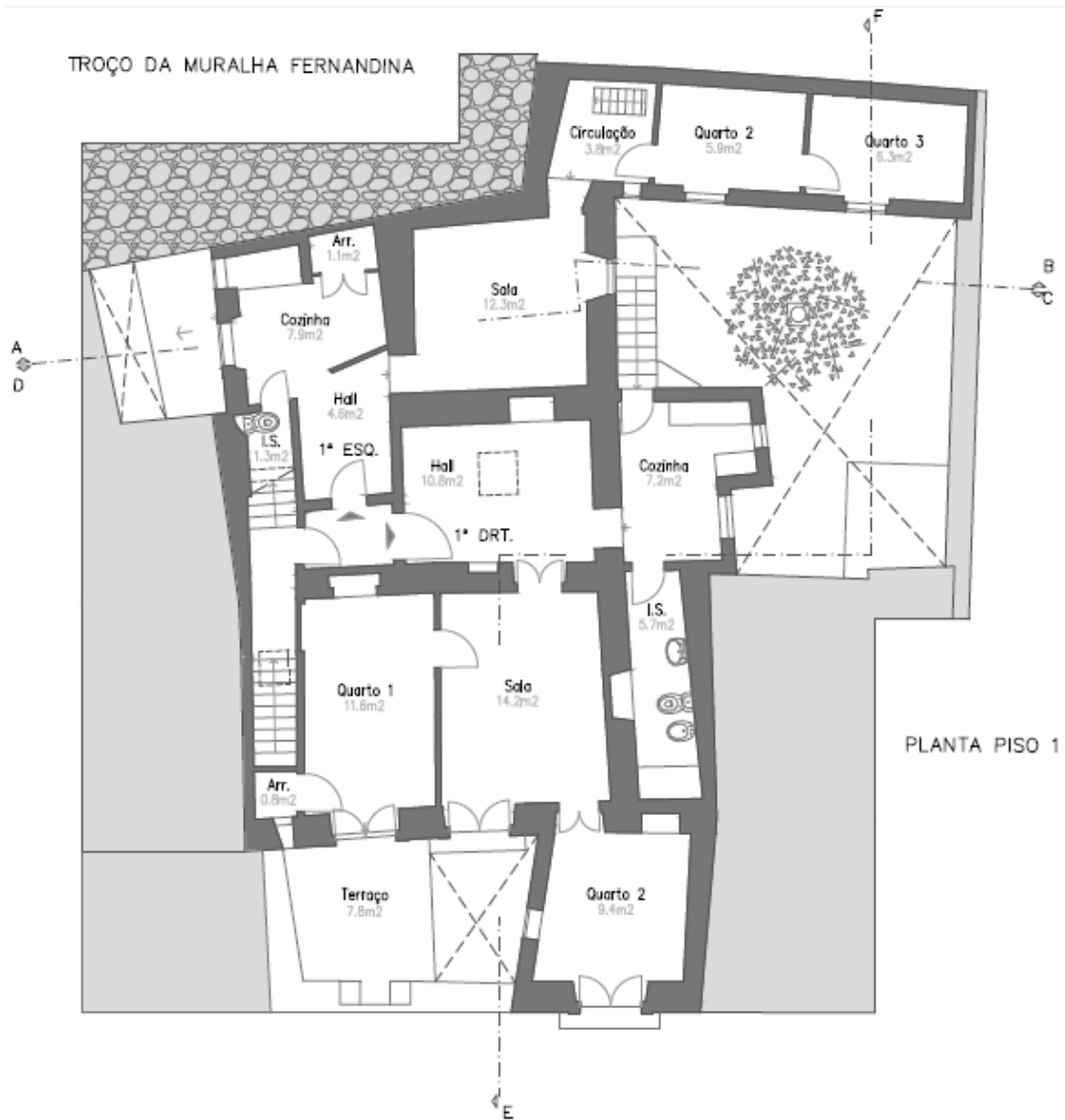


Figura 5.8 – Planta Piso 01 existente (Sousa et al., 2021).

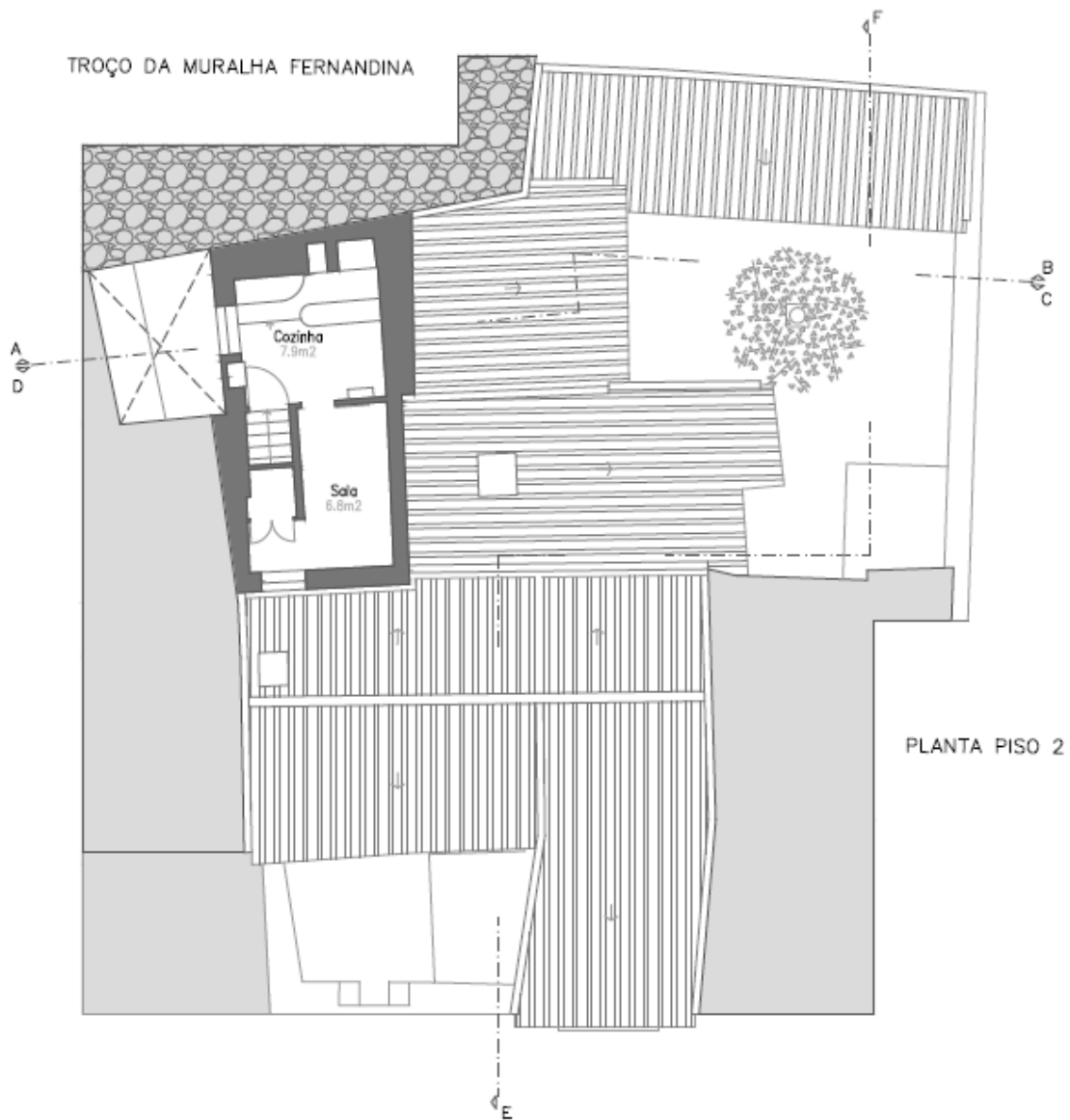


Figura 5.9 – Planta Piso 02 existente (Sousa et al., 2021).



Figura 5.10 – Revestimento presente no interior do edifício (Fonte: Penim Loureiro, 2007).

O Caso 02, como a maioria dos edifícios seiscentistas, foi alvo de diversas ampliações, reconstruções e alterações não registadas ao longo do tempo, o que dificulta a apresentação de um histórico construtivo e também de manutenção do edificado. Assim como a maioria dos edifícios contíguos, este caso acompanha um troço da Cerca Fernandina de 1393, classificada como Património Nacional, encostada em seu tardoz.

O conjunto habitacional do Caso 2 pode ser dividido em dois edifícios principais (Figura 5.11), o Edifício 01 possui a frente para o Largo do Telheiro de São Vicente, este possui as paredes grossas, em alvenaria de pedra, vãos com lintéis, ombreiras e peitoris em cantaria, correspondendo às construções anteriores ao século XIX. O Edifício 02 ocupa parte da envolvente do logradouro, suas paredes exteriores possuem menor espessura, são em pedra e tijolos, as paredes interiores são em tabique, com janelas sem guarnições de cantaria, corresponde com a metodologia construtiva do período de transição do século XIX para o século XX (Sousa et al., 2021).



Figura 5.11 – Edifício 01 em amarelo, Edifício 02 em azul (Rego et al., 2021).

## 5.4 Situação Atual do Edifício

### 5.4.1 Estudo de Caso 01

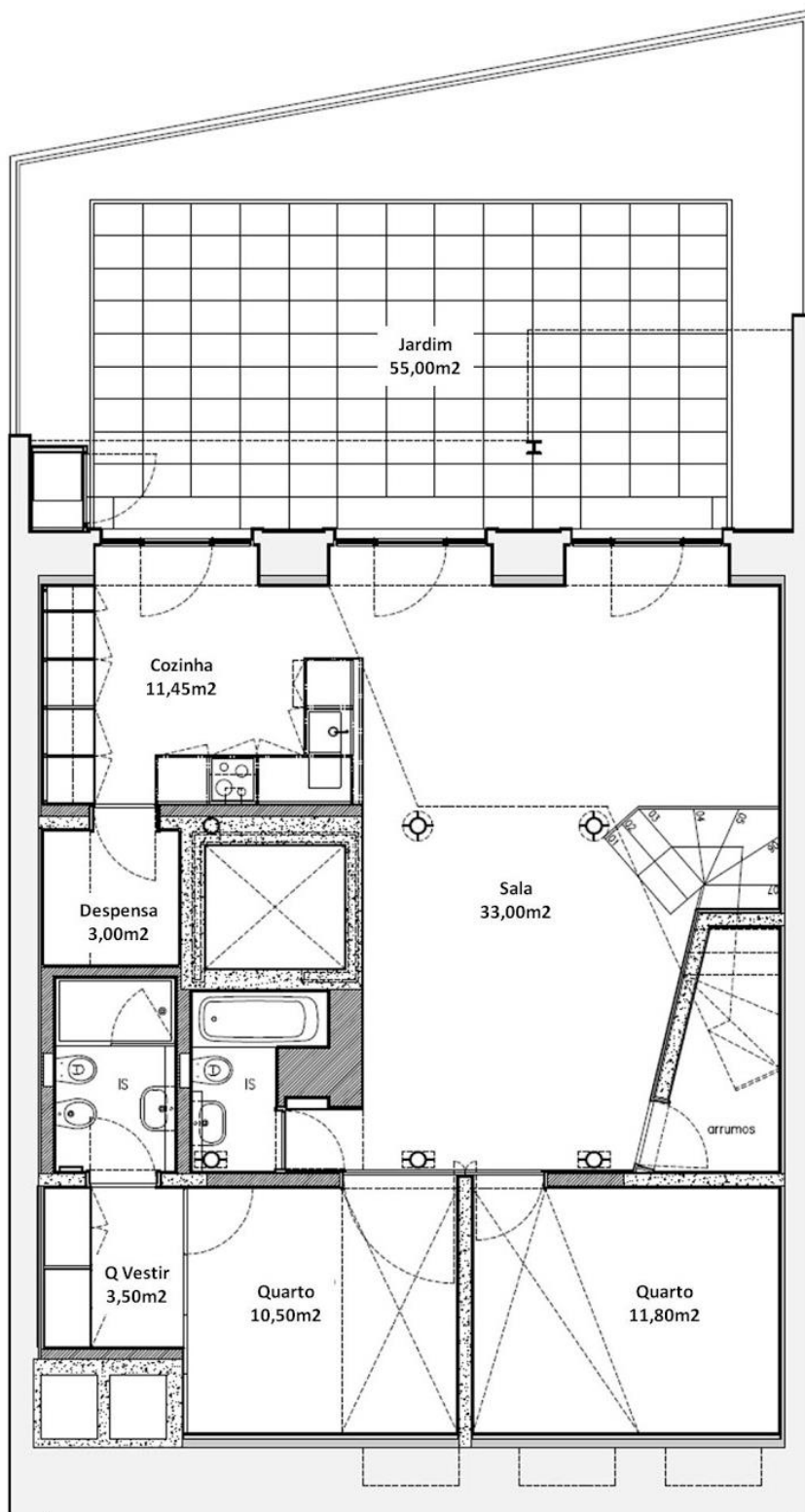
Atualmente o edifício em questão no Caso 01 está habitado e já foi reabilitado (Figura 5.12), após o estudo de Pereira (2013), em 2012, este recebeu do Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana o Prémio IHRU 2012 de Construção e Reabilitação, promovido pela Urbanspace Investimentos Imobiliários, Lda. O projeto aprovado pela Câmara de Lisboa foi da Appleton e Domingos, Arquitetos, Lda com a construção realizada pela Tetrapod Construção Civil, Lda.



Figura 5.12 – Edifício após a reabilitação (Urbanspace, 2012).

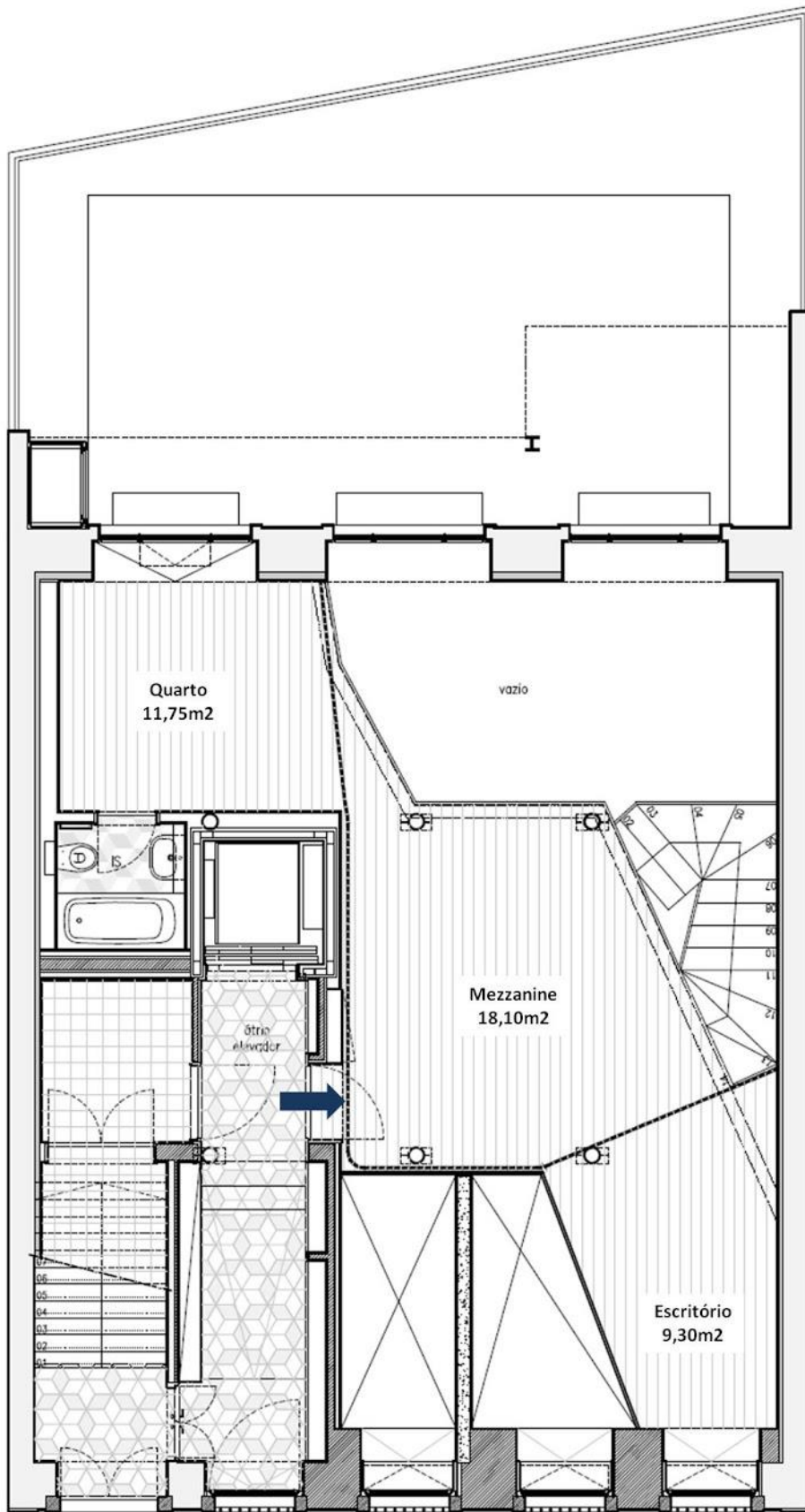
Nesta reabilitação, foram alterados diversos elementos do edifício, a sua estrutura interior foi toda alterada para adequar as necessidades de utilização propostas pelo novo projeto, a estrutura da cobertura, as telhas, as varadas da fachada posterior, as instalações elétricas e sanitárias, foram todas refeitas. Os revestimentos internos foram alterados, as disposições dos ambientes internos também foram alteradas. Foi acrescentado um elevador ao edifício e retirada a escada metálica da fachada posterior.

Segue abaixo imagens dos projetos arquitetônicos da Appleton e Domingos, Arquitetos, Lda, aprovados e executados nesta reabilitação (Figura 5.13 a Figura 5.17):



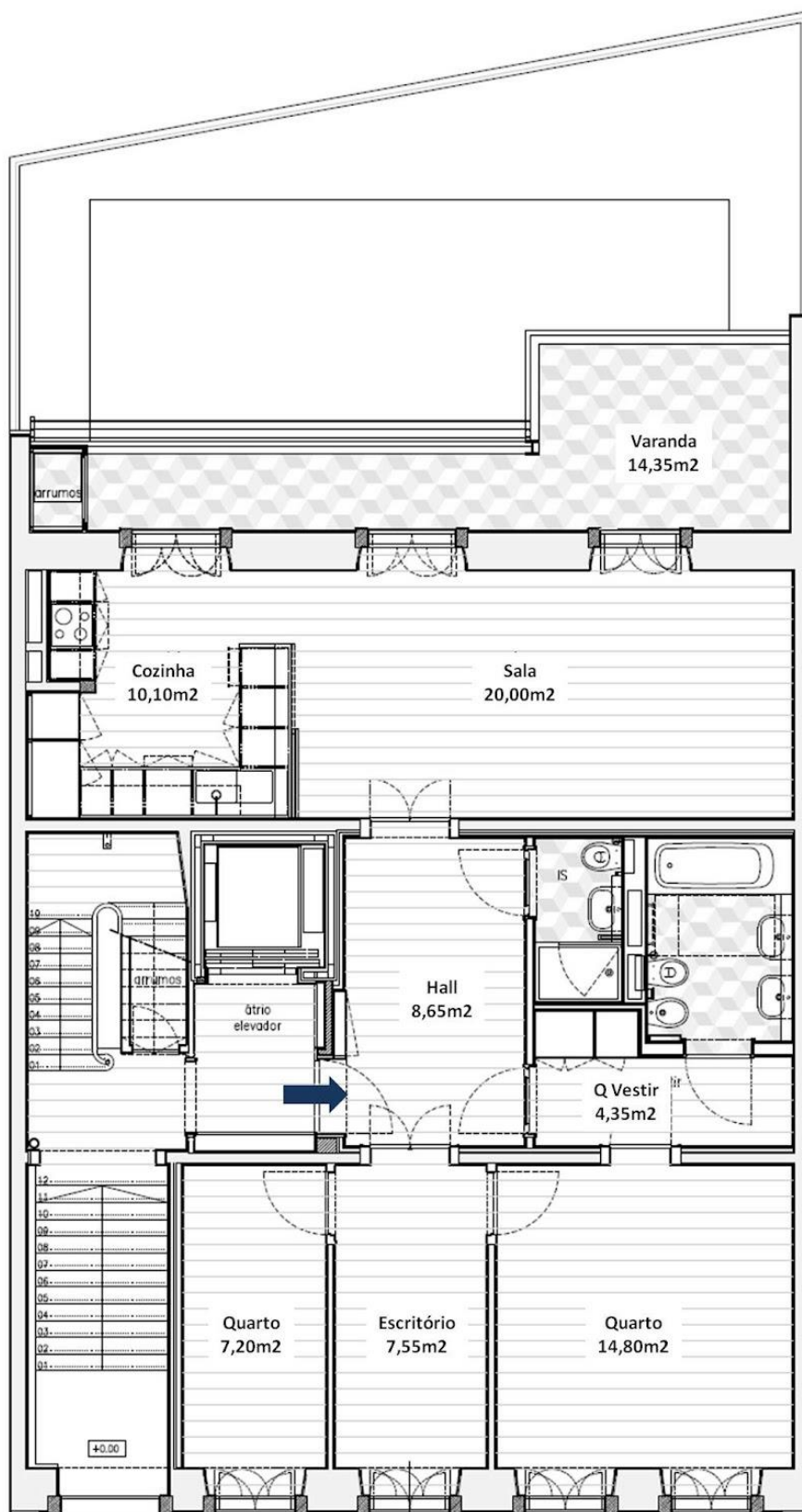
Loft T3+1  
Cave e Jardim

Figura 5.13 – Projeto da cave do edifício (Urbanspace, 2012).



Loft T3+1  
R/Chão (Entrada)

Figura 5.14 – Projeto do rés-de-chão do edifício (Urbanspace, 2012).



T2+1 A  
1º Andar

Figura 5.15 – Projeto do piso tipo (Urbanspace, 2012).



Figura 5.16 – Projeto dos dois últimos pisos (Urbanspace, 2012).

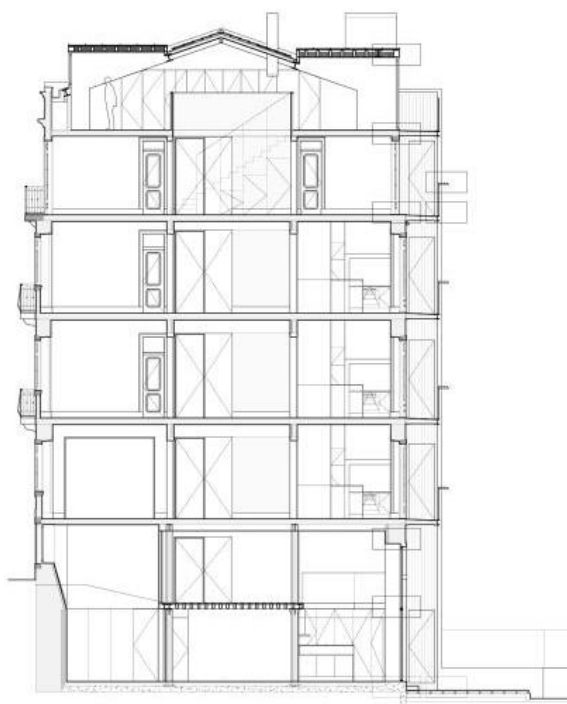


Figura 5.17 – Corte transversal do edifício (IHRU, 2012).

De acordo com o site Certificação Energética dos Edifícios ([www.sce.pt](http://www.sce.pt)) o caso 01, após a reabilitação recebeu certificação energética para cada fração, sendo para o rés de chão, 1º andar, 2º andar, 3º andar e 4º andar, as classes A, B, C, D e E, respetivamente.

#### 5.4.2 Estudo de Caso 02

No Caso 02 o conjunto habitacional encontra-se desocupado, sem obras, em necessidade de Reabilitação (Figura 5.18). Estes edifícios, foram sugeridos para reabilitação por duas vezes, a primeira proposta, em junho de 2005, foi recebida e negada pelo Instituto Português do Património Arquitetónico (atualmente DGPC), com a justificativas das alterações sugeridas eram insuficientes para melhorar a condição de habitabilidade, que deve-se devolver o aspeto original do saguão existente, sem novas construções e reformular o logradouro para libertá-lo das construções anexas existentes (Rego et al., 2021).



Figura 5.18 - Patologias no conjunto edificado (Fonte: Penim Loureiro, 2007).

Após o parecer do Instituto Português do Património Arquitetónico, foi reformulada nova proposta de reabilitação que em resumo, para liberar o logradouro demolia maior parte das construções mais recentes do logradouro, do século XX, mantinha a instalação sanitária do saguão por ser a única existente do fogo e aumentava as áreas dos fogos com a ampliação do Piso 02 para compensar a área demolida.

A segunda proposta foi também recusada com o parecer fundamentado, em resumo, pela situação apresentada do logradouro ainda não garantia um usufruto eficaz, o saguão ainda apresentava interferência de construção não original (instalação sanitária) e ainda não ser uma proposta que permitia a correção da situação atual dos espaços exíguos.

O histórico de propostas para reabilitação deste conjunto permite perceber que se deseja recuperar o valor do logradouro como local de socialização entre os usuários, o que indica a necessidade de demolição de parte do conjunto e consequente ampliação da área do logradouro. Também a necessidade de preservar o aspeto original do saguão e a importância dos elementos históricos presentes no conjunto, como por exemplo, a Muralha Fernandina e os azulejos antigos, fica plausível a ampliação do Piso 02, com a devida distinção do que seria construção nova e o que seria antigo.

## 5.5 Sistemas Energéticos Sugeridos

### 5.5.1 Estudo de Caso 01

Após determinar as medidas de reabilitação que serão realizadas no edifício do Caso 01, inicia-se o estudo das possíveis tecnologias de produção de energia que podem ser instaladas no edifício. Neste trabalho é considerada a produção por energia solar e eólica, inicialmente é feito a análise da envolvente para verificar a disposição do edifício aos ventos e aos raios solares.

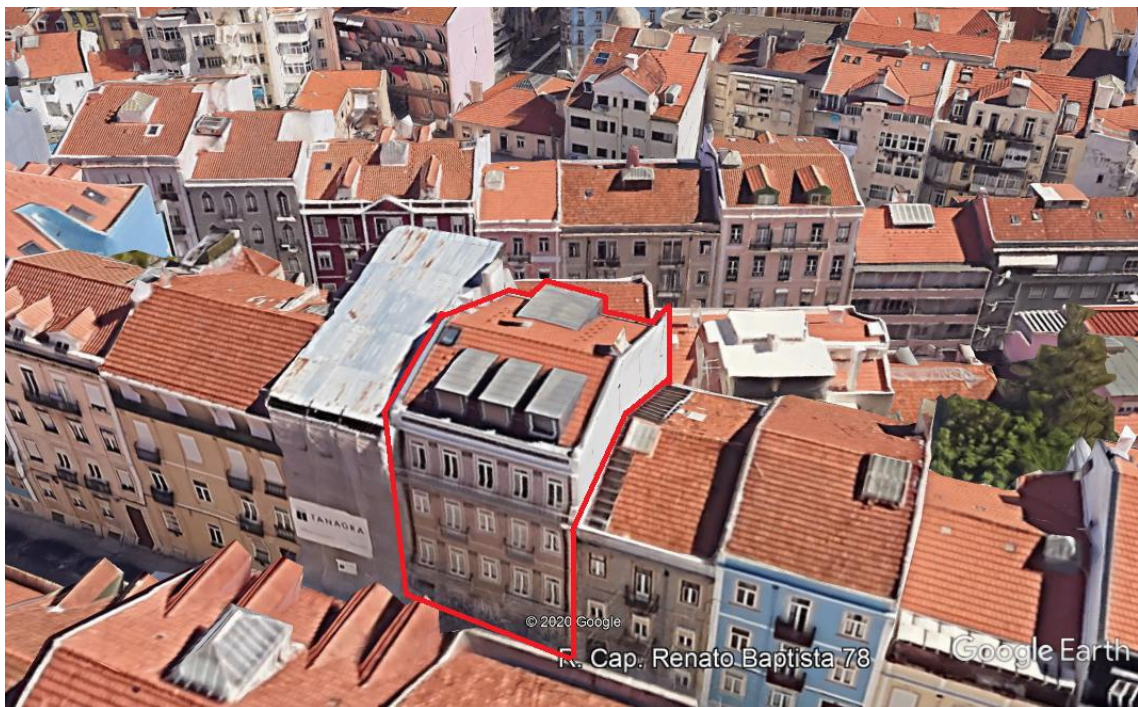


Figura 5.19 – Edifício em análise, em vermelho e os seus vizinhos (fonte: Google Earth Pro).

O edifício é mais alto que os seus vizinhos (Figura 5.20), por este motivo está livre de obstáculos próximos na região da cobertura, o que impede a formação de sombra nesta área durante boa parte do dia e também mostra estar livre de obstáculos próximos que possam gerar ventos muito turbulentos.



Figura 5.20 – Edifício em análise e os seus vizinhos (imagem do autor).

Na fachada principal do edifício não é possível a instalação de qualquer sistema de geração de energia, painéis ou películas fotovoltaicas, ou aerogeradores, iriam alterar o aspeto visual do edifício, escondendo ou danificando elementos que representam a identidade do imóvel, iria ferir o valor arquitetónico e histórico do edifício.

A instalação de película OPV nas portadas interiores da fachada principal, também não seria uma solução sugerida, pois as portadas são cor brancas (Figura 5.21), o que as tornariam muito evidentes, pois são de tonalidade escura e prejudicaria o valor arquitetónico e histórico do edifício.



Figura 5.21 – Portadas interiores da fachada principal (TETRAPOD, 2017).

Na fachada posterior do edifício o projeto de reabilitação considerou a troca das caixilharias (Figura 5.22) e alteração da varanda, que anteriormente possuía vedação e agora foram retiradas (Figura 5.23), o que permite maior iluminação das portas e janelas da fachada posterior que está voltada para leste recebendo iluminação direta no período da manhã, apesar das poucas horas de iluminação, é uma das sugestões a instalação de película adesiva OPV nas portadas interiores das portas e janelas da fachada posterior, nos andares tipos (Figura 5.24). A quantidade de energia que seria produzida é impossível de calcular previamente, pois dependerá dos hábitos dos usuários do apartamento em manter a portada aberta ou fechada e a sua posição em relação ao sol varia a sua eficiência e a sua produção energética.



Figura 5.22 – Caixilharia nova do edifício (IHRU, 2012).



Figura 5.23 – Nova estrutura das varandas (TETRAPOD, 2017).



Figura 5.24 – Portada interior da fachada posterior (TETRAPOD, 2017).

Na cobertura há maior possibilidade de incorporação de sistemas solares e eólicos, na reabilitação ocorrida neste edifício as telhas foram trocas por novas telhas tipo luso. Para ocupação do sótão foram acrescentadas três mansardas voltadas para a fachada principal e uma mansarda para a fachada posterior (Figura 5.25), alterando as características da cobertura, como, por exemplo, a redução da dimensão da claraboia que ilumina e ventila a caixa de escada.



Figura 5.25 – Nova ocupação do sótão (TETRAPOD, 2017).

As mansardas, como é possível observar na Figura 5.19, possuem cobertura metálica em tonalidade escura da cor cinza, o que a torna ideal para acrescentar as películas adesivas de OPV, as três mansardas da fachada principal poderiam receber películas OPV na sua cobertura, da marca SUNEW, poderiam ser instaladas três películas SUNEW FLEX 20, de 0,53 m de largura por 2,57 m de comprimento, com potência de 37 W cada. Na mansarda da fachada posterior

poderiam ser instaladas seis películas SUNEW FLEX 20. Somando assim a potência total na cobertura de 555 W (SUNEW, 2019).

A instalação das películas fotovoltaicas nas mansardas não representaria um risco de dano ao património, visto que as mansardas, de grande impacto visual foram aceites pela Câmara Municipal e as películas não alterariam o projeto das mansardas e apresentam impacto visual bastante reduzido. A claraboia deste edifício por possuir reduzida dimensão, não é interessante a aplicação de película OPV, pois reduziria a luminosidade natural da escada, aumentando a necessidade de iluminação artificial e consequentemente o consumo de energia elétrica.

A cobertura da chaminé (Figura 5.26), que possui aproximadamente 1,6 m de comprimento por 0,6 m de largura, poderia receber algumas opções:

- Uma película de OPV de 0,53 m por 1,55 m, com potência de 22,2 W;
- Painel fotovoltaico de silício cristalino de 0,6 m por 1,1 m, com potência de 120 W;
- Aerogerador vertical de 750 W de potência;
- Aerogerador vertical de 2000W de potência;



Figura 5.26 – Cobertura da chaminé (TETRAPOD, 2017).

Nenhum destes equipamentos apresenta qualquer dano físico aos elementos do prédio. Contudo, se diferem na produção energética e na interferência visual, neste caso quanto maior a potência do equipamento, maior o seu volume e a sua interferência visual. Pensando na região em que está construído o edifício, caso este esteja próximo de um miradouro, é mais interessante evitar o uso dos aerogeradores e utilizar o painel fotovoltaico tradicional. Mas neste caso, a cobertura voltada para a fachada posterior é avistada apenas pelo Miradouro da Graça e do Monte

Agudo (Figura 5.27), distantes em linha reta respectivamente 850 m e 500 m aproximadamente, nestas distâncias os detalhes da cobertura são praticamente impercetíveis ao olho humano.



Figura 5.27 – Miradouros próximos do edifício (IHRU, 2012).

Por estes motivos citados seria inicialmente sugerido a instalação de um aerogerador de 2.000 W na cobertura da chaminé que possui um rotor de pequenas dimensões (Figura 5.28), a sua interferência seria próxima da interferência de uma antena parabólica, comum em alguns edifícios, mas caso a Câmara Municipal ou os moradores locais desaprovassem esta solução, adotaria então a opção do painel fotovoltaico tradicional.



Figura 5.28 – Sugestão de instalação do ATLAS2.0 (adaptado de TETRAPOD, 2017)(TESUP, 2020a).

A área exterior do edifício acessível pela cave possui uma área reduzida e no interior do quarto (Figura 5.29), região onde formar sombra e impede a instalação de tecnologias fotovoltaicas, os aerogeradores precisam estar em locais altos ou livres de obstáculos, o que descarta a possibilidade de utilização de aerogeradores na área exterior do terraço.

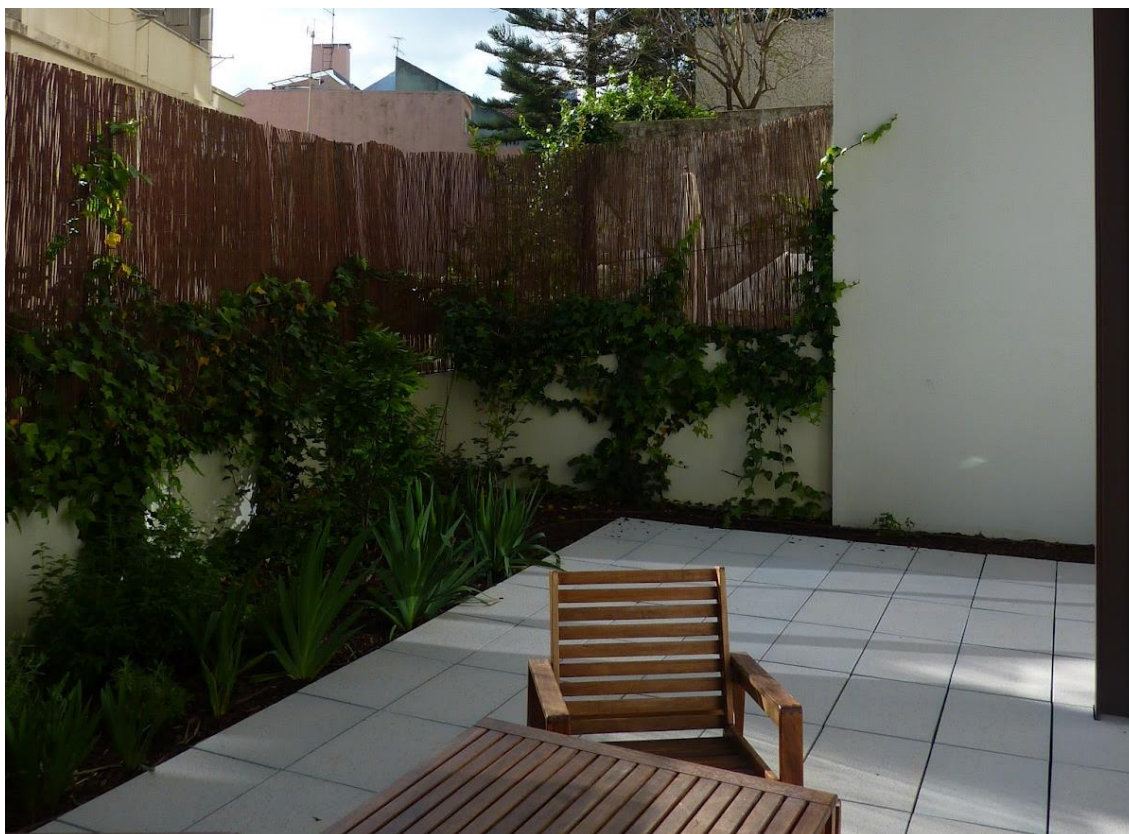


Figura 5.29 – Jardim do edifício (IHRU, 2012).

A Tabela 5.2 resume as sugestões para este estudo de caso, que poderiam ter sido implantadas nos projetos de reabilitação do edifício sem considerável prejuízo técnico, histórico ou visual ao património imóvel.

Tabela 5.2 – Resumo dos sistemas sugeridos Caso 01 (próprio autor).

<b>Resumo das Sugestões do Caso 01</b>			
<b>Local</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência nominal máxima</b>
Cobertura das mansardas	Película orgânica fotovoltaica SUNEW FLEX 20	20,43 m <sup>2</sup>	555 W
Cobertura da chaminé	Aerogerador de eixo vertical	1 unidade	2.000 W
Portadas interiores da fachada posterior	Película orgânica fotovoltaica SUNEW FLEX 12	14,78 m <sup>2</sup>	399,6 W
<b>Potência total máxima nominal dos equipamentos:</b>			<b>2954,6 W</b>

Neste estudo de caso do Caso 01, devido à baixa produção de energia para um edifício deste porte, é necessário ter um sistema ligado à rede pública, pois não é possível produzir toda a energia consumida pelos usuários, assim, dispensa o uso de baterias no sistema. O inversor pode ser um inversor de parede ou microinversores instalados nos equipamentos individualmente, como a reabilitação deste edifício contempla a alteração de paredes e os seus revestimentos, não possui restrições para a localização do inversor de parede.

## 5.5.2 Estudo de Caso 02

O Caso 02, por ser um caso ainda não reabilitado com projetos ainda não aprovados para reabilitação, será considerado uma situação hipotética, já apresentada por alunos da Pós-Graduação Conservação e Reabilitação de Construções, do ISEL, na unidade curricular Princípios da Conservação e Reabilitação de Edifícios, ministrada pelo docente Carlos Penim Loureiro. A proposta dos alunos consiste nas peças desenhadas abaixo (Figura 5.30 a Figura 5.32) e estas serão utilizadas para mostrar como as energias renováveis podem ser incluídas em uma proposta de reabilitação com as características desse caso.

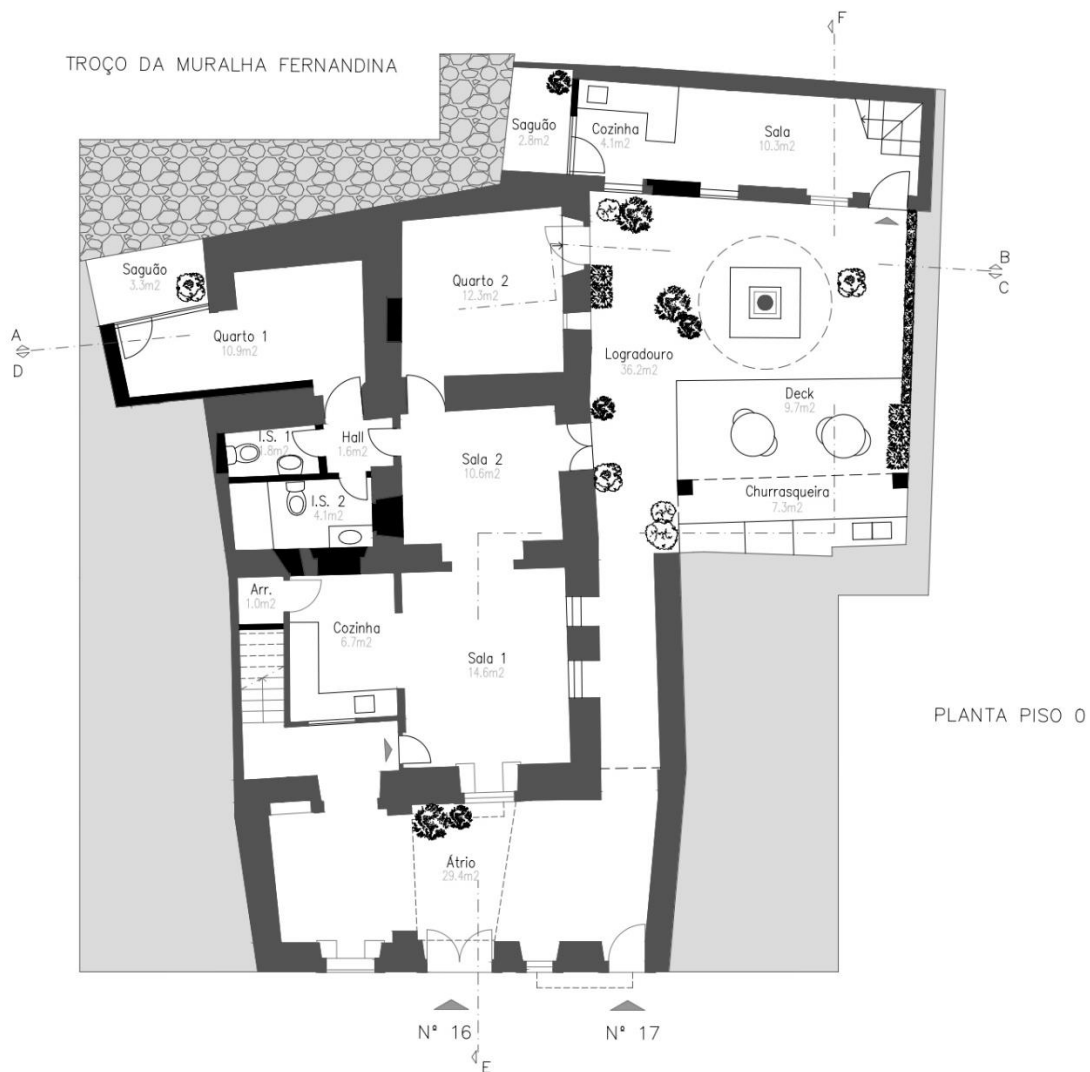


Figura 5.30 – Proposta para o Piso 00 (Sousa et al., 2021).

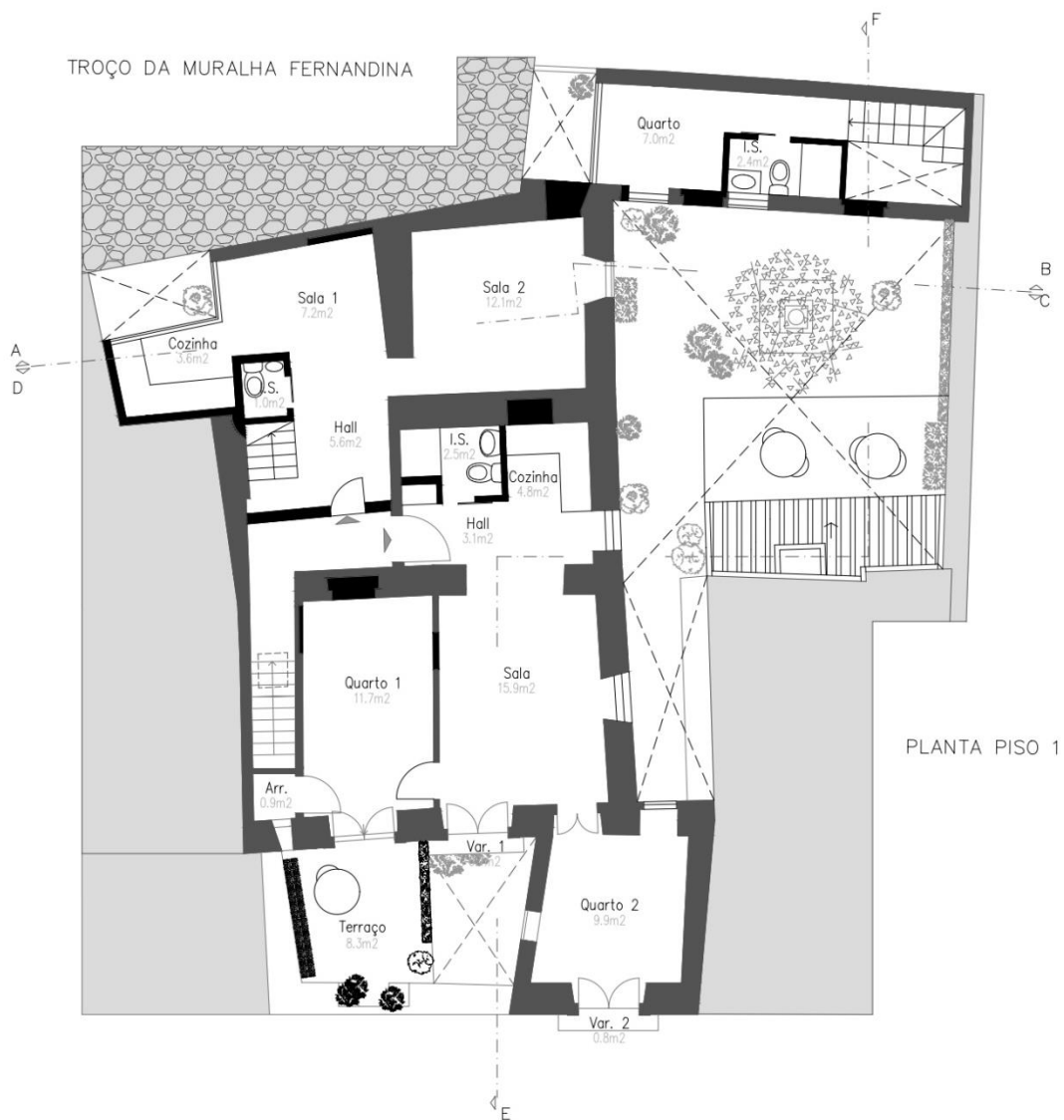


Figura 5.31 – Proposta para o Piso 01 (Sousa et al., 2021).

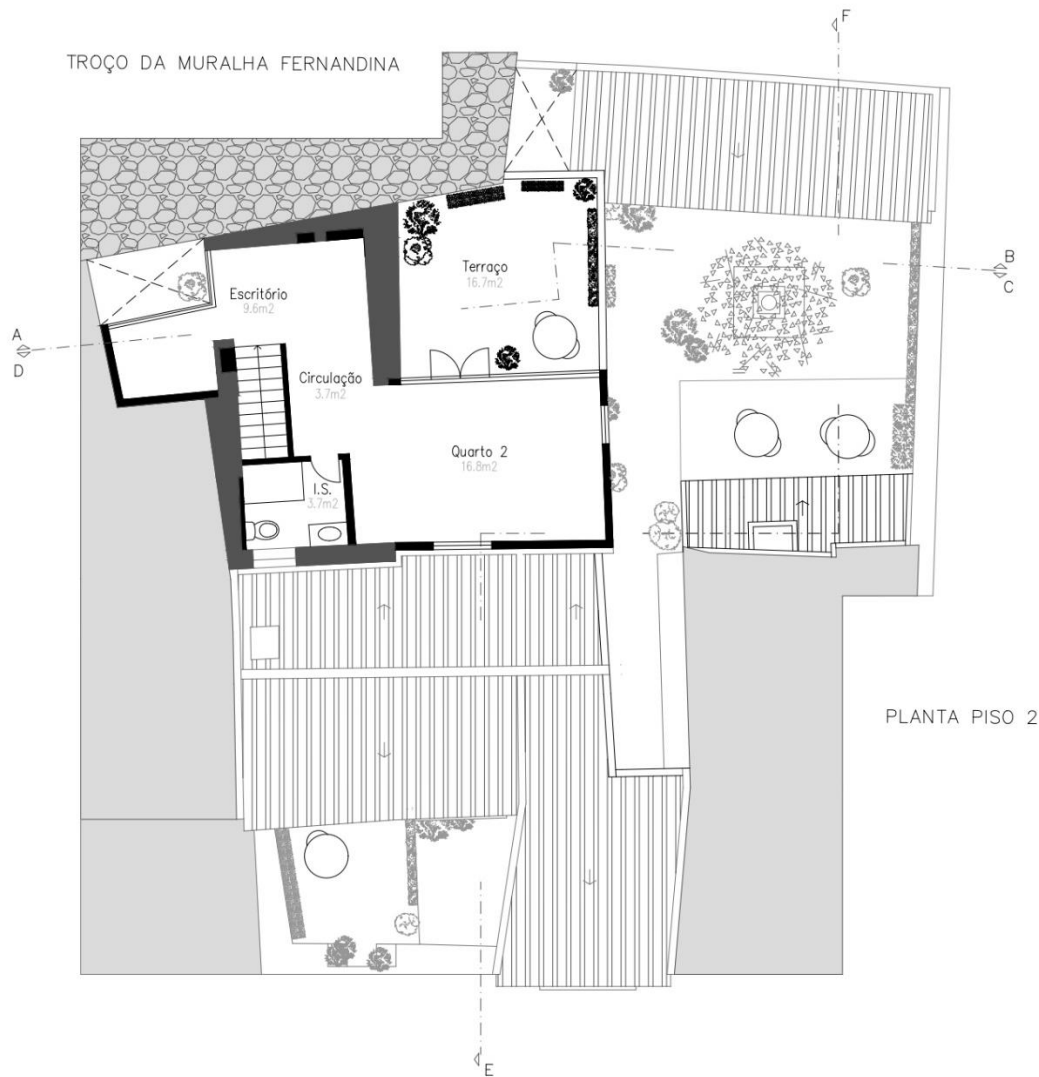


Figura 5.32 – Proposta para o Piso 02 (Sousa et al., 2021)..

Na Figura 5.33 é possível observar a altura do conjunto dos edifícios do Caso 02 e as alturas dos edifícios vizinhos. As estruturas na sua envolvente podem ser eliminatórias para algumas soluções de geração de energia. No caso em estudo temos três estruturas com altura superiores ao conjunto habitacional em estudo, um a norte, um a sul e um a leste (Muralha Fernandina). Os edifícios vizinhos são obstáculos que geram, além das sombras, os ventos turbulentos, por este motivo, já fica descartada a utilização de aerogeradores de eixos horizontais, porém é possível a utilização de aerogeradores de eixo vertical.



Figura 5.33 – Construções na envolvente do Caso 02 (fonte: Google Earth Pro)

Na fachada principal do edifício, assim como no Caso 01, não é possível a instalação de qualquer sistema de geração de energia, painéis ou películas fotovoltaicas, ou aerogeradores, iriam alterar o aspeto visual do edifício, escondendo ou danificando elementos que representam a identidade do imóvel, iria ferir o valor arquitetónico e histórico do edifício.

As portadas interiores das janelas presentes na fachada principal, assim como no Caso 01 não permitem a instalação de OPV, pois o OPV alteraria sensivelmente o aspeto visual e estas janelas também não recebem quantidade adequada de radiação solar, pois além da sua posição à oeste, ainda existe a presença de sombra das árvores existentes no Largo do Telheiro.

Nas janelas do interior, já seria possível a instalação de OPV, porém é impossível calcular exatamente a produção energética no OPV, visto que os hábitos e a utilização dos moradores são determinantes para o tempo de exposição do OPV ao sol. Na Figura 5.34 mostra a nova configuração dos Pisos 00, 01 e 02.

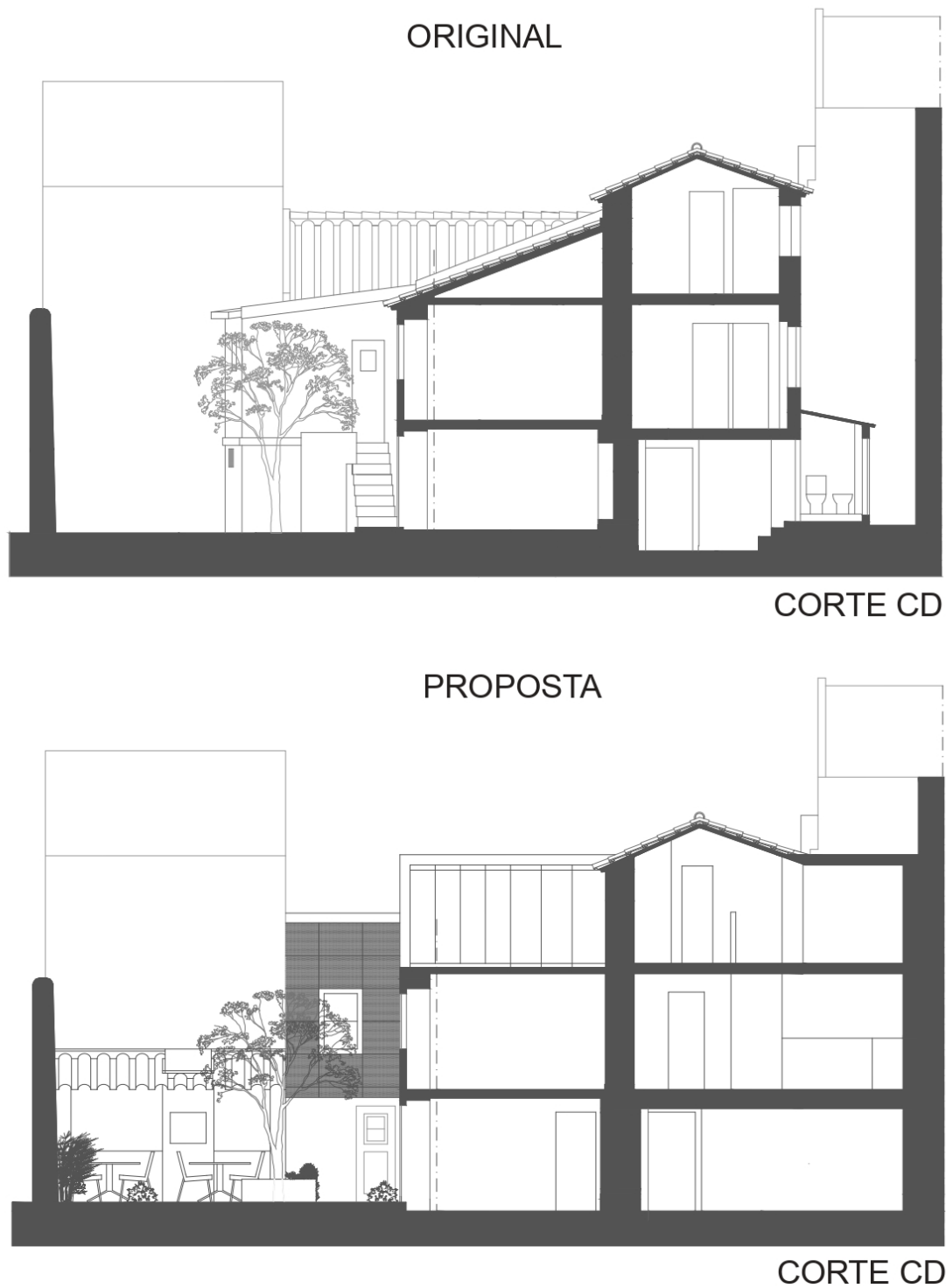


Figura 5.34 – Corte CD do original e da proposta de reabilitação (Sousa et al., 2021)

As novas paredes, janelas e coberturas, podem ser utilizadas para aplicação de tecnologias fotovoltaicas, no revestimento externo das paredes exteriores podem ser fixadas películas OPV (Figura 5.35), além de produzir energia elétrica a Película OPV ajudará na proteção as paredes contra as intempéries. As novas janelas a serem incorporadas, podem receber nas suas portadas interiores a instalação de OPV.

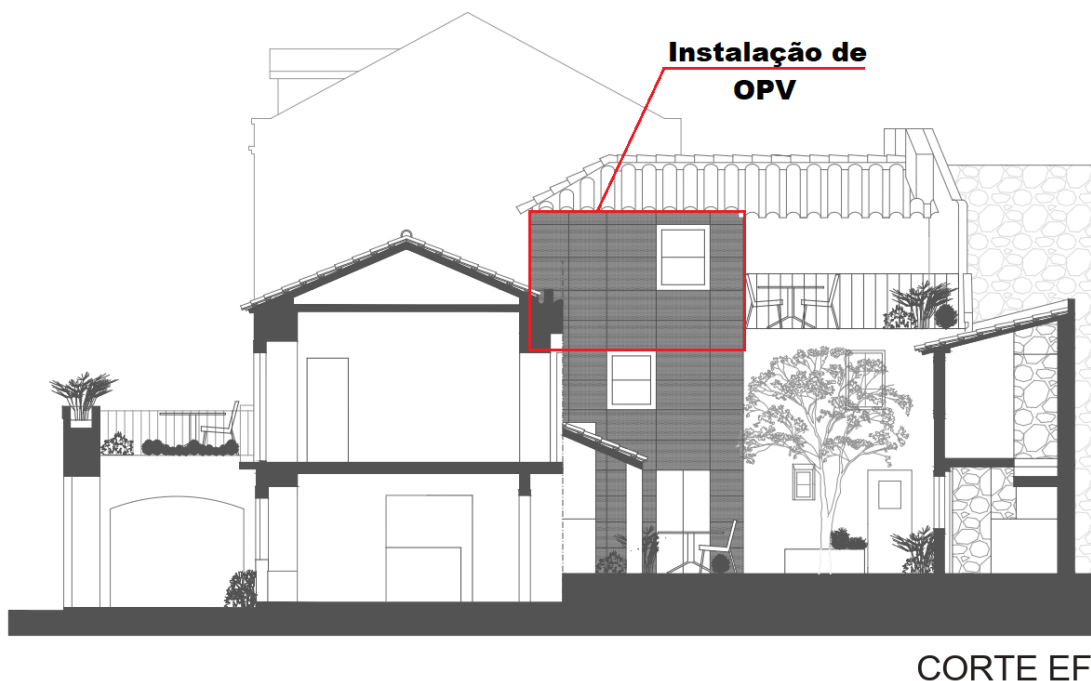


Figura 5.35 – Opção de área para instalação de OPV (adaptado de Sousa et al., 2021).

Na proposta para reabilitação do Caso 02, há alterações na cobertura do Piso 01 e do Piso 02, além de uma nova cobertura na área do logradouro para a churrasqueira. Nestas novas coberturas podem ser incluídos sistemas fotovoltaicos, mesmo que o posicionamento dos elementos em relação ao Sol e a presença dos obstáculos geradores de sombra, ainda seria possível aproveitar algumas áreas da cobertura, como por exemplo, utilização de telhas fotovoltaicas na cobertura da churrasqueira e painéis fotovoltaicos na nova laje de cobertura do Piso 02 (Figura 5.36). Este conjunto do Caso 02 não possui claraboia, o que descarta a utilização de OPV neste tipo de elemento. Também não há chaminés na proposta de reabilitação, o que descarta a utilização de qualquer sistema de geração de energia no topo da chaminé.

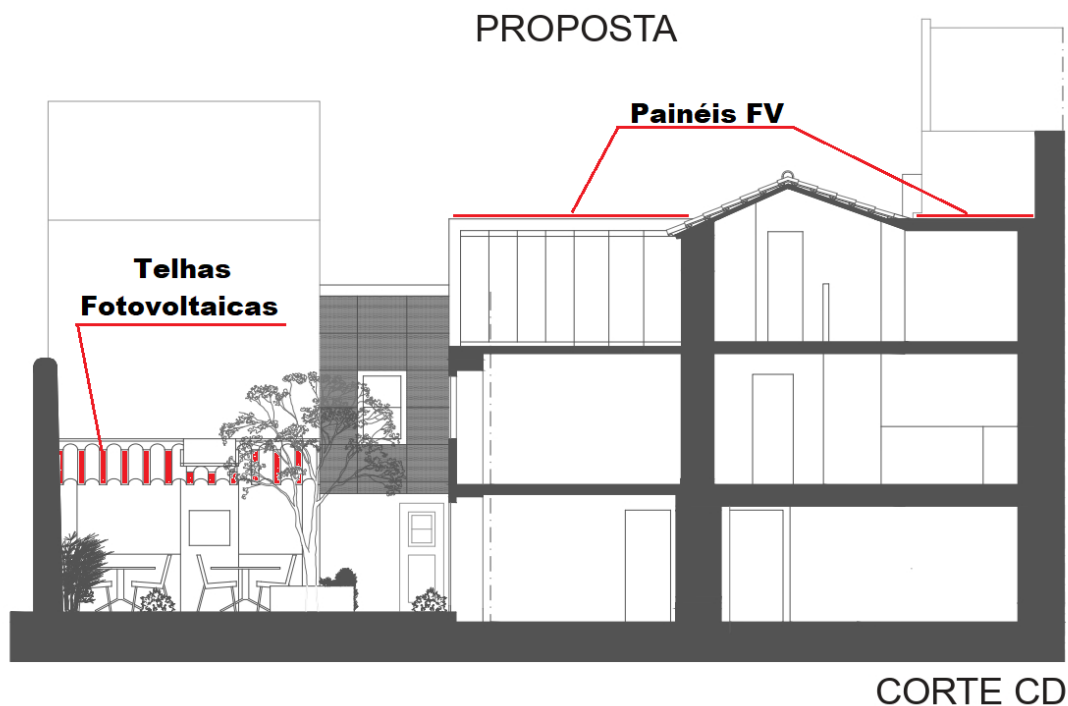


Figura 5.36 – Opções para as novas coberturas (adaptado de Sousa et al., 2021).

No centro da nova laje de cobertura poderia ser instalado também um aerogerador de eixo vertical, é um dos pontos mais altos do Caso 02 e relativamente equidistante dos edifícios vizinhos que provocam turbulência nos ventos. O uso de placas fotovoltaicas e de aerogerador de eixo vertical geram um impacto visual considerável, por este motivo é importante verificar a exposição da cobertura para os miradouros históricos de Lisboa. Os miradouros mais próximos do telheiro são:

- Miradouro da Graça, 315 metros de distância a noroeste.
- Miradouro das Portas do Sol, 375 metros de distância a sudoeste.
- Miradouro de Santo Estevão, 385 metros de distância a sul.
- Miradouro do Recolhimento, 440 metros de distância a sudoeste.
- Miradouro de Santa Luzia, 460 metros de distância a sudoeste.

De nenhum dos miradouros citados seria possível ver a cobertura dos edifícios do Caso 02, o único ponto que poderia ser visto a cobertura, seria o das torres dos sinos da Igreja de S. Vicente, porém não é como um miradouro, não é uma vista tradicional da cidade de Lisboa, como são os miradouros. Também não seria visível aos moradores, quando estes utilizassem o logradouro do Conjunto Habitacional. O que faz neste caso ser interessante a utilização dos sistemas de geração de energia elétrica sobre a nova cobertura do Caso 02 (Figura 5.37).

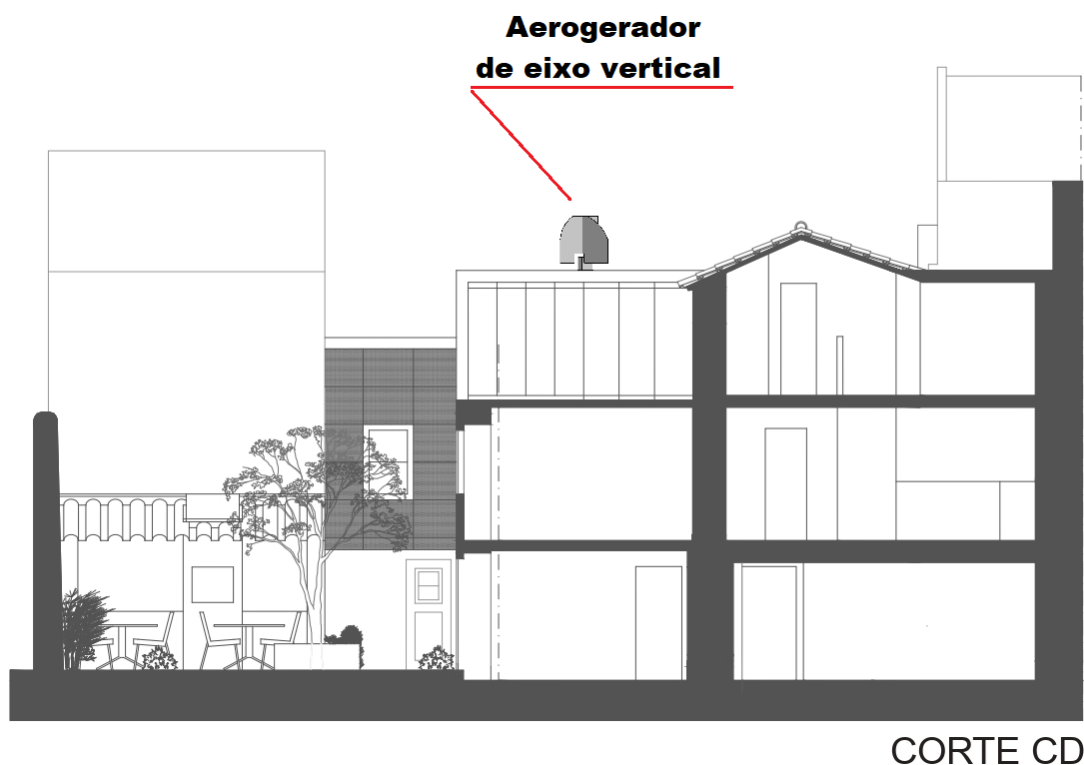


Figura 5.37 – Opção de aerogerador na cobertura nova (adaptado de Sousa et al., 2021).

A Tabela 5.3 resume as sugestões para este estudo de caso, que poderiam ter sido implantadas nas propostas de reabilitação do edifício, sem considerável prejuízo técnico, histórico ou visual ao património imóvel.

Tabela 5.3 – Resumo dos sistemas sugeridos Caso 02 (próprio autor).

<b>Resumo das Sugestões do Caso 02</b>			
<b>Local</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência nominal máxima</b>
Revestimento exterior na ampliação do piso 02	Película orgânica fotovoltaica SUNEW FLEX 20	5,8 m <sup>2</sup>	155,4 W
Cobertura da laje do piso 02	Aerogerador de eixo vertical	1 unidade	2.000 W
	Painel Fotovoltaico Tiger Pro (1,2 x 2,2 m)	5 unidades	2.900 W
Cobertura da nova área da churrasqueira	Telha fotovoltaica Tégula Solar	6,7 m <sup>2</sup>	400 W
<b>Potência total máxima nominal dos equipamentos:</b>			<b>5.455,4 W</b>

Neste estudo de caso, devido à baixa produção de energia para um conjunto habitacional deste porte, é necessário ter um sistema ligado à rede pública, pois não seria possível produzir toda a energia consumida pelos usuários, assim, dispensa o uso de baterias no sistema. Os inversores podem ser de parede ou microinversores instalados nos equipamentos individualmente,

como a reabilitação deste edifício contempla a alteração de paredes e os seus revestimentos, não possui problemas para a localização do inversor de parede e controladores de carga.

## **5.6 Análise dos Casos**

Ambos os casos mostram dificuldades particulares para a introdução das energias renováveis em sua reabilitação, estas dificuldades estão diretamente ligadas aos valores históricos dos edifícios, a sua arquitetura, a envolvente em que está inserido, os materiais que foram utilizados, os regulamentos vigentes e a proposta de reabilitação que será executada.

É possível verificar uma maior potência nominal máxima no Caso 02, isto ocorre por neste caso a proposta de reabilitação sugerida incluir novos elementos no edifício, como a expansão do Piso 02, isto gerou um aumento da área de cobertura e os elementos novos permitem maior flexibilidade na instalação dos sistemas de geração de energia elétrica, assim como foi no Caso 01, a inclusão das mansardas na cobertura do edifício.

Percebe-se que quanto maior a inclusão de elementos novos no edifício a ser reabilitado, maior a possibilidade de instalação de energias renováveis. Também se percebe que a região da cobertura e da fachada do tardo, são as mais prováveis de receber os equipamentos de geração de energia, com maior destaque para as coberturas.

Os dois casos precisam estar ligados a rede pública de fornecimento de energia, por não garantir potência instalada suficiente para a média de consumo por fogo. A introdução desses edifícios numa Comunidade de Energia, poderia ajudar a resolver este problema dos edifícios em zonas históricas, pensando no aspeto da reabilitação coletiva da zona histórica.

Comunidades de energia, em resumo, são comunidades em que seus componentes se unem para investir e utilizar fontes renováveis locais, para satisfazer as necessidades energéticas de toda a comunidade e não só da unidade individual, sem objetivo de ter lucro, um edifício pode produzir mais energia do que consome em determinado período do dia e vender essa energia por um preço bem reduzido ao seu vizinho, em outro momento do dia, comprar. Assim produz maior benefício social, económico e ambiental.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho cumpri o objetivo proposto de levantar as limitações que os edifícios antigos possuem para a instalação de sistemas de geração de energia elétrica por fontes renováveis, a começar pela falta de informações sobre a construção e utilização do edifício, o frequente histórico de má conservação e manutenção, o que gera um mau comportamento dos elementos constituintes dos edifícios, com o possível aparecimento de patologias, quando instalados os equipamentos de geração de energia.

Com a análise da literatura sobre as energias renováveis é possível limitar e concluir que as tecnologias plausíveis para a produção energética nos edifícios antigos, são apenas os equipamentos de geração por energia solar e energia eólica. As demais fontes podem ser utilizadas para produção de calor (o que reduz o consumo elétrico), ou para produção de energia elétrica em larga escala, mas não individual.

A pesquisa dos equipamentos disponíveis no mercado, conclui que não há equipamento ou tecnologia específica, até o momento, para ser instalada em edifícios antigos com valor histórico e arquitetónico. É necessário analisar cada edifício e cada projeto de reabilitação para definir como implementar os equipamentos de geração de energia, além dos locais tradicionais.

Esta pesquisa mostrou que os melhores equipamentos para serem considerados nas reabilitações, pelo critério da interferência no seu valor patrimonial, são os painéis FV as películas orgânicas fotovoltaicas (OPV) e os pequenos aerogeradores de eixo vertical, porém deve-se ter atenção principalmente ao ruído e a vibração causada pelos aerogeradores. Em relação a abordagem superficial sobre os custos, o painel FV tradicional e os aerogeradores de eixo vertical são os equipamentos com melhor relação custo por unidade de potência nominal instalada.

Apesar de ser possível a integração de energias renováveis e este trabalho mostrar algumas possibilidades de introdução, é relevante clarificar que esta integração possui grandes limitações e pode não ser viável se for analisado aspeto económico e de produção de energética, que não foi o foco deste trabalho. A potência nominal é baixa face ao consumo médio em Portugal, a localização e instalação dos equipamentos não é ideal o que diminui a produção energética e a eficiência do sistema instalado.

Face ao exposto sobre a baixa potência nominal instalada, é fundamental a introdução de energias passíveis aliada com os sistemas de geração de energia elétrica, para tentar atingir as metas de edifícios NZEB. Soluções como os coletores solares, sistemas de ventilação natural, de iluminação natural, sistemas de isolamento térmico e equipamentos de boa eficiência energética, devem ser amplamente explorados e introduzidos nas reabilitações de edifícios antigos em zonas históricas.

Este trabalho não desenvolveu uma nova tecnologia para produção de energia, mas sugeriu novas técnicas de instalação em locais não convencionais, como OPV em tubos solares, nas coberturas de chaminés, nas claraboias, portadas interiores e pintura de telhas fotovoltaicas. Foram apresentadas as potências nominais máximas de cada equipamento, mas a quantidade real de energia produzida não foi apresentada por não haver um sistema empírico desenvolvido para estes modelos de instalação não convencionais.

Os estudos de casos desta pesquisa mostraram ser possível incorporar as energias renováveis no processo de reabilitação de um edifício antigo, porém, são soluções não convencionais ou ideais de instalação, que possuem baixa capacidade de produção comparado ao consumo energético de um edifício residencial tradicional. Mostrou que a possibilidade de introdução de energias renováveis está diretamente ligada à introdução de novos elementos na estrutura existente e ainda se concentra na região da cobertura e na fachada do tardoz.

Visto ser possível a incorporação de energias renováveis em edifícios com tantas limitações, de diferentes naturezas, como são nos edifícios antigos com valor histórico, é possível concluir que para edifícios correntes, também é possível incorporar sistemas de geração de energia elétrica por fontes renováveis, de forma mais eficiente do que as soluções propostas neste trabalho, contribuindo para um parque edificado mais sustentável.

Por depender das características físicas dos edifícios e não haver uma solução específica para todos os edifícios antigos, a tabela de orientação para os profissionais envolvidos numa reabilitação (Tabela 4.6), apresenta um auxílio genérico sobre os equipamentos de geração por energia solar e eólica.

Esta pesquisa e estes resultados, por serem pioneiros neste tema, são interessantes para todos os profissionais e empresas envolvidos no mercado da reabilitação e produção de energias renováveis, a utilização de energia renovável agrega ao valor do imóvel, reduz o consumo de eletricidade da rede e incentiva o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis.

Esta pesquisa constata a falta de interesse do mercado produtor de tecnologia solar e eólica em produzir equipamentos que atendam as necessidades energéticas dos edifícios antigos com valor histórico. Também, reconhece a deficiência dos regulamentos vigentes que não determina, em específico, qual tecnologia pode ser implantada em uma reabilitação e nem o que pode ser alterado para isto, ficando essa situação refém da justificativa dos projetistas e da aceitação da Câmara Municipal de cada município. Sendo um trabalho multidisciplinar que envolve principalmente a arquitetura, a engenharia civil, a engenharia elétrica e a engenharia mecânica.

## 6.1 Desenvolvimentos Futuros

Novas tecnologias estão sendo pesquisadas em todo o mundo, mas muito pouco se tem publicado em livros e está disponível no mercado, há diversos interesses comerciais e políticos que limitam o acesso a esse tipo de informação. Estas tecnologias que estão em desenvolvimento, como vidros que produzem energia elétrica, telhas fotovoltaicas, aerogeradores eólicos verticais sem hélices, ainda não estão presentes na literatura académica, ainda são objetos desenvolvidos principalmente por fabricantes e pesquisadores particulares, que não compartilham detalhes de fabricação e informações de carácter académico.

Este trabalho é o início de um caminho ainda pouco percorrido, é necessário acompanhamento das tecnologias em desenvolvimento que parecem promissoras para este tema, podendo estas serem objetos de pesquisas em trabalhos futuros. Os trabalhos futuros também podem aprofundar ou nas questões económicas, ou da produção, ou da eficiência energética dos equipamentos instalados de forma não convencionais, sugeridos neste trabalho. A melhoria dos regulamentos vigentes sobre reabilitação, para introdução das energias renováveis, pode ser também objeto de estudo para trabalhos futuros.

Este trabalho abordou a reabilitação individual de um edifício, mas os trabalhos futuros podem abordar a integração de energias renováveis em conjuntos habitacionais em maior escala, como em quarteirões e bairros, a componente da reabilitação coletiva aumenta a possibilidade de introdução de novas possibilidades, como o aproveitamento de um recurso hídrico, da geotermia superficial e de coletores solares em áreas abertas, como jardins e praças. Nesse sentido também entra a possibilidade de formação de comunidades energéticas, que podem ser estudadas em novos trabalhos.

Os sistemas de geração de energia elétrica podem produzir mais eletricidade do que o consumo elétrico, em determinados períodos do dia, este saldo positivo poderia ser armazenado em baterias, porém estas baterias são onerosas e podem também dificultar a reabilitação de edifícios antigos, pelas características físicas já citadas neste trabalho, uma possibilidade interessante e que pode ser objeto de estudo em trabalhos futuros, é utilizar o carregamento de carros elétricos nestes casos de saldo positivo, dispensando o uso de baterias.

As limitações de ruído e vibração causadas pelos equipamentos eólicos podem ser objeto de estudo mais aprofundado sobre o impacto de cada equipamento no ambiente urbano em zonas históricas e quais os efeitos nos diferentes elementos estruturais encontrados nos edifícios antigos, comparando os diferentes tipos de aerogeradores disponíveis no mercado.

As construções são fundamentais para o progresso humano e contam a história desse desenvolvimento em cada detalhe, merecendo todo o respeito pelo seu património, mas

infelizmente apresentam um alto custo negativo para o meio ambiente, por isso todo esforço para tornar a engenharia e a arquitetura mais sustentáveis, é sempre importante, por mais pequeno que seja.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arquivo Histórico de Lisboa. (n.d.). *Arquivo de Obras - Obra n.o 7629*. Câmara Municipal de Lisboa.
- BP Energy Economics. (2020). *Statistical Review of World Energy, 2020*, 69ª Edição, Relatório Técnico, disponível em [www.bp.com](http://www.bp.com).
- Campbell, N., Harries, A., & Stankovic, S. (2009). *URBAN WIND ENERGY*. Ed. Earthscan, Reino Unido e EUA.
- Casadinho, C. S. (2014). *Base de Dados do Potencial Eólico em Portugal Continental*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Cascais Cultura. (2018). *Recursos Educativos - História e Património Ficha de Conteúdos*, Vol.00. disponível em [www.cascaiscultura.pt](http://www.cascaiscultura.pt).
- CE. (1985). *Convenção de Granada*. Convenção Para a Salvaguarda Do Património Arquitectónico Da Europa, Conselho Europeu, Granada.
- Decreto Lei n.º 49/79 de 6 de junho. *Diário da República* n.º 130/1979, Série I de 1979-06-06. Ministério dos Negócios Estrangeiros - Direcção-Geral dos Negócios Políticos. Lisboa.
- Decreto Lei n.º 95/2019 de 18 de julho. *Diário da República* n.º 136/2019 – 1ª Série. (p. 35-45) Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Decreto Lei n.º 101-D/2020 de 07 de dezembro. *Diário da República* n.º 237/2020 – 1ª Série. (p. 21-45) Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Direção Geral do Património Cultural. (2020). **Património Arquitectónico**. Acessado em janeiro 20, 2020, disponível em [www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/patrimonio-arquitetonico](http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/patrimonio-arquitetonico).
- EletroJr. (2018). *ENERGIA SOLAR*. E-book, Ed. UFBA, Salvador.
- EPEVER. (2019). *XTRA N Series - User Manual*. Manual técnico de instruções, disponível em [www.epsolarpv.com/upload/file/1811/XTRA-SMS-EL-V1.3.pdf](http://www.epsolarpv.com/upload/file/1811/XTRA-SMS-EL-V1.3.pdf)
- EPEVER. (2020). *IPower Plus series - Datasheet*, Ficha de dados técnicos, disponível em [www.epsolarpv.com/upload/file/2012/EPEVER-Datasheet-IPPLUS.pdf](http://www.epsolarpv.com/upload/file/2012/EPEVER-Datasheet-IPPLUS.pdf)
- Fitzgerald, S. (2010). *Energy Today: Wind Power*, 1ª Edição, Ed. Chelsea Clubhouse, Nova York.
- Fontes, R. (2020). *Célula Solar: Conceitos Básicos Sobre Como a Luz do Sol Gera Energia Elétrica*. Acessado em abril 15, 2020, website: <https://blog.bluesol.com.br/>.
- Gomes, F. S. (2019). *Análise Energética de um Edifício Público com utilização de bomba de calor geotérmica*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto.
- Gonçalves, *EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS HISTÓRICOS*. Volume I. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- González, C. E. L., & Rolón, B. G. (2018). *Producción de películas delgadas para producción de celdas fotovoltaicas*. *Verano de La Investigación Científica*, Artigo Científico, Guanajuato.
- ICOMOS. (1964). *Carta de Veneza*. IIº Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos de Monumentos Históricos, Veneza.

- IHRU. (2012). *EDIFÍCIO DA RUA CAPITÃO RENATO BAPTISTA No 78 A 86*. Acessado em janeiro 5, 2021, website: [www.ihru.pt](http://www.ihru.pt).
- Instituto Nacional de Estatística. (2012). *Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal*. Ed. INE, I.P., Lisboa, Portugal.
- Investing.com. (2021). *Cotação de Petróleo Brent*. Acessado em janeiro 13, 2021, website: [www.pt.investing.com/commodities/brent-oil](http://www.pt.investing.com/commodities/brent-oil)
- Jinko Solar. (2020). *Tiger Pro Brochure*. Catálogo técnico de produto. disponível em [www.jinkosolar.eu/files/jinko/2020/PDF/Brochure/Tiger-Pro-Brochure.pdf](http://www.jinkosolar.eu/files/jinko/2020/PDF/Brochure/Tiger-Pro-Brochure.pdf)
- Liu, D., Yang, C., & Lunt, R. R. (2018). *Halide Perovskites for Selective Ultraviolet-Harvesting Transparent Photovoltaics*. Publicado na revista Joule, p. (1827–1837), disponível em [www.doi.org/10.1016/j.joule.2018.06.004](http://www.doi.org/10.1016/j.joule.2018.06.004)
- Lopes, T. M. O. (2018). *Autoconsumo Inteligente em Ambiente Residencial com Produção de Energia Solar Fotovoltaica Engenharia*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.
- Lorenzini, G., Biserni, C., & Flacco, G. (2010). *Solar thermal and biomass energy*. 1ª Edição, WITPress, Boston.
- Nansen. (2016). *Manual de Instruções KS 70®*. Manual técnico de produto, disponível em [www.nansen.com.br/medidores/ks70](http://www.nansen.com.br/medidores/ks70)
- Nardin, C. R. De. (2018). *APROVEITAMENTO DA ENERGIA GEOTÉRMICA SUPERFICIAL PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA DE CONDICIONADORES DE AR E REDUZIR O PICO DE DEMANDA*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Ordem dos Arquitectos. (2016). *Reabilitação e conservação do património arquitectónico Reabilitação - Cadernos Técnicos n.º4*. Ordem dos Arquitectos Secção Regional Sul, Lisboa.
- Pereira, A. R. R. (2013). *OPERAÇÕES DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto.
- Pereira, C. (2013). *Reabilitação de Edifícios “Gaioleiros”*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.
- Pereira, I. (2011). *Condições de viabilidade da microgeração eólica em zonas urbanas*. Tese de Mestrado, Universidade do Porto, Porto.
- PORDATA. (2018). *Consumo de energia eléctrica: total e por tipo de consumo*. Acessado em dezembro 19, 2020, disponível em : [www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela](http://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela).
- Portal Solar. (2016). *Como funciona o sistema fotovoltaico com back-up de baterias*. Acessado em abril 12, 2020, website: [www.portalsolar.com.br](http://www.portalsolar.com.br).
- Quaschnig, V. (2005). *Understanding Renewable Energy Systems*. Ed. Earthscan, London, Sterling.
- Quaschnig, V. (2010). *Renewable Energy and Climate Change*. Traduzido por Hedi Jourdan. Ed. WILEY, Estados Unidos da América.
- Rego, D., Monsanto, G., Coutinho, Í., Neto, M., & Mateus, R. (2021). *PROPOSTA DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIO HABITACIONAL - Telheiro de S. Vicente*. Trabalho Final de Pós-Graduação Conservação e Reabilitação de Construções, ISEL. Lisboa.
- Reis, P. (2019). *Energia Geotérmica e o Calor da Terra*. Acessado em abril 4, 2020, website:

- [www.portal-energia.com/energia-geotermica-calor-da-terra](http://www.portal-energia.com/energia-geotermica-calor-da-terra).
- Rüther, R. (2004). *EDIFÍCIOS SOLARES FOTOVOLTAÍCOS. O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil*. 1ª Edição, Ed. UFSC/LABSOLAR, Florianópolis.
- Silva, C. L. M. da. (2008). *Metodologias de gestão de operações de reabilitação de edifícios antigos*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto.
- SIM. (1931). *Carta de Atenas*. Conferência Internacional Sobre o Restauro Dos Monumentos, Serviço Internacional de Museus, Atenas.
- Simões, T., & Estanqueiro, A. (2019). *Caracterização do potencial eólico em ambiente urbano*. Jornadas científico-técnicas REGEDIS, Seção 1, Recurso Eólico, Artigo Científico, Soria.
- Solargis. (2018). *Mapa de recursos solares Portugal © 2019 Solargis*. Retrieved from <https://solargis.com>
- Solargis. (2018). *Mapa de recursos solares Portugal © 2019 Solargis*. Acessado em abril 09, 2020, website [www.solargis.com](http://www.solargis.com).
- Sousa, D., Marques, J., Monteiro, M., Nouch, M., & Tomás, P. (2021). *Proposta de Reabilitação de Edifício Vicente 16-17*. Trabalho Final de Pós-Graduação em Conservação e Reabilitação de Construções, ISEL. Lisboa.
- Sousa, H. de. (2003). *Construções em alvenaria - Apontamentos*. Material acadêmico, p. 212. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- SUNEW. (2019). *SUNEW FLEX Especificações Técnicas*. Catálogo técnico, Ed. SUNEW, Belo Horizonte.
- Tégula Solar. (2020). *TÉGULA BIG-F10*. Catálogo de especificações técnicas, Ed. Tégula, disponível em: [www.tegula.com.br/2020/wp-content/uploads/2020/10/TEG02620\\_Data-sheet-BIG-F10\\_C.pdf](http://www.tegula.com.br/2020/wp-content/uploads/2020/10/TEG02620_Data-sheet-BIG-F10_C.pdf).
- Teixeira, A. R. P. de A. (2010). *Micro-turbinas instaladas em ambiente urbano, desenvolvimento de uma metodologia para identificação e caracterização do potencial eólico*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Tesla. (2019). *Tesla Powerwall 2 Datasheet*. Catálogo de especificações técnicas, disponível em [www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/powerwall/Powerwall2\\_AC\\_Datasheet\\_en\\_northamerica.pdf](http://www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/powerwall/Powerwall2_AC_Datasheet_en_northamerica.pdf).
- TESUP. (2020a). *ATLAS2.0 Vertical Turbine - User Manual*. Manual de instruções técnicas disponível em: [www.tesup.co.uk](http://www.tesup.co.uk).
- TESUP. (2020b). *DOLPHIN200DC Wind Turbine - User Manual*. Manual de instruções técnicas disponível em: [www.tesup.co.uk](http://www.tesup.co.uk).
- TESUP. (2020c). *ZEUS3.0 Wind Turbine Datasheet*. Catálogo de instruções técnicas disponível em: [www.tesup.co.uk](http://www.tesup.co.uk).
- TETRAPOD. (2017). *Reabilitação Prédio - Rua Capitão Renato Batista*. acessado em janeiro 5, 2021, website: [www.tetrapod.pt/reabilitacao-predio-rua-capitao-renato-batista](http://www.tetrapod.pt/reabilitacao-predio-rua-capitao-renato-batista).
- UNESCO. (1972). *Convenção para a Protecção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural*. Conferência Geral Da Organização Das Nações Unidas Para a Educação, Ciência e Cultura, Paris.
- Urbanspace. (2012). *RCRB 86*. Acessado em janeiro 5, 2021, website: [www.rcrb86.blogspot.com](http://www.rcrb86.blogspot.com).

Villarreal, D. J. Y. (2018). *VIV resonant wind generators*. Artigo científico publicado em [www.vortexbladeless.com](http://www.vortexbladeless.com)

Xunzel. (2019). *WINDFORCE Series*. Catálogo de instruções técnicas disponível em: [www.xunzel.com/assets/xunzel-windforce-eng.pdf](http://www.xunzel.com/assets/xunzel-windforce-eng.pdf).