



Estimativa de potenciais técnicos de energia renovável em Portugal – eólico, solar fotovoltaico, solar concentrado, biomassa e oceanos

julho 2023

Sofia G. Simões, Teresa Simões, Juliana Barbosa, Carlos Rodrigues, Pedro Azevedo, João P. Cardoso, Jorge Facção, Paula A. Costa, Paulo Justino, Francisco Gírio, Alberto Reis, Paula C. Passarinho, Luís Duarte, Patrícia Moura, Mariana Abreu, Ana Estanqueiro, António Couto, Paula Oliveira, Lídia Quental, Pedro Patinha, Justina Catarino, Ana Picado

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia



LNEG Relatório Técnico

Contactos

Sofia G. Simões, Juliana Barbosa, Paula Oliveira | LNEG – UER

Teresa Simões, Ana Estanqueiro, Paula A. Costa, Carlos Rodrigues, João P. Cardoso, Pedro Azevedo, Paulo Justino, Jorge Facção, António Couto, Justina Catarino | LNEG – UEREE

Francisco Gírio, Alberto Reis, Paula Passarinho, Luís Duarte, Patrícia Moura, Mariana Abreu | LNEG – UBB

Ana Picado | LNEG – Assessora do Conselho Diretivo

Lídia Quental, Pedro Patinha | LNEG – UIG

Morada: LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Estrada da Portela, Bairro do Zambujal, Apartado 7586 – Alfragide, 2610-999 AMADORA, Portugal

Telefone: +351 210 924 600/1

© LNEG, 2023

Como citar: Sofia G. Simões, Teresa Simões, Juliana Barbosa, Carlos Rodrigues, Pedro Azevedo, João P. Cardoso, Jorge Facção, Paula A. Costa, Paulo Justino, Francisco Gírio, Alberto Reis, Paula C. Passarinho, Luís Duarte, Patrícia Moura, Mariana Abreu, Ana Estanqueiro, António Couto, Paula Oliveira, Lídia Quental, Pedro Patinha, Justina Catarino, Ana Picado (2023) **Estimativa de potenciais técnicos de energia renovável em Portugal**. pp. 112. LNEG Relatório Técnico, Amadora, Portugal.



Unidade de Economia de Recursos

A **Unidade de Economia de Recursos (UER)** é transversal às áreas de Energia e Geologia do LNEG. Desenvolve atividades de I&D&D e de apoio à decisão tanto para legisladores de políticas públicas quanto para o setor privado em economia de recursos energéticos e geológicos, visando a neutralidade carbónica e a exploração e uso sustentável de recursos. A unidade aplica **abordagens analíticas tecno-económicas e sociais** nas áreas de: (1) Sistemas de energia sustentável, (2) Uso de recursos para produção e consumo de energia, (3) Classificação de depósitos geológicos nacionais e recursos energéticos numa economia global, (4) Impacto económico e social da transição energética, (5) Economia circular, incluindo o design de produtos, serviços, sistemas e modelos de negócio, e (6) Contratação pública sustentável.



Unidade de Informação Geocientífica

A **Unidade de Informação Geocientífica (UIG)** desenvolve atividade de I&D&D na disponibilização e gestão integrada de conteúdos geocientíficos institucionais, em formato digital e [em serviços de biblioteca e arquivo histórico](#). Os principais objetivos da unidade são a manutenção e desenvolvimento de sistemas de informação (SI) transversais aos dados energéticos e geológicos, garantindo a sua preservação e agilizando a pesquisa, visualização, consulta, análise, download e divulgação através do [geoPortal de Energia e Geologia](#). Os SI potenciam a utilização da informação geocientífica, apoiando a investigação e o ensino, as empresas, a administração pública, os centros de decisão, as políticas públicas e os cidadãos em geral.



Unidade de Energias Renováveis e Eficiência Energética

A **Unidade de Energias Renováveis e Eficiência Energética (UERE)** tem como missão realizar I&D e promover a Inovação, bem como apoiar o setor empresarial e a aplicação de políticas públicas nos domínios das energias renováveis, eficiência energética, armazenamento de energia e integração de sistemas energéticos. Desenvolve atividades de I&D de tecnologias para conversão de radiação solar em energia térmica e/ou elétrica e suas aplicações, incluindo a integração de sistemas solares térmicos em processos industriais. Desenvolve, I&D na caracterização do potencial eólico em ambientes onshore, offshore e urbanos, na avaliação de desempenho de conversores de energia eólica, das ondas e no desenvolvimento de tecnologia micro-eólica. Desenvolve metodologias para: aproveitamento de recursos renováveis; conceção e modelação de sistemas ~100% renováveis; estudando mercados de eletricidade com alta penetração renovável. Desenvolve ainda I&D em eficiência energética e em edifícios Net Zero Energy, rumo ao conceito Smart Cities, através do desenvolvimento energético sustentável das cidades, e envolvendo estudos de flexibilidade energética incluindo a integração de energias renováveis no contexto urbano. No âmbito da Rede de Laboratórios Credenciados do LNEG, a UERE integra o Laboratório de Energia Solar.



Unidade de Bioenergia e Biorrefinarias

A **Unidade de Bioenergia e Biorrefinarias (UBB)** tem dirigido a sua atividade para o desenvolvimento da Bioenergia & Bioeconomia, através da utilização sustentável da Biomassa como recurso endógeno nacional. A UBB tem promovido uma Agenda de I & I *market-driven* diretamente relacionada com o uso de tecnologias avançadas, sustentáveis e de (muito) baixa pegada de carbono no uso dos diferentes tipos de biomassa, em particular as residuais, através da sua valorização integral como matéria-prima para biocombustíveis avançados e em novas cadeias de valor, para bioprodutos. A UBB tem forte orientação estratégica de I & D aplicada ao desenvolvimento de Biorrefinarias de base energética e não energética (*bio-based products*). A Unidade de Bioenergia e Biorrefinarias possui uma Infraestrutura de Investigação em Biomassa e Energia (BBRI) que integra o Roteiro Nacional de Infraestruturas de Investigação 2014-2020 da FCT-Fundação para a Ciência e Tecnologia. A UBB integra a Entidade Coordenadora do Cumprimento dos Critérios de Sustentabilidade (ECS), cuja função é a de realizar a verificação do cumprimento dos critérios de sustentabilidade e de redução de emissões de GEE dos biocombustíveis e biogás introduzidos no consumo nacional. No âmbito da Rede de Laboratórios Credenciados do LNEG, a UBB integra ainda o Laboratório de Biocombustíveis e Biomassa (LBB).

Índice

Índice.....	5
Lista de figuras.....	7
Lista de tabelas.....	9
Lista de acrónimos.....	11
1 Resumo executivo.....	13
2 Introdução.....	17
2.1 Enquadramento e motivação.....	17
2.2 Objetivos e âmbito.....	19
2.3 Estrutura do relatório.....	20
3 Abordagem metodológica.....	21
3.1 Potencial técnico, económico e de mercado.....	21
3.2 Abordagem global utilizada.....	23
3.2.1 Uso e ocupação do solo para mapear as áreas passíveis de ser ocupadas com renováveis.....	26
3.2.2 Condicionantes de exclusão de localização de tecnologias renováveis.....	33
4 Solar fotovoltaico.....	36
4.1 Solar PV descentralizado em áreas artificializadas.....	37
4.1.1 Metodologia.....	37
4.1.2 Potencial técnico de solar PV em áreas artificializadas.....	42
4.2 Solar PV centralizado em áreas não artificializadas.....	52
4.2.1 Metodologia.....	52
4.2.2 Potencial técnico de solar PV centralizado em áreas não artificializadas.....	56
4.3 Síntese do potencial técnico solar PV.....	59
4.4 Limitações na estimativa de potencial técnico solar PV.....	59
5 Solar de concentração (Termoelectricidade Solar).....	60
5.1 Metodologia.....	60
5.2 Fator de capacidade.....	65
5.2.1 Central Andasol-1.....	66
5.2.2 System Adviser Model.....	67
5.2.3 Ficheiros climáticos.....	69
5.3 Potencial técnico de CSP.....	70

5.4	Notas finais sobre estimativa do potencial CSP	71
6	Eólica	73
6.1	Eólica onshore	73
6.2	Eólica Offshore	79
6.3	Síntese do potencial técnico eólico.....	85
7	Bioenergia	86
7.1	Potencial de biomassa para a produção de eletricidade e calor	86
7.2	Potencial de biomassa para a mobilidade.....	87
8	Solar térmico	90
8.1	Solar térmico nos edifícios.....	90
8.1.1	Metodologia.....	91
8.1.2	Resultados.....	96
8.2	Solar térmico na indústria.....	98
8.2.1	Metodologia.....	98
8.2.2	Resultados.....	99
8.3	Solar térmico – resultados globais	100
9	Energia das ondas	102
10	Síntese, Limitações e notas a considerar	105
10.1	Síntese global	105
10.2	Limitações e próximos passos.....	107
10.3	Complementaridade entre recursos solar e eólico.....	109

Lista de figuras

Figura 3.1 – Distinção entre os diferentes tipos de potencial de renováveis (adaptado de NREL)	21
Figura 3.2 - Abordagem metodológica global utilizada para estimativa de potenciais de energia renovável	24
Figura 4.1 – Potencial de recurso energético para solar PV em Portugal Continental – irradiação global anual no plano horizontal	37
Figura 4.2 - Média anual PV output - Global Solar Atlas	41
Figura 4.3 – Potencial técnico de solar PV descentralizado por tipo de área artificializada	42
Figura 4.4 – Potencial técnico de capacidade instalada de solar PV em áreas industriais	43
Figura 4.5 – Potencial técnico de capacidade instalada de solar fotovoltaico em edifícios comerciais COS2018	44
Figura 4.6 – Especificações da COS2018 para a classificação dos vários tipos de edificado.	45
Figura 4.7 – Potencial técnico de capacidade instalada de solar fotovoltaico em prédios residenciais e de uso misto.....	46
Figura 4.8 – Potencial técnico de capacidade instalada de solar fotovoltaico em vivendas	47
Figura 4.9 – Abordagem <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> para o cálculo do potencial de solar PV em edifícios residenciais	48
Figura 4.10 – Distribuição do potencial técnico de capacidade instalada de solar PV em edifícios de saúde, ensino, turismo, culturais e militares	49
Figura 4.11 - Potencial técnico de capacidade instalada de solar fotovoltaico em outros usos do solo.....	50
Figura 4.12 – Mapa de potencial técnico de solar PV em áreas artificializadas na área metropolitana de Lisboa, em GW.....	51
Figura 4.13 - Mapa de potencial técnico de solar PV em áreas artificializadas na área metropolitana do Porto, Município de Coimbra e Município de Beja em GW.....	52
Figura 4.14 Representação da análise de sensibilidade do potencial técnico de solar PV em áreas não artificializadas para diferentes graus de exclusão de condicionantes de uso do solo.....	54
Figura 4.15 – Variação da área disponível com a remoção sequencial de diferentes condicionantes de uso do solo	55
Figura 5.1 - Projeção para 2050 da desagregação da produção mundial de eletricidade por fonte energia. Fonte: IRENA ³⁴	60

Figura 5.2 – Algoritmo para estimativa do potencial técnico de CSP	62
Figura 5.3 - Áreas disponíveis por patamar de DNI, após exclusões.....	64
Figura 5.4 - Distribuição da área disponível por patamar de DNI: exterior – polígonos com mínimo de 4 km ² ; interior – polígonos com mínimo de 2 km ²	65
Figura 5.5 - Configuração esquemática do sistema solar de concentração simulado.....	68
Figura 5.6 - Localização das referências para os patamares de DNI.....	70
Figura 5.7 - Fator de capacidade vs DNI.....	71
Figura 6.1 - – Atlas do Potencial Eólico de Portugal continental, Versão 1.2, h=100m, (a) - Mapa NEPS-Número de horas equivalente à potência nominal, (b) - Mapa da velocidade horizontal do vento	75
Figura 6.2 – Mapa das condicionantes de exclusão utilizadas para a determinação do potencial técnico eólico onshore.....	76
Figura 6.3 – Mapa dos fatores de ocupação do solo por município assumidos para a determinação do potencial técnico eólico onshore.....	77
Figura 6.4 – Mapa das áreas do potencial técnico eólico onshore assumindo 25% de ocupação máxima em áreas Rede Natura 2000 e 1% de ocupação máxima em áreas de parques naturais (que não sejam parte do REFLOA ou das outras áreas classificadas consideradas).....	78
Figura 6.5 – Atlas do Potencial Eólico Offshore de Portugal continental, Projeto OffshorePlan, h=100m, (a) - Mapa NEPS-Número de horas equivalente à potência nominal, (b) - Mapa da velocidade horizontal do vento.....	81
Figura 6.6 – Mapa das restrições marinhas para a determinação do potencial técnico eólico offshore.....	82
Figura 6.7 – Mapa das áreas do potencial técnico eólico offshore – Tecnologia Fixa	83
Figura 6.8 – Mapa das áreas do potencial técnico eólico offshore – Tecnologia Flutuante	84
Figura 8.1 - Representação esquemática da metodologia utilizada na estimativa do potencial técnico do solar térmico nos edifícios.....	92
Figura 8.2 - Representação esquemática da metodologia utilizada na estimativa do potencial técnico do solar térmico na indústria	98
Figura 10.1 – Perfil: a) mensal e b) diário do fator de capacidade, normalizado, de geração eólica e solar PV para Portugal continental (dados 2015 a 2018). Fonte dados: REN. ...	110
Figura 10.2 – Representação esquemática de uma central híbrida.....	111

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Metas de energia de fontes renováveis em Portugal.....	18
Tabela 3.1 – Tipos de ocupação do solo em áreas artificializadas para estimativa de potenciais técnicos.....	27
Tabela 3.2 – Tipos de ocupação do solo em áreas não artificializadas para estimativa de potenciais técnicos.....	30
Tabela 3.3 – Condicionantes de exclusão consideradas.....	34
Tabela 4.1 – Pressupostos considerados para estimativa de área artificializada passível de ser ocupada com solar PV.....	39
Tabela 4.2 – Potencial técnico de solar PV em áreas industriais por região NUTII	43
Tabela 4.3 - Potencial técnico de solar PV em edifícios de comércio por região NUTII	44
Tabela 4.4 – Potencial técnico de solar PV em prédios residenciais e de uso misto por região NUTII.....	46
Tabela 4.5 – Potencial técnico de solar PV em vivendas por região NUTII	47
Tabela 4.6 – Potencial técnico de solar PV em edifícios residenciais usando uma abordagem bottom-up	48
Tabela 4.7 – Potencial técnico de solar PV por região do país em edifícios de saúde, ensino, turismo, culturais e militares.....	49
Tabela 4.8 – Potencial técnico de solar PV em “outros usos do solo”, desagregado por tipo de área.....	50
Tabela 4.9 – Resultados de potencial técnico de solar PV centralizado em capacidade instalada total e por NUTII – análise de sensibilidade para várias condicionantes de exclusão.....	57
Tabela 4.10 – Síntese do potencial técnico de solar PV.....	59
Tabela 5.1 - Condicionantes de exclusão consideradas na determinação da área disponível para implementação de uma central de CSP.....	62
Tabela 5.2 - Principais características de central Andasol-1 definidas no modelo.....	68
Tabela 5.3 – Características das localizações selecionadas.....	69
Tabela 5.4 - Resultados das simulações para CSP	70
Tabela 6.1 – Ocupação sócio-económica por região.....	76
Tabela 6.2 – Resumo das condições aplicadas para estimativa do potencial técnico de eólico onshore e offshore.....	85
Tabela 7.1 – Recurso endógeno de biomassa para a produção de eletricidade, calor e arrefecimento.....	86

Tabela 7.2 – Metas definidas pelo Decreto-Lei n.º 84/2022 para a utilização de biocombustíveis e biogás no setor dos transportes em 2030	88
Tabela 7.3 - Potencial técnico para a produção de biocombustíveis e biogás em Portugal em 2030.....	89
Tabela 8.1 - Estimativa do número de utilizadores por instalação desportiva.	95
Tabela 8.2 - Parâmetros característicos usados na simulação das Instalações desportivas.	96
Tabela 8.3 – Potencial técnico de utilização da energia solar térmica nos edifícios em Portugal.....	96
Tabela 8.4 - Potencial técnico de utilização da energia solar térmica nos edifícios por NUTS III.....	97
Tabela 8.5 - Potencial técnico estimado para a utilização da energia solar térmica na indústria em Portugal.....	100
Tabela 8.6 - Potencial técnico estimado para a utilização da energia solar térmica em Portugal.....	100
Tabela 9.1 – Potencial de recurso de energia oceânica disponível por classe de batimetria	103
Tabela 10.1 - Síntese Global dos Potenciais Técnicos Renováveis para Portugal continental	106
Tabela 10.2 – Grau de desagregação territorial do potencial técnico estimado.....	107

Lista de acrónimos

AIA - Avaliação de Impacte Ambiental

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

AQS – Águas quentes sanitárias

CAOPS - Carta Administrativa Oficial de Portugal

CHP – cogeração (*Combined Heat & Power*)

CE – Comissão Europeia

CF - fator de capacidade que relaciona a energia produzida no decurso de um ano com o valor de produção de energia máximo, isto é, a totalidade do ano a produzir energia à potência nominal. É normalmente expresso em % ou em fração de 1,0

COS - Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) para 2018

CSP - Centrais Solares Termoelétricas (*Concentrated Solar Power*)

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

DGPC - Direção-Geral do Património Cultural

DGT - Direção Geral do Território

ECS - Entidade Coordenadora do Cumprimento dos Critérios de Sustentabilidade

RED - Diretiva Energias Renováveis (*Renewable Energies Directive*)

DNI - Irradiância solar direta no plano normal (*Direct Normal Irradiance*)

ETAR - Estações de Tratamento de Águas Residuais

FAME – biocombustível com base em ácidos gordos

GEE – Gases com Efeito de Estufa/ GHG (Green House Gases)

GHI - Irradiância solar global no plano horizontal (*Global Horizontal Irradiance*)

HCE – Recetor Solar (*Heat Collection Element*)

HTF – Fluido de transferência de calor (*Heat Transfer Fluid*)

HVO - óleo hidrogenado

ICNF - Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, IP

NEPS - Número de horas anuais equivalentes à potência nominal

NREL – *National Renewable Energy Laboratory* dos Estados Unidos da América

OAU – Óleos Alimentares Usados

PDM - Plano Diretor Municipal

PNEC - Plano Nacional de Energia e Clima

PV – Fotovoltaico

RAN - Reserva Agrícola Nacional

REFLOA - Regime Florestal e Outras Áreas

REN - Reserva Ecológica Nacional

RES – Energia de Fontes Renováveis (*Renewable Energy Sources*)

RESP - Rede Elétrica de Serviço Público

RNC2050 - Roteiro da Neutralidade Carbónica

RUs - Resíduos Urbanos

SAF – Superfícies Agroflorestais

SAM - System Adviser Model do NREL

SAPC – Sistemas Aquíferos de Portugal Continental

SCA - Coletor solar (*Solar Collector Assembly*)

SGRU - Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos

SIC - Sítios de Importância Comunitária

SIG - Sistema de Informação Geográfica

UE – União Europeia

UPAC - Unidade de Produção para Autoconsumo

UPP - Unidades de Pequena Produção

1 Resumo executivo

É clara a necessidade de **acelerar a transição energética** incluindo a implementação de unidades de produção de eletricidade de fonte renovável, bem como o aumento do consumo de outros vetores energéticos renováveis em edifícios, indústria, transportes e outros setores económicos. Com este trabalho pretende-se fornecer elementos-chave que possibilitem esta transição, ou seja, a **indicação dos potenciais técnicos de energia de fonte renovável em Portugal**.

Pretende-se assim **contribuir para o apoio à política pública, bem como para a tomada de decisão pelos vários agentes** (públicos e privados) na sociedade portuguesa nos temas de energia, transição energética e mitigação de emissões de GEE.

O trabalho **apresenta os potenciais técnicos de energia de fonte renovável para Portugal continental¹** para:

- › **Solar fotovoltaico descentralizado em áreas artificializadas** (ou construídas);
- › **Solar fotovoltaico centralizado em áreas não artificializadas** (ou naturais);
- › **Solar de concentração** (Termoelectricidade Solar ou CSP);
- › **Eólica onshore**;
- › **Eólica offshore** (flutuante e fixa);
- › **Bioenergia e biocombustíveis**;
- › **Solar térmico**.

Para a **energia oceânica**, apresenta-se o potencial do recurso de energia primária e não o potencial técnico.

Importa realçar que os valores de potenciais técnicos de energias de fonte renovável apresentados **são valores dinâmicos, dada a incerteza substancial associada à sua estimativa**.

O estudo identifica **potenciais técnicos de energia renovável**, ou seja, a geração de energia tecnicamente viável alcançável a partir de uma tecnologia específica, tendo em conta o recurso de energia primária disponível e as limitações geográficas, ambientais e de uso do solo. Não se apresenta o **potencial económico de energia renovável** que representa a fração do potencial técnico economicamente viável. Também não se focam aqui os **potenciais de mercado** que refletem a capacidade e a geração de energia que efetivamente o mercado consegue implementar.

O potencial técnico inclui a capacidade total atualmente instalada no país.

Os potenciais técnicos são estimados para **Portugal continental, na maioria dos casos com desagregação espacial pelo menos para NUTII** e por vezes até à freguesia e/ou tipo de edifício. Importa referir que apesar de se adotar uma abordagem que tem por base uma análise territorial em que se excluem algumas áreas do país, **este potencial não corresponde ao trabalho feito no mapeamento de áreas menos sensíveis** com vista à futura definição de "Go-To Areas" Renováveis. O grau de consideração de

¹ Com exceção do solar térmico e solar de concentração

condicionantes de exclusão considerado na estimativa de potenciais técnicos tem outros objetivos que não a implementação de processos de licenciamento simplificado.

Os valores de **potencial técnico renovável para Portugal continental** são sistematizados na tabela seguinte:

Tecnologias	Potencial técnico - capacidade instalada [GW]	Potencial técnico - energia gerada	
		TWh	PJ
PV Centralizado			
Total PV centralizado	168,82 a 45,63	278,11 a 75,23	1 001,20 a 270,83
PV distribuído			
Áreas industriais	3,73	5,89	21,20
Grandes edifícios comerciais	0,72	1,15	4,14
Prédios residenciais e de uso misto	8,89	14,08	50,69
Vivendas	6,73	10,48	37,73
Outros edifícios de serviços: edifícios de saúde, ensino, turismo, culturais e militares	2,15	3,45	12,42
Outras áreas artificializadas – outros usos do solo	1,11	1,79	6,44
Total PV distribuído	23,33	36,84	132,62
Solar térmico			
Edifícios serviços	0,92	0,95	3,40
Edifícios residenciais	7,26	5,84	21,03
Indústria	1,06	1,15	4,12
Total solar térmico	9,25	7,93	28,55
Eólica onshore			
Total Eólica onshore	15,70	36,42	131,13
Eólica offshore			
Eólica offshore "floating"	36,00	126,14	454,12
Eólica offshore "fixa"	2,00	6,31	22,71
Total eólica offshore	38,00	132,45	476,82
Bioenergia			
Biomassa para eletricidade. Calor e eletricidade	Não aplicável	57,75	207,89
Biocombustíveis	Não aplicável	3,41	12,29
Solar de Concentração			
CSP	62,63	183,61	660,96

* refere-se ao valor médio anual para todo o território de Portugal continental

No que respeita à **energia das ondas**, o potencial do recurso é estimado entre os 1,4 GW para os 80 m de batimetria e os 4,8 para os 20 m de batimetria.

O potencial **solar PV descentralizado** em áreas artificializadas está dividido em 6 tipos: áreas industriais; edifícios comerciais; prédios residenciais e de uso misto; vivendas; edifícios de saúde, ensino, culturais, turísticos e militares; outros usos do solo (inclui estacionamento e logradouro, portos, infraestruturas de tratamento de resíduos e águas residuais, instalações desportivas, entre outros). Estima-se um valor de potencial técnico de 23,33 GW que poderá gerar até 36,84 TWh/ano de eletricidade. Este potencial distribui-se ao longo de todo o território de Portugal continental, mas tem maior expressão nas regiões do Norte e Centro onde há uma maior área construída.

O potencial técnico de **solar PV centralizado** foi estimado como uma gama de valores que traduz a incerteza associada ao grau de exigência a adotar quanto a condicionantes de exclusão de áreas (por exemplo para salvaguarda de ecossistemas, recursos hídricos, agricultura ou património arqueológico). Obtêm-se assim valores de potencial de solar PV centralizado que podem variar entre os 168,82 GW e os 45,63 GW. Este limiar máximo de capacidade instalada poderá gerar 278,11 TWh/ano de eletricidade. O valor é elevado e reflete, por um lado a excelência do recurso solar em todo o país, e por outro a grande dimensão das áreas consideradas.

O potencial de **solar de concentração (CSP)** em termos de potência instalada é de 62,6 GW com um potencial de produção elétrica correspondente de 183,61 TWh/ano. O potencial está localizado sobretudo na região do Alentejo embora tenham sido identificadas áreas com potencial também nas restantes regiões do país.

O potencial técnico de **eólica onshore** é de 15,7 GW para Portugal continental podendo vir a gerar 37,13 TWh/ano tendo em conta a salvaguarda de diversas áreas para proteção de ecossistemas e ainda questões de aceitabilidade social. No caso da **eólica offshore** e considerando uma densidade de capacidade de 4 MW/km² para a componente offshore flutuante e 5,5 MW/km² para a componente offshore fixa, obtêm-se, respetivamente, um total de 36 GW e 2 GW, totalizando 38 GW para a tecnologia eólico offshore total. Esta capacidade poderá vir a gerar até 126,14 TWh/ano (offshore flutuante) ou 6,31 TWh/ano (offshore fixa).

A estimativa do potencial de utilização da energia **solar térmica** focou os edifícios residenciais e de serviços (agregados institucionais como lares de idosos, quartéis, etc., alojamentos turísticos, hospitais, piscinas cobertas e outras instalações desportivas) onde se estimou um potencial de 0,95 GW_t e 0,95 TWh/ano para os edifícios de serviços, 7,26 GW_t e 5,84 TWh/ano para edifícios residenciais. No caso da indústria estima-se um potencial de 1,06 GW_t que poderá gerar até 1,15 TWh/ano para aplicações até 160 °C. O total de potencial técnico de solar térmico é de 9,25 GW_t e 7,93 TWh/ano de energia térmica gerada, com um peso substancial dos edifícios residenciais no valor total. Os valores de potencial estão desagregados por NUTS III e por tipo de edifício. Destaca-se a importância das áreas metropolitanas do Porto e de Lisboa.

Em termos de **potencial de biomassa e bioenergia**, estimam-se valores anuais de biomassa florestal, biomassa agrícola, resíduos agroindustriais, resíduos urbanos e de tratamento de águas residuais que totalizam cerca de 58 TWh/ano. No que respeita à produção de biocombustíveis (HVO e FAME) estima-se que a produção anual de óleos

nacionais usados e outros resíduos similares seja de 1,4 TWh/ano. A utilização de óleos de culturas alimentares como a soja, girassol e colza encontra-se limitada pelas orientações de política europeia (e nacionais) e considera-se um valor de 2,1 TWh/ano.

Existem **incertezas substanciais** associadas aos valores apresentados, inerentes à abordagem metodológica considerada e que se prendem com:

- › Incerteza no **mapeamento de áreas disponíveis** para instalação de tecnologias renováveis, devido a limitações cartográficas (resolução, tipos de classes de ocupação e uso do solo, etc.), desatualização da carta de ocupação e uso do solo que data de 2018, falta de informação desagregada sobre características construtivas;
- › Incerteza associada à **seleção de condicionantes de exclusão** para identificar as áreas onde será aceitável (ou mesmo legal) implementar tecnologias, tendo em conta de que trabalhos à escala nacional não possibilitam a consideração dos aspetos regulamentares que devem ser contemplados caso a caso em sede de licenciamento;
- › Incerteza associada à **conversão de capacidade instalada em energia gerada** que recorre a mapas do recurso energético com limitações inerentes;
- › Incerteza associada à **evolução tecnológica** que levará, na maioria dos casos, a tecnologias mais eficientes e como tal, com uma densidade de ocupação de área diferente da aqui considerada;
- › Incerteza associada à **concorrência entre diferentes tecnologias** que pode afetar a área disponível considerada individualmente para cada tecnologia (ex. solar fotovoltaico ou solar térmico em coberturas).

Não obstante, os **valores apresentados constituem um ponto de partida** a ser refinado e melhorado em atualizações subsequentes.

2 Introdução

Este documento descreve o trabalho desenvolvido pelo LNEG na **estimativa de potenciais renováveis técnicos para Portugal**. Os resultados apresentados reportam o melhor conhecimento à data de elaboração (julho de 2023) e devem ser encarados como uma estimativa dinâmica a ser revista e aperfeiçoada em revisões futuras.

2.1 Enquadramento e motivação

A **promoção de energia de fontes renováveis em vários setores é uma prioridade da União Europeia (UE) e de Portugal desde há várias décadas**, enquadrada a nível da UE por várias Diretivas europeias relativas à promoção da utilização de energia de fontes renováveis (i.e. Diretivas RED).

A primeira destas Diretivas foi a Diretiva (UE) 2009/28, várias vezes alterada, e por fim substituída pela Diretiva (UE) 2018/2001², que se encontra em vigor desde junho de 2021. Esta, também conhecida como **Diretiva RED II, estabelece que a quota de energia de fontes renováveis (RES) no consumo final bruto de energia da UE como um todo será, pelo menos, 32 % em 2030**. Os Estados-Membros devem fixar os respetivos contributos nacionais para que coletivamente seja cumprida a meta UE vinculativa. A meta de energia renovável aplica-se aos seguintes setores:

- › consumo de energia renovável para **geração de eletricidade (RES-E)**;
- › consumo de eletricidade renovável, biocombustíveis e outras renováveis nos **transportes (RES-T)**;
- › consumo de energia renovável para produção de **calor e frio na indústria, nos edifícios na agricultura, na exploração florestal e nas pescas**, o que inclui calor de processo, águas quentes sanitárias, calor e frio para climatização (RES-A&A ou RES-H&C em inglês).

Em Portugal a promoção de energia de fontes renováveis, enquadra-se também no compromisso nacional para a redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), prevista no Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC)³ e no Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050)⁴. Importa referir que o PNEC2030 se encontra em revisão tendo sido publicamente apresentada a versão *draft* a 30 junho 2023⁵.

² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=ES>

³ PNEC2030 Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, de 10 de Julho. Disponível: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/53-2020-137618093>.

⁴ RNC2050 Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019, de 1 de julho. Disponível em: <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2019/07/12300/0320803299.pdf>

⁵ Versão Draft da revisão do PNEC2030 disponível aqui: https://www.dgeg.gov.pt/media/vedhi5t1/pnec-pt_template-final-vers%C3%A3o-final_30_06_2023.pdf

Em 9 de dezembro de 2022 foi publicado o Decreto-Lei n.º 84/2022⁶, que estabelece metas relativas ao consumo de energia proveniente de fontes renováveis, transpondo parcialmente a Diretiva (UE) 2018/2001. As novas metas de incorporação de energia renovável no consumo final de energia, que constam no referido Decreto-Lei, são mais ambiciosas e vão além das que foram estabelecidas no PNEC e no RNC2050. A meta global de renováveis do país passa a 49% para 2030, dois pontos percentuais acima do compromisso inscrito no PNEC.

As **metas RES para Portugal em 2030 e valor indicativo para 2050** encontram-se sistematizadas na tabela seguinte, já considerando a versão *draft* da revisão do PNEC.

Tabela 2.1 – Metas de energia de fontes renováveis em Portugal

Meta	Valor em 2021*	PNEC 2030	D.L. n.º 84/2022	Revisão PNEC 2030	RNC2050 2050
Eletricidade (RES-E)	58,43%	80%	-	85%**	100%
Aquecimento e arrefecimento (RES-A&A)	42,68%	38%	-	47%	66% a 68% em edifícios residenciais e de serviços
Transportes (RES-T)	8,61%	20%	29%	23%	96% a 94%
Meta global	33,98%	47%	49%	49%	-

* De acordo com o SHARES - SHort Assessment of Renewable Energy Sources do EUROSTAT, SHARES up to 2020 and 2021 - summary results⁷.

**não considera o consumo de eletricidade para produção de hidrogénio, por não estar ainda definida uma metodologia europeia para tal no âmbito do SHARES.

O aumento do **nível de ambição na promoção de RES em Portugal acompanha a tendência da política europeia** impelida por vários motivos, incluindo a crise energética após a pandemia de Covid19 e a guerra na Ucrânia.

Neste contexto, e regressando ao nível da UE, em julho de 2021 foi proposto pela Comissão Europeia (CE) **umentar a meta de RES na UE para 40%**⁸ (acima dos 32% da Diretiva REDII) como parte do pacote legislativo "Fit-for-55"⁹. No seguimento da guerra da Ucrânia, a 8 de março de 2022 foi apresentado o **"REPowerEU: Ação Europeia Conjunta para uma energia mais acessível, segura e sustentável"**¹⁰ que exorta os Estados-Membros a diversificar as suas fontes de energia e a acelerar a redução da dependência de combustíveis fósseis. A subsequente comunicação da CE de 18 de maio

⁶ <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/84-2022-204502328>

⁷ https://ec.europa.eu/eurostat/documents/38154/4956088/SUMMARY-results-SHARES_2021.xlsx/a3ec29ed-95d3-8dfd-6f2f-4acd1eafdc91?t=1673009663750

⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0557>

⁹ <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>

¹⁰ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2022:108:FIN>

de 2022 "**Plano REPowerEU**"¹¹ apresentou um plano visando a redução da "dependência dos combustíveis fósseis russos, reorientando rapidamente a transição para as energias limpas e unindo esforços a fim de alcançar um sistema energético mais resiliente e uma verdadeira União da Energia". Com este plano foram também apresentadas propostas de alteração à Diretiva (UE) 2018/2001, incluindo aumentar ainda mais a meta de RES na UE para 45% até 2030. Em **30 de março de 2023, foi alcançado um acordo provisório entre a CE e o Parlamento Europeu**¹², para uma meta obrigatória de RES na UE para **2030 de pelo menos 42,5%**, mas com o objetivo de alcançar os 45% de RES. **Esta virá a ser a nova Diretiva RED III.**

Tendo presente o contexto político é evidente a necessidade de **acelerar a transição energética incluindo a implementação de unidades de produção de eletricidade de fonte renovável, bem como o aumento do consumo de outros vetores energético renováveis em edifícios, indústria e transportes.** Com este documento pretende-se fornecer elementos-chave que possibilitem esta transição, ou seja a indicação dos potenciais técnicos de energia renovável em Portugal e que devem ser considerados definição de objetivos e trajetórias.

Pretende-se assim **contribuir para o apoio à política pública, bem como para a tomada de decisão pelos vários agentes (públicos e privados) na sociedade portuguesa** nos temas de energia, transição energética e mitigação de emissões de GEE.

2.2 Objetivos e âmbito

Este trabalho tem como objetivo **apresentar os potenciais técnicos de energia renovável para Portugal continental para:**

- › Solar fotovoltaico distribuído em áreas artificializadas (ou construídas);
- › Solar fotovoltaico centralizado em áreas não artificializadas (ou naturais);
- › Solar de concentração (Termoelectricidade Solar ou CSP);
- › Eólica onshore;
- › Eólica offshore (flutuante e fixa);
- › Bioenergia e biocombustíveis;
- › Solar térmico.

Para a energia oceânica, apresenta-se o potencial do recurso de energia primária e não o potencial técnico que se refere a um grupo de tecnologias em particular. Mais adiante nesta seção e no capítulo seguinte detalha-se as diferenças entre os vários tipos de potenciais.

Note-se que neste trabalho **não se incluiu o potencial de solar fotovoltaico flutuante.**

¹¹ https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-05/COM_2022_230_1_EN_ACT_part1_v5.pdf

¹² https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_2061

Deve novamente realçar-se se que os valores de potenciais técnicos de energia renováveis aqui apresentados **são valores dinâmicos, dada a incerteza substancial à sua estimativa**, associada também ao ordenamento do território nacional. Assim, reforça-se que estes são os valores à data, a serem revistos e refinados em atualizações subsequentes.

O documento identifica potenciais técnicos de energia renovável, os quais, de acordo com informação do grupo de trabalho REWP-Renewable Energy Working Group da Agência Internacional da Energia têm a seguinte definição: o **potencial técnico de energia renovável** representa a geração de energia tecnicamente viável ou alcançável a partir de uma tecnologia específica, tendo em mente o desempenho geral do sistema, as limitações geográficas, ambientais e de uso do solo.

Este documento não foca o **potencial económico de energia renovável** o qual, segundo a mesma fonte, representa a quantidade de geração de energia renovável economicamente viável disponível num determinado local ou área.

Além dos potenciais técnicos e económico, existem ainda **potenciais de mercado**, os quais também não são aqui abordados. Assim, os valores aqui apresentados referem-se apenas potenciais técnicos e não ao que será economicamente viável instalar até por exemplo 2030 ou 2050. Na seção seguinte a distinção entre os tipos de potenciais é explicada de forma mais detalhada.

Em termos de resolução espacial, está-se a trabalhar apenas para **Portugal continental¹³, na maioria dos casos com desagregação espacial pelo menos para NUTII e por vezes até à freguesia e/ou tipo de edifício**.

De referir que **muitos dos potenciais técnicos agora apresentados são conservadores**. O LNEG encontra-se a trabalhar em gamas de potencial (mínimo e máximo) tendo em conta critérios subjetivos sobretudo associados ao uso do solo e que intrinsecamente devem ser considerados na definição de potenciais técnicos.

Por fim, importa clarificar que o **potencial técnico inclui a capacidade total atualmente instalada** no país.

2.3 Estrutura do relatório

Este relatório encontra-se estruturado em oito capítulos além desta introdução. No próximo capítulo apresenta-se a abordagem metodológica global que é complementada pelo detalhe metodológico específico de cada grupo de tecnologias nos capítulos subsequentes. Nos capítulos 3 a 8 apresentam-se os potenciais técnicos para solar fotovoltaico, eólica, solar de concentração (termoelectricidade solar), bioenergia, solar térmico e o potencial de recurso de energia das ondas. O capítulo 9 apresenta uma síntese dos potenciais, uma breve nota sobre a complementaridade entre recurso solar fotovoltaico e eólico e as principais limitações.

¹³ Com exceção do solar térmico e solar de concentração que focaram também as regiões autónomas.

3 Abordagem metodológica

Esta seção apresenta a **abordagem metodológica genérica utilizada**, que é complementada com detalhes metodológicos específicos para cada grupo de tecnologias / vetores energéticos nos capítulos seguintes.

A abordagem genérica utilizada segue a metodologia proposta pelo NREL - National Renewable Energy Laboratory dos Estados Unidos da América, com algumas modificações¹⁴.

Tal como explicitado na abordagem do NREL, os potenciais de cada tecnologia **são estimados de forma independente, ou seja, não se considerou concorrência entre tecnologias** por exemplo ao nível da ocupação do solo / oceano /coberturas de edifícios para tecnologias renováveis (ex.: solar PV *versus* solar térmico).

Além disso, **a estimativa do potencial técnico inclui a capacidade já instalada em Portugal**. Ou seja, deve-se retirar a capacidade instalada / energia gerada atuais aos valores aqui apresentados para se obter indicação sobre novas tecnologias que podem ser instaladas a partir deste ano.

3.1 Potencial técnico, económico e de mercado

Em estudos de potencial de energia importa distinguir os diferentes tipos de potencial: (i) de recurso energético, (ii) técnico, (iii) económico e (iv) de mercado, conforme representado na figura seguinte.

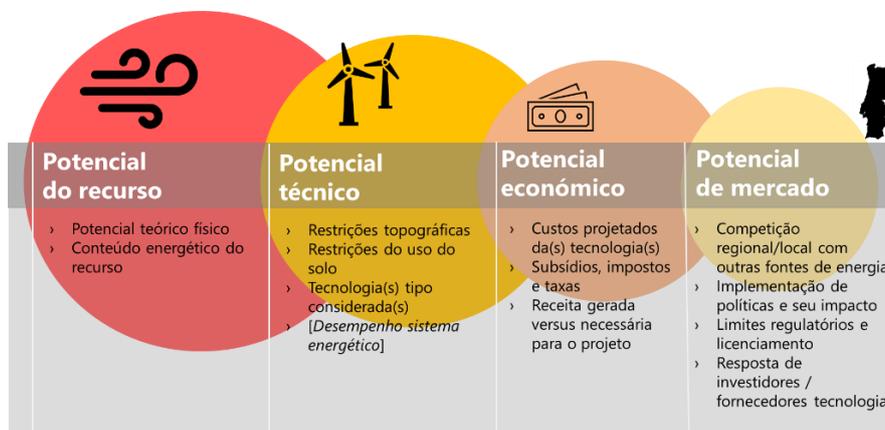


Figura 3.1 – Distinção entre os diferentes tipos de potencial de renováveis (adaptado de NREL¹⁵)

¹⁴ Lopez, A., Roberts, B., Heimiller, D., Blair, N., Porro, G. (2012) U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis. NREL - National Renewable Energy Laboratory of the United States of America. Technical Report NREL/TP-6A20-51946. 32 pp. Denver, Colorado. Available at: <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51946.pdf>

¹⁵ Brown, A., Beiter, P., Heimiller, D., Davidson, C., Denholm, P., Melius, J., Lopez, A., Hettinger, D., Mulcahy, D., Porro, G. (2016) Estimating Renewable Energy Economic Potential in the United States: Methodology and

Conforme referido brevemente no capítulo anterior, o **potencial técnico de energia renovável** representa a geração de energia tecnicamente viável ou alcançável a partir de uma tecnologia específica. Para a estimativa do potencial técnico é necessário ter em conta o potencial do recurso renovável disponível (ex.: velocidade do vento, irradiância, etc.) mas também assumir a implementação de uma tecnologia ou grupo de tecnologias específicas. É para essas tecnologias concretas que se irá estudar a viabilidade técnica de implantação no terreno tendo em conta, além da disponibilidade do recurso energético, as limitações topográficas, restrições ambientais e/ou de uso do solo.

O potencial técnico permite estimar a capacidade de geração de energia alcançável e a correspondente geração anual para tecnologias específicas em locais ou regiões definidas. No potencial técnico considera-se também o desempenho técnico do sistema energético como um todo. No entanto, o desempenho do sistema não foi considerado neste primeiro estudo para Portugal. O potencial técnico não é específico para um determinado ano ao contrário do potencial económico seguidamente descrito.

O potencial técnico, tal como o nome indica, reflete considerações exclusivamente técnicas e como tal não inclui a componente económica associada à implementação das tecnologias, a qual seria estimada pelo **potencial económico de energia renovável**. O potencial económico traduz a quantidade de geração de energia renovável economicamente viável disponível num determinado local ou área, ou seja, a fração do potencial técnico que é economicamente viável implementar num determinado horizonte temporal. Para o estimar deve considerar-se: o custo de investimento e de operação e manutenção atual e previsto (por exemplo em 2030, 2040 e 2040) para as diversas tecnologias, custos com mão-de-obra, etc. Pode ou não considerar-se outros custos necessários para a implementação das tecnologias (custo da utilização dos terrenos ou das coberturas, construção de acessos, ligações de rede elétrica ou outros custos de transporte, etc.). Pode também considerar-se ou não custos associados a taxas, impostos ou subsídios em vigor.

Daqui decorre que o potencial económico é diferente de ano para ano, especialmente para as tecnologias em que se perspetiva evolução de custos ao longo do tempo. Para se obter o potencial económico é estimado o custo de geração e comparado com um limiar que traduza viabilidade económica. Este limiar é subjetivo e pode ser por exemplo uma comparação com *Levelized Costs of Energy* (LCOE) da literatura ou custos de atuais comercialização de energia. Como referido, o potencial económico será sempre inferior ao potencial técnico.

Por fim, tem-se o **potencial de mercado** que traduz a quantidade de geração de energia renovável que efetivamente é passível de ser implementada (normalmente no curto ou médio prazo) e que refina o potencial económico tendo em conta aspetos determinantes para a concretização de projetos de energia renovável tais como: a competição regional/local com outras fontes de energia, a implementação de políticas e seu impacto, o espectro regulatório incluindo a morosidade dos processos de licenciamento e a resposta de investidores e de fornecedores das tecnologias a implementar. Normalmente

o potencial de mercado é inferior ao potencial económico e é estimado para um horizonte temporal específico (ex. 2025 ou 2030). Para a sua estimativa normalmente consideram-se as tendências passadas de velocidade de instalação / adoção de energia renovável. Um exemplo será a média anual dos últimos 10 anos de instalação de solar fotovoltaico (MW solar fotovoltaico instalados/ano).

Os valores de potencial de mercado são normalmente considerados na definição de **planos e políticas de energia e clima** (como o RNC2050 ou PNEC). São balizados por um lado pelo potencial técnico e económico que indicam os máximos expectáveis e por outro pela capacidade de resposta do mercado. Ao **nível do planeamento energético e de estratégias de mitigação de emissões de GEE, o conhecimento dos potenciais técnicos tem um papel muito importante** porque:

- › Informa sobre **os máximos absolutos de tecnologias renováveis** passíveis de virem a ser atingidos e assim sobre o seu potencial contributo máximo para a descarbonização e independência energética do país;
- › Permite **identificar oportunidades para a adoção de tecnologias renováveis ainda não apetecíveis** para os mercados atuais, mas que com incentivos de política adequados poderão tornar-se interessantes e vir a contribuir de forma decisiva (e custo-eficaz) para objetivos de energia e mitigação nacionais.

3.2 Abordagem global utilizada

A figura seguinte representa uma sistematização da abordagem utilizada para cada grupo de tecnologias.

Embora existam diferenças na abordagem utilizada de acordo com os grupos de tecnologias considerados, no caso dos grupos de tecnologias solar fotovoltaico (PV), solar de concentração (CSP), eólica onshore e offshore foi adotada uma abordagem especializada recorrendo a sistema de informação geográfica (SIG) e que teve em conta vários aspetos ao nível da atual ocupação e do solo e condicionantes ambientais a patrimoniais.

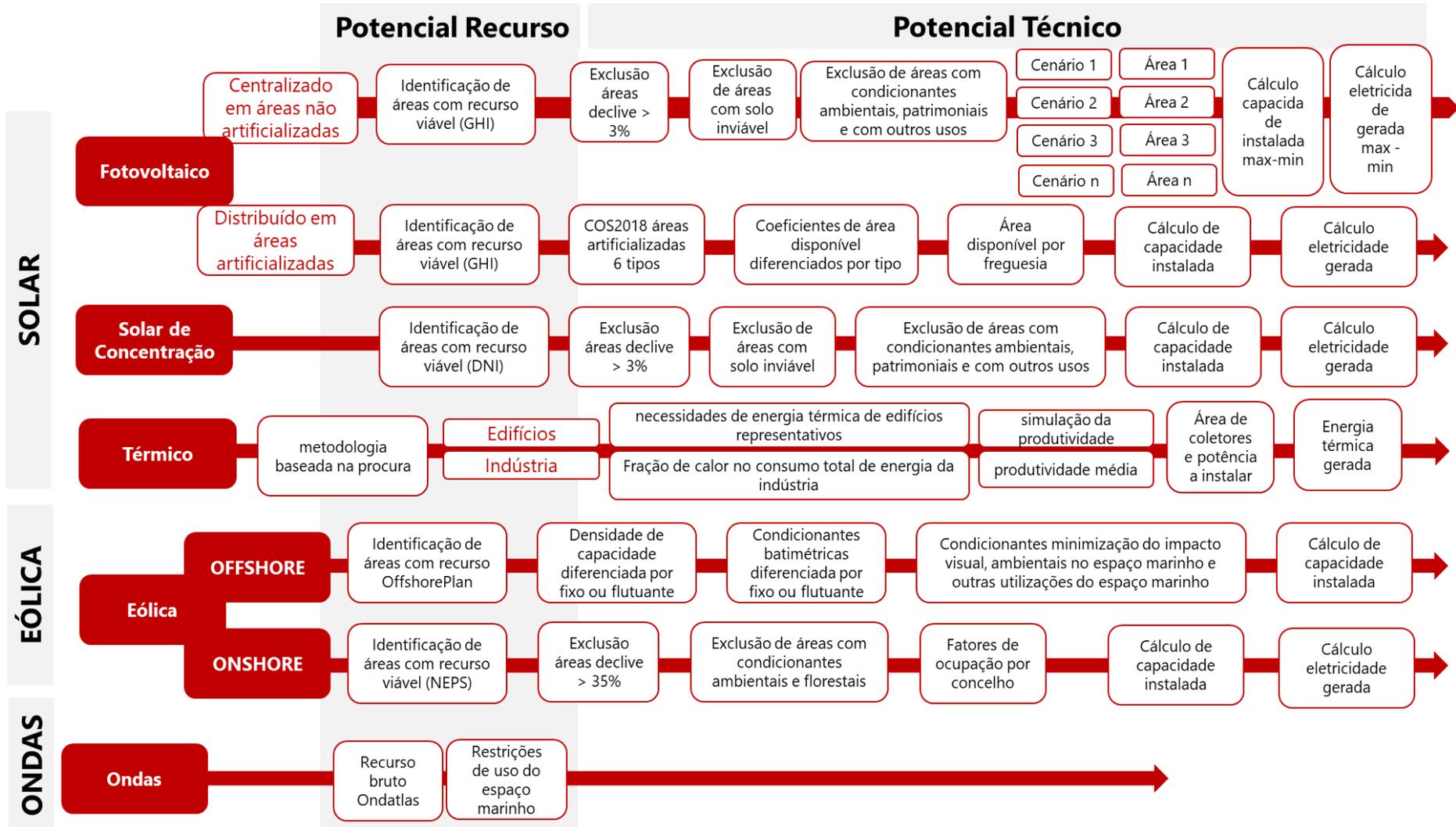


Figura 3.2 - Abordagem metodológica global utilizada para estimativa de potenciais de energia renovável

Para praticamente todos os potenciais estudados a **abordagem metodológica global** considerou os seguintes elementos de base:

1. **Disponibilidade de recurso renovável** (irradiância solar, velocidade do vento, produção de biogás, energia das ondas, etc.);
2. **Análise do atual uso e ocupação do solo, por forma a mapear as áreas passíveis de ser ocupadas com tecnologias renováveis**, tendo em conta: (i) requisitos de exequibilidade técnica (ex.: terreno estável, não excessivamente íngreme, etc.); (ii) fração de área homogénea total passível de ser reconvertida tendo em conta a sua ocupação, e (iii) grau de controvérsia associado à implementação de tecnologias RES tendo em conta a sua atual ocupação. A base da informação utilizada foi a COS2018 - Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS)¹⁶ para Portugal continental da Direção Geral do Território (DGT) e desagregada em 83 classes de uso do solo. Neste trabalho as classes da COS foram agregadas em dois grandes grupos: (i) áreas artificializadas (edifícios, estradas, áreas industriais, etc.) e (ii) áreas não artificializadas ou naturais (zonas de rocha nua, zonas de água matos, campos agrícolas, florestas, etc.), que têm tratamento diferenciado;
3. **Identificação e mapeamento de condicionantes ambientais e patrimoniais** que inviabilizam ou, pelo menos, dificultam a implementação de tecnologias renováveis. Importa referir que os condicionantes aqui considerados para a definição do potencial técnico não correspondem na totalidade às condicionantes consideradas no anterior trabalho do LNEG de identificação de áreas de menor sensibilidade ambiental e patrimonial com vista à futura definição de "Go-To Areas" renováveis¹⁷. Isto porque neste estudo não se pretende identificar áreas onde o licenciamento possa vir a ser simplificado. Por essa razão o grau de restrição na análise de condicionantes é menor, em linha com a metodologia do NREL referida.
4. **Mapeamento de áreas com potencial de recurso energético, com ocupação tecnicamente viável e não abrangidas por nenhum condicionante ambiental e patrimonial;**
5. **Estimativa da capacidade instalada nessas áreas para tecnologias específicas e estimativa da energia anual passível de ser gerada tendo em conta o recurso energético disponível nas diversas áreas.**

¹⁶ A COS2018 encontra-se disponível no site da DGT: <https://www.dgterritorio.gov.pt/Carta-de-Uso-e-Ocupacao-do-Solo-para-2018?language=en>

¹⁷ Simões, S.G., Barbosa, J., Oliveira, P., Patinha, P., Quental, L., Catarino, J., Simões, T., Rodrigues, C., Pinto, P.J.R., Azevedo, P., Cardoso, J.P., Picado, A. (2023) Identificação de áreas com menor sensibilidade ambiental e patrimonial para localização de unidades de produção de eletricidade renovável. pp. 61. Janeiro 2023. LNEG Relatório Técnico, Amadora, Portugal. <http://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/4006>

A análise espacial foi efetuada com base em Sistema de Informação Geográfica (SIG) para o território de Portugal continental recorrendo ao software SIG ArcGIS (v10.8.1).

Seguidamente apresenta-se informação mais detalhada quanto ao uso e ocupação do solo e as condicionantes de exclusão consideradas. É de referir que a abordagem foi semelhante, mas não exatamente idêntica para as diversas tecnologias de solar PV, eólica onshore e CSP no que diz respeito ao uso e ocupação do solo e condicionantes de exclusão. A leitura das secções seguintes deve ser complementada com os detalhes metodológicos em cada capítulo respetivo.

3.2.1 Uso e ocupação do solo para mapear as áreas passíveis de ser ocupadas com renováveis

A análise do atual uso e ocupação do solo teve por base a informação constante na COS publicada pela DGT para Portugal continental. Existem várias versões disponíveis da COS: COS1995, COS2007, COS2010 e COS2015, além da atual COS2018 que foi aqui utilizada. Como se depreende, as diferentes versões refletem alterações no uso e ocupação do solo, bem como ajustes na metodologia utilizada para o levantamento.

De acordo com informação da DGT¹⁸, a COS2018 baseia-se em “em interpretação visual de imagens aéreas ortorretificadas de grande resolução espacial (30 ou 50 cm) e com quatro bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo). No processo de produção, bem como no controlo de qualidade, utilizaram-se bases de dados auxiliares provenientes de fontes diversas”.

A COS2018 divide o território de Portugal continental em 83 classes de ocupação do solo. A nomenclatura destas classes segue uma hierarquia com 4 níveis que representa a ocupação/uso do solo em diferentes níveis de detalhe temático. Os nomes das classes incluem uma referência à classe de nível anterior onde se incluem. Desta forma, cada classe da COS2018 é caracterizada por um código que traduz a sua posição na estrutura hierárquica. Neste relatório surgem diversas vezes os códigos das classes da COS2018 para que seja mais ágil a sua correspondência com esta fonte original de informação.

As classes do nível 1 (mais agregado) da COS2018 são as seguintes:

- › 1 Territórios artificializados;
- › 2 Agricultura;
- › 3 Pastagens;
- › 4 Superfícies agroflorestais (SAF);
- › 5 Florestas;
- › 6 Matos;
- › 7 Espaços descobertos ou com pouca vegetação;
- › 8 Zonas húmidas;

¹⁸ Direção-Geral do Território, 2019. Especificações técnicas da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de Portugal continental para 2018. Relatório Técnico. Lisboa, Dezembro de 2019. pp 60. Disponível em: https://www.dgterritorio.gov.pt/sites/default/files/documentos-publicos/2019-12-26-11-47-32-0_ET-COS-2018_v1.pdf

- › 9 Massas de água superficiais.

Estas classes de nível 1 foram neste trabalho divididas em dois grandes grupos como referido:

- (i) **Áreas artificializadas**, que inclui a classe “1 Territórios artificializados” da COS2018, por sua vez composta pelas seguintes classes do nível 2: 1.1 Tecido edificado; 1.2 Indústria, comércio e instalações agrícolas; 1.3 Infraestruturas; 1.4 Transportes, 1.5 Áreas de extração de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção; 1.6 Equipamentos e 1.7 Parques e jardins. Por sua vez cada uma destas subclasses é desagregada em classes do nível 3 e nível 4 perfazendo um total de 33 categorias de ocupação do solo “artificializadas” (do nível 4) que foram trabalhadas neste relatório conforme a Tabela . Estas áreas encontram-se distribuídas por 80 541 polígonos e representam cerca de 5,30% da área de Portugal continental;
- (ii) **Áreas não artificializadas**, que inclui as restantes classes de nível 1 da COS2018 (2 a 9). Este bloco é composto por um total de 50 categorias de ocupação do solo do nível 4 da COS2018, sendo que nem todas foram consideradas como adequadas à instalação de tecnologias renováveis, conforme detalhado na Tabela . As áreas não artificializadas encontram-se distribuídas por 573 299 polígonos e representam cerca de 94,70% da área de Portugal continental;

A Tabela 3.1 detalha as 33 categorias do nível 4 da COS2019 agregadas em áreas artificializadas, com indicação das respetivas áreas totais no território continental português, o número de polígonos (ou número de áreas diferentes) em cada, o seu peso em percentagem no total de áreas artificializadas e a forma como foram consideradas ou não no presente estudo.

Tabela 3.1 – Tipos de ocupação do solo em áreas artificializadas para estimativa de potenciais técnicos

Classe de ocupação do solo da COS2018 (nível 4) correspondentes a áreas artificializadas	Área (ha)	N.º Polígonos	% Área total artificializada	% Área de Portugal continental	Consideração na estimativa de potenciais técnicos RES solar PV
1.1.1.1 Tecido edificado contínuo predominantemente vertical	20 335,37	1 862	4,37%	0,23%	Sim – agregado em “Prédios residenciais e de Uso Misto”
1.1.1.2 Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal	78 480,60	11431	16,87%	0,90%	Sim – agregado em “Prédios residenciais e de Uso Misto”
1.1.2.1 Tecido edificado descontínuo	163 483,43	25 052	35,14%	1,87%	Sim – agregado em “Vivendas”
1.1.2.2 Tecido edificado descontínuo esparso	39 682,21	13480	8,53%	0,45%	Sim – agregado em “Vivendas”
1.1.3.1 Áreas de estacionamento e logradouros	1 113,80	462	0,24%	0,01%	Sim – agregado em “Outros usos do Solo”
1.1.3.2 Espaços vazios sem construção	3 563,47	992	0,77%	0,04%	Não considerado
1.2.1.1 Indústria	37 315,71	6 885	8,02%	0,43%	Sim – “Áreas Industriais”
1.2.2.1 Comércio	4 007,64	1 256	0,86%	0,05%	Sim – “Edifícios comerciais”

Classe de ocupação do solo da COS2018 (nível 4) correspondentes a áreas artificializadas	Área (ha)	N.º Polígonos	% Área total artificializada	% Área de Portugal continental	Consideração na estimativa de potenciais técnicos RES solar PV
1.2.3.1 Instalações agrícolas	9 137,74	4 436	1,96%	0,10%	Não considerado
1.3.1.1 Infraestruturas de produção de energia renovável	1 749,19	191	0,38%	0,02%	Não considerado
1.3.1.2 Infraestruturas de produção de energia não renovável	1 154,54	122	0,25%	0,01%	Sim – agregado em “Outros usos do Solo”
1.3.2.1 Infraestruturas para captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo	264,79	88	0,06%	0,003%	Sim – agregado em “Outros usos do Solo”
1.3.2.2 Infraestruturas de tratamento de resíduos e águas residuais	1 593,47	498	0,34%	0,02%	Sim – agregado em “Outros usos do Solo”
1.4.1.1 Rede viária e espaços associados	35 967,58	707	7,73%	0,41%	Não considerado
1.4.1.2 Rede ferroviária e espaços associados	2 543,35	209	0,55%	0,03%	Não considerado*
1.4.2.1 Terminais portuários de mar e de rio	975,56	56	0,21%	0,01%	Sim – agregado em “Outros usos do Solo”
1.4.2.2 Estaleiros navais e docas secas	224,02	16	0,05%	0,003%	Sim – agregado em “Outros usos do Solo”
1.4.2.3 Marinas e docas pesca	472,30	77	0,10%	0,01%	Sim – agregado em “Outros usos do Solo”
1.4.3.1 Aeroportos	2 695,63	8	0,58%	0,03%	Não considerado
1.4.3.2 Aeródromos	1 570,63	72	0,34%	0,02%	Não considerado*
1.5.1.1 Minas a céu aberto	803,02	39	0,17%	0,01%	Não considerado
1.5.1.2 Pedreiras	15 709,70	1 665	3,38%	0,18%	Não considerado*
1.5.2.1 Aterros	1 087,94	78	0,23%	0,01%	Sim – agregado em “Outros usos do Solo”
1.5.2.2 Lixeiras e Sucatas	644,95	311	0,14%	0,01%	Sim – agregado em “Outros usos do Solo”
1.5.3.1 Áreas em construção	8 711,58	2 342	1,87%	0,10%	Não considerado
1.6.1.1 Campos de golfe	4 364,61	147	0,94%	0,05%	Não considerado
1.6.1.2 Instalações desportivas	6 318,28	2 350	1,36%	0,07%	Sim – agregado em “Outros usos do Solo”
1.6.2.1 Parques de campismo	1 081,36	148	0,23%	0,01%	Sim – agregado em “Outros usos do Solo”
1.6.2.2 Equipamentos de lazer	751,83	182	0,16%	0,01%	Não considerado
1.6.3.1 Equipamentos culturais	1 104,15	350	0,24%	0,01%	Sim – agregado em “Edifícios de saúde, ensino, culturais, turístico e militares”
1.6.4.1 Cemitérios	950,30	516	0,20%	0,01%	Não considerado
1.6.5.1 Outros equipamentos e instalações turísticas	13 218,43	3455	2,84%	0,15%	Sim – agregado em “Edifícios de saúde, ensino, culturais, turístico e militares”
1.7.1.1 Parques e jardins	4 107,30	1058	0,88%	0,05%	Não considerado
Total de áreas artificializadas	465 184,50	80 541	100,00%	5,30%	-
Total de áreas artificializadas considerado para estimativa de potencial solar PV	372 558,55	67 977	80,00%	4,00%	-

A decisão de não considerar nesta fase as seguintes 14 classes de áreas artificializadas para estimativa de potencial técnico de solar PV justifica-se pela necessidade de uma análise mais detalhada sobre o tipo de ocupação:

- › 1.1.3.2 Espaços vazios sem construção – não está claro se estes espaços irão ser construídos no curto prazo;
- › 1.2.3.1 Instalações agrícolas – não está claro se se tratam de edifícios ou outros espaços com uso agrícola que não possam ser intervencionados;
- › 1.3.1.1 Infraestruturas de produção de energia renovável – corresponde a tecnologias renováveis já instaladas;
- › 1.4.1.1 Rede viária e espaços associados – embora já existam algumas soluções inovadoras de instalação de solar PV na rede viária¹⁹ a incerteza sobre a sua futura implementação é ainda muito elevada e como tal estas áreas não foram consideradas;
- › 1.4.1.2 Rede ferroviária e espaços associados – idêntico ao anterior²⁰;
- › 1.4.3.1 Aeroportos – apesar de haver provavelmente uma área substancial que possa ser utilizada deverá acautelar-se problemas com reflexão da luz que prejudiquem a navegabilidade e como tal estas áreas não foram consideradas;
- › 1.4.3.2 Aeródromos – idêntico ao anterior;
- › 1.5.1.1 Minas a céu aberto – apesar de haver provavelmente uma área substancial que possa ser utilizada será necessário analisar em maior detalhe as áreas que não estão em exploração;
- › 1.5.1.2 Pedreiras – idêntico ao anterior;
- › 1.5.3.1 Áreas em construção – estas áreas por estarem em construção tem uma ocupação muito dinâmica não sendo assim consideradas;
- › 1.6.1.1 Campos de golfe – considerou-se que toda a área se destina a lazer e não poderá ser intervencionada;
- › 1.6.2.2 Equipamentos de lazer – corresponde a equipamentos relacionados com a ocupação de tempos livres e atividades de lazer (exclui equipamentos desportivos). Tal como para os campos de golfe considerou-se que toda a área se destina a lazer e não poderá ser intervencionada;
- › 1.6.4.1 Cemitérios - considerou-se que estas áreas não poderão ser intervencionadas por questões culturais e religiosas;
- › 1.7.1.1 Parques e jardins idêntico – considerou-se que toda a área se destina a lazer e não poderá ser intervencionada.

As áreas artificializadas excluídas da estimativa do potencial técnico renovável correspondem a cerca de 20% do total das áreas artificializadas e a cerca de 1,3% da área de Portugal continental.

¹⁹ Fraunhofer ISE - Road Integrated PV: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/key-topics/integrated-photovoltaics/road-integrated-photovoltaics-rijpv.html>

²⁰ A start-up suíça Sun-Ways, em colaboração com a EPFL e a agência de inovação Innosuisse está a desenvolver um protótipo de sistemas PV que podem ser colocados entre carris ferroviários: <https://www.sun-ways.ch/>

A Tabela 3.2 detalha as 50 categorias do nível 4 da COS2019 agregadas em áreas não artificializadas, com indicação das respetivas áreas totais no território continental português, o número de polígonos (ou número de áreas) em cada classe, o seu peso em percentagem no total de áreas não artificializadas e a forma como foram consideradas ou não no presente estudo. Há duas razões principais para a exclusão de áreas não artificializadas: (i) a inviabilidade técnica da implementação de tecnologias de renováveis em alguns tipos de solo, e (ii) a consideração de que em algumas classes será controversa ou mesmo muito controversa a sua ocupação ou conversão com tecnologias de renováveis. Este último é um critério subjetivo, sujeito a diferentes interpretações, mas que procura ter em conta orientações de política agrícola e florestal atuais.

Ressalva-se que em alguns casos poderá haver coexistência entre a agricultura e a produção de eletricidade de fonte renovável, por exemplo por via de projetos de agrovoltaico combinando as duas valências (solar PV e agricultura). No entanto, tal não foi considerado neste trabalho.

Tabela 3.2 – Tipos de ocupação do solo em áreas não artificializadas para estimativa de potenciais técnicos

Classe de ocupação do solo da COS2018 (nível 4) correspondentes a áreas não artificializadas	Área (ha)	N.º polígonos	% Total área não artificializada	% Área de Portugal continental	Consideração na estimativa de potenciais técnicos	
2.1.1.1 Culturas temporárias de sequeiro e regadio	1 126 692,32	66 207	13,31%	12,62%	Excluído em alguns cenários	
2.1.1.2 Arrozaís	6 672,83	499	0,46%	0,44%	Excluído – uso controverso	
2.2.1.1 Vinhas	38 938,93	25 653	2,30%	2,18%		
2.2.2.1 Pomares	194 698,60	21 673	2,07%	1,96%		
2.2.3.1 Olivais	175 233,86	39 377	5,32%	5,04%		
2.3.1.1 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a vinha	449 884,85	451	0,02%	0,02%		
2.3.1.2 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a pomar	495 525,81	717	0,05%	0,05%		
2.3.1.3 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a olival	1 619,95	8 020	0,40%	0,38%		
2.3.2.1 Mosaicos culturais e parcelares complexos	4 325,29	45 371	2,23%	2,11%		Considerado
2.3.3.1 Agricultura com espaços naturais e seminaturais	33 577,59	24 380	1,25%	1,19%		Considerado
2.4.1.1 Agricultura protegida e viveiros	188 808,49	1 668	0,08%	0,07%		Excluído – uso controverso
3.1.1.1 Pastagens melhoradas	106 152,80	30 939	5,86%	5,55%	Considerado	
3.1.2.1 Pastagens espontâneas	198 625,94	14 405	0,88%	0,84%	Considerado	
4.1.1.1 SAF de sobreiro	399 355,76	8 344	2,35%	2,22%	Excluído – uso controverso	
4.1.1.2 SAF de azinheira	8 728,52	8 609	4,72%	4,47%		
4.1.1.3 SAF de outros carvalhos	7 124,55	956	0,10%	0,10%		
4.1.1.4 SAF de pinheiro manso	1 066,33	853	0,08%	0,08%		
4.1.1.5 SAF de outras espécies	91 009,58	246	0,01%	0,01%		
4.1.1.6 SAF de sobreiro com azinheira	10 069,44	3 223	1,08%	1,02%		
4.1.1.7 SAF de outras misturas	620 884,48	949	0,12%	0,11%		
5.1.1.1 Florestas de sobreiro	199 182,00	16 143	7,34%	6,95%		
5.1.1.2 Florestas de azinheira	223 993,85	7 334	2,35%	2,23%		
5.1.1.3 Florestas de outros carvalhos	26 929,72	17 645	2,65%	2,51%		
5.1.1.4 Florestas de castanheiro	928 210,27	5 484	0,32%	0,30%		
5.1.1.5 Florestas de eucalipto	16 172,24	41 077	10,97%	10,40%	Considerado	

Classe de ocupação do solo da COS2018 (nível 4) correspondentes a áreas não artificializadas	Área (ha)	N.º polígonos	% Total área não artificializada	% Área de Portugal continental	Consideração na estimativa de potenciais técnicos
5.1.1.6 Florestas de espécies invasoras	208 322,45	2 703	0,19%	0,18%	Considerado
5.1.1.7 Florestas de outras folhosas	1 020 282,56	32 612	2,46%	2,33%	Excluído – uso controverso
5.1.2.1 Florestas de pinheiro-bravo	204 022,00	59 958	12,06%	11,43%	Não considerado
5.1.2.2 Florestas de pinheiro manso	37 212,44	11 928	2,41%	2,29%	Excluído – uso controverso
5.1.2.3 Florestas de outras resinosas	74 620,49	3 304	0,44%	0,42%	
6.1.1.1 Matos	1 107 545,99	62 218	13,09%	12,41%	Considerado
7.1.1.1 Praias, dunas e areais interiores	557,69	91	0,01%	0,01%	Excluído – ocupação do solo inviável
7.1.1.2 Praias, dunas e areais costeiros	9 412,44	217	0,11%	0,11%	
7.1.2.1 Rocha nua	6 446,94	1 023	0,08%	0,07%	
7.1.3.1 Vegetação esparsa	43 930,06	2 977	0,52%	0,49%	Considerado
8.1.1.1 Paus	4 019,81	272	0,05%	0,05%	Excluído – ocupação do solo inviável
8.1.2.1 Sapais	15 867,23	429	0,19%	0,18%	
8.1.2.2 Zonas entremarés	5 705,28	107	0,08%	0,07%	
9.1.1.1 Cursos de Água naturais	6 564,24	588	0,30%	0,29%	
9.1.1.2 Cursos de Água modificados ou artificializados	25 580,82	79	0,01%	0,01%	
9.1.2.1 Lagos e lagoas interiores artificiais	990,81	489	0,02%	0,02%	
9.1.2.2 Lagos e lagoas interiores naturais	1 752,19	69	0,01%	0,01%	
9.1.2.3 Albufeiras de barragens	722,95	1 748	0,93%	0,88%	
9.1.2.4 Albufeiras de represas ou de açudes	78 340,78	429	0,02%	0,02%	
9.1.2.5 Charcas	1 757,68	1 616	0,04%	0,04%	
9.2.1.1 Aquicultura	3 489,20	39	0,01%	0,01%	
9.3.1.1 Salinas	492,93	136	0,07%	0,06%	
9.3.2.1 Lagoas costeiras	8 087,18	18	0,10%	0,09%	
9.3.3.1 Desembocaduras fluviais	43 247,14	25	0,51%	0,48%	
Total de áreas não artificializadas*	8 462 455,3	573 299	100%	94,70%	
Total de áreas não artificializadas excluídas da estimativa de potencial técnico	7 509 092,3	222 060	39,45%	37,38%	-

* não inclui o oceano que é uma classe da COS2018. O oceano foi considerado na estimativa de potencial técnico de eólica offshore.

Com base no critério da inviabilidade técnica da ocupação do solo foram excluídas as seguintes classes: Rocha nua; Praias e dunas; Zonas de sapal e de maré; salinas; cursos de água natural; cursos de água artificial/modificada; lagos e lagoas naturais; lagos e lagoas artificiais; reservatórios de energia hidroelétrica; reservatórios de barragens ou açudes; lagoas, aquicultura; lagoas costeiras e foz de rios. Note-se que, como referido anteriormente, não foi aqui considerada a instalação de solar PV flutuante.

Foram excluídas as seguintes áreas com a atual ocupação do solo por serem consideradas como controversas ou muito controversas:

- › 2.1.1.2 Arroçais
- › 2.2.1.1 Vinhas
- › 2.2.2.1 Pomares
- › 2.2.3.1 Olivais
- › 2.3.1.1 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a vinha

- › 2.3.1.2 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a pomar
- › 2.3.1.3 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a olival
- › 2.4.1.1 Agricultura protegida e viveiros
- › 4.1.1.1 SAF de sobreiro
- › 4.1.1.2 SAF de azinheira
- › 4.1.1.3 SAF de outros carvalhos
- › 4.1.1.4 SAF de pinheiro manso
- › 4.1.1.5 SAF de outras espécies
- › 4.1.1.6 SAF de sobreiro com azinheira
- › 4.1.1.7 SAF de outras misturas
- › 5.1.1.1 Florestas de sobreiro
- › 5.1.1.2 Florestas de azinheira
- › 5.1.1.3 Florestas de outros carvalhos
- › 5.1.1.4 Florestas de castanheiro
- › 5.1.1.7 Florestas de outras folhosas
- › 5.1.2.2 Florestas de pinheiro manso
- › 5.1.2.3 Florestas de outras resinosas

As áreas não artificializadas excluídas da estimativa do potencial técnico renovável correspondem a cerca de 39,45% do total das áreas não artificializadas e a cerca de 37,38% da área de Portugal continental.

Ficam assim as seguintes classes de ocupação do solo disponíveis para a potencial implementação de tecnologias renováveis, aqui ordenadas em ordem decrescente de acordo com a % que ocupam face à área de Portugal continental:

- › 2.1.1.1 Culturas temporárias de sequeiro e regadio (~13%) (excluído em alguns cenários);
- › 6.1.1.1 Matos (~12%)
- › 5.1.1.5 Florestas de eucalipto (~11%);
- › 5.1.2.1 Florestas de pinheiro-bravo (~11%);
- › 3.1.1.1 Pastagens melhoradas (~6%);
- › 2.3.2.1 Mosaicos culturais e parcelares complexos (~2%);
- › 2.3.3.1 Agricultura com espaços naturais e seminaturais (~1%);
- › 3.1.2.1 Pastagens espontâneas (~1%);
- › 7.1.3.1 Vegetação esparsa (~0,5%);
- › 5.1.1.6 Florestas de espécies invasoras (~0,2%);

Note-se que **não foi considerada para a estimativa de potenciais técnicos a totalidade destas áreas**. Com efeito, além da ocupação do solo atual foram ainda tidas em conta condicionantes de exclusão de localização de tecnologias renováveis relacionadas com questões ambientais e de preservação do património arquitetónico e cultural. Ou seja, por exemplo, se uma área de mato se encontra localizada num parque natural, a mesma deixa de ser considerada como possível. Estas condicionantes são

detalhadas na seção seguinte. Por fim, no caso específico das culturas temporárias de sequeiro e regadio foi feita uma análise de sensibilidade sobre o impacto no potencial se esta classe de ocupação do solo fosse considerada como controversa.

3.2.2 Condicionantes de exclusão de localização de tecnologias renováveis

A **definição de condicionantes de exclusão** teve em consideração o proposto no quadro do plano REPowerEU e da revisão da Diretiva (UE) 2018/2001, complementada com base no enquadramento legal e regulamentar nacional. Muitas destas condicionantes, mas não a sua totalidade, foram definidas no âmbito do mapeamento de áreas de menor sensibilidade ambiental com vista à futura definição de “Go-To Areas” renováveis²¹. Nesta seção incluem-se novamente algumas das classes de uso e ocupação do solo referidas na seção anterior, ficando assim aqui completa a lista de condicionantes consideradas (se bem que de forma diferente para os diferentes grupos de tecnologias).

Neste seguimento, as condicionantes de exclusão consideradas foram:

- › áreas com **ocupação do solo inviável** apresentadas na seção anterior;
- › zonas com inclinação superior a **3% (para solar PV e CSP) ou 35% (para eólica onshore)** que integra preocupação com a viabilidade técnica bem como acautelar zonas com **risco de inundação e/ou geologicamente instáveis** (erosão, movimentos de terreno, etc.);
- › **áreas classificadas** para conservação da natureza;
- › **zonas de proteção costeira**;
- › zonas protegidas no âmbito da **Diretiva Quadro da Água e zonas com risco de inundação**;
- › áreas de **recursos minerais**;
- › áreas de **interesse florestal**;
- › zonas relevantes para **águas minerais e naturais**;
- › áreas com **património cultural incluindo o arqueológico**;
- › áreas com **património geológico** identificado;
- › áreas de **Reserva Agrícola Nacional (RAN) e Reserva Ecológica Nacional** conforme disponibilizadas pela DGT²².

Estas condicionantes são detalhadas na tabela seguinte. No que respeita à RAN e REN deve relembrar-se, que não existe ainda informação vetorial harmonizada para todo o

²¹ Simões, S.G., Barbosa, J., Oliveira, P., Patinha, P., Quental, L., Catarino, J., Simões, T., Rodrigues, C., Pinto, P.J.R., Azevedo, P., Cardoso, J.P., Picado, A. (2023) Identificação de áreas com menor sensibilidade ambiental e patrimonial para localização de unidades de produção de eletricidade renovável. pp. 61. Janeiro 2023. LNEG Relatório Técnico, Amadora, Portugal. <http://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/4006>

²² <https://www.dgterritorio.gov.pt/ordenamento/sgt/srup>

país estando a DGT a completar o mapa do território nacional. Prevê-se que a totalidade das áreas da RAN e REN esteja digitalizada num único mapa no final de 2023. As áreas de RAN estão atualmente disponíveis para 263 municípios (94% dos municípios do território continental) e as de REN para 213 municípios (77% dos municípios do território continental). Não existe informação para a totalidade dos municípios devido a não se encontrar validada ainda a informação geográfica para os municípios em falta ou por inexistência de informação. Alguns dos municípios com informação REN incluída não contemplam exclusões, bem como linhas de água.

Tabela 3.3 – Condicionantes de exclusão consideradas

Tipo de condicionante	Descrição	Fonte
Terreno tecnicamente inadequado / risco erosão	Risco de inundação e/ou geologicamente instáveis + ocupação inviável (declive <3% para solar PV centralizado e CSP e <35% para eólica onshore)	APA (Agência Portuguesa do Ambiente)
	Ocupação de solo inviável: i. Rocha nua, praias e dunas e zonas de sapal e de maré ii. Massas de água superficiais naturais (salinas, cursos de água natural, cursos de água artificial/modificada, lagos e lagoas naturais, lagoas, aquícultura, lagoas costeiras, foz de rios, oceano)	COS2018 DGT
Áreas classificadas e/ou ambientalmente sensíveis	Áreas classificadas para conservação da natureza: i. Rede Nacional de Áreas Protegidas – RNAP ii. Rede Natura 2000 iii. Reservas da biosfera UNESCO iv. Sítios RAMSAR v. Sítios de Importância Comunitária - SIC vi. Zonas de Proteção Especial - ZPE	ICNF (Instituto de Conservação da Natureza e Floresta)s
	Zonas de proteção costeira i. Faixa de Proteção Costeira identificada nos novos Programas da Orla Costeira ii. Faixas de Salvaguarda aos riscos costeiros iii. Faixa de salvaguarda de 2000m em toda a linha da costa	APA e LNEG
	Zonas relevantes para águas minerais e naturais (incluindo o perímetro de proteção)	DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia)
	Zonas protegidas no âmbito da Diretiva Quadro da Água e zonas com Risco Potencial Significativo de Inundação	APA
	Áreas de recursos minerais i. Áreas Mineiras: concessões mineiras em vigor, licenças de exploração em vigor, área de proteção de Moncorvo, áreas concessionadas para a recuperação ambiental das áreas mineiras degradadas e áreas de salvaguarda da exploração de urânio ii. Áreas de Salvaguarda de Recursos Minerais: depósitos Não Explorados de Urânio, áreas Potenciais para Lítio, Quartzo e Feldspato; salvaguarda Caulino, de metais de base, rocha e de tungsténio e estanho	DGEG e LNEG
	Áreas de interesse florestal i. Submetidas a Regime Florestal (REFLOA Total) ii. Reservas Biogenéticas iii. Arvoredo de Interesse Público	ICNF
	Áreas com património geológico identificado	LNEG e Universidade de Minho

Tipo de condicionante	Descrição	Fonte
	RAN e REN	DGT
Áreas com ocupação do solo controversa ou muito controversa	Áreas com atual ocupação e uso do solo considerado controverso ou muito controverso: <ul style="list-style-type: none"> i. 2.1.1.2 Arrozaís ii. 2.2.1.1 Vinhas iii. 2.2.2.1 Pomares iv. 2.2.3.1 Olivais v. 2.3.1.1 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a vinha vi. 2.3.1.2 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a pomar vii. 2.3.1.3 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a olival viii. 2.4.1.1 Agricultura protegida e viveiros ix. 4.1.1.1 SAF de sobreiro x. 4.1.1.2 SAF de azinheira xi. 4.1.1.3 SAF de outros carvalhos xii. 4.1.1.4 SAF de pinheiro manso xiii. 4.1.1.5 SAF de outras espécies xiv. 4.1.1.6 SAF de sobreiro com azinheira xv. 4.1.1.7 SAF de outras misturas xvi. 5.1.1.1 Florestas de sobreiro xvii. 5.1.1.2 Florestas de azinheira xviii. 5.1.1.3 Florestas de outros carvalhos xix. 5.1.1.4 Florestas de castanheiro xx. 5.1.1.7 Florestas de outras folhosas xxi. 5.1.2.2 Florestas de pinheiro manso xxii. 5.1.2.3 Florestas de outras resinosas 	DGT COS2018
Património cultural	Património cultural <ul style="list-style-type: none"> i. Património classificado / vias classificação e respetivas áreas de servidão administrativa ii. Património arqueológico 	DGPC (Direção-Geral do Património Cultural)

Volta-se a referir que estas condicionantes de exclusão foram consideradas de forma diferente para as várias tecnologias. A lista completa de condicionantes para cada tecnologia está elencada no respetivo capítulo.

Nos capítulos seguintes apresentam-se os potenciais técnicos de renováveis para os seguintes grupos de tecnologias:

- › Solar fotovoltaico distribuído em áreas artificializadas (ou construídas);
- › Solar fotovoltaico centralizado em áreas não artificializadas (ou naturais);
- › Solar de concentração (termoelectricidade solar);
- › Eólica onshore;
- › Eólica offshore (flutuante e fixa);
- › Bioenergia e biocombustíveis;
- › Solar térmico.

Para a energia oceânica, apresenta-se o potencial do recurso de energia primária e não o potencial técnico que se refere a um grupo de tecnologias em particular.

4 Solar fotovoltaico

Este capítulo apresenta o potencial técnico de solar fotovoltaico em áreas artificializadas (ex. coberturas de edifícios, parques industriais, parques de estacionamento, etc.) e em áreas não artificializadas (áreas com ocupação do solo atual não construído como por exemplo matos ou florestas de eucalipto).

Em Portugal no final de 2022 foram gerados 3 472 GWh de eletricidade a partir de solar fotovoltaico e estava instalada uma capacidade 2,561 GW de acordo com os dados da DGEG²³. De acordo com a mesma fonte, destes, 1,052 GW correspondiam à soma de capacidade instalada em Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC), Unidades de Pequena Produção (UPP) e Micro/Mini, ou seja, produção solar PV descentralizada. Já em unidades de solar PV "convencionais", de acordo com a DGEG²³, estavam instalados no final de 2022 cerca de 1,493 GW. Em 2022 foram gerados 1 212,91 GWh com produção solar PV descentralizada e 2 258,79 GWh com solar PV convencional.

Em maio de 2023 estes valores eram já superiores com 1 446,80 GWh gerados a partir de solar PV descentralizada (proveniente de 1,158 GW instalados) e 2 641,71 GWh de solar convencional (proveniente de 1,530 GW instalados).

No que respeita à desagregação neste relatório em solar PV descentralizado e centralizado, importa dar nota de que:

- › as UPAC são unidades que produzem energia elétrica para autoconsumo e podem estar ou não ligada à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). Podem ter uma capacidade que varia entre valores inferiores a 700 W ou acima de 1 MW;
- › as UPP têm uma potência de ligação menor que 1 MW e injetam toda a energia elétrica gerada na RESP;
- › a micro/mini produção é a atividade de produção de eletricidade em baixa tensão para consumo próprio, com possibilidade de entrega de energia à RESP.

Estes termos aplicam-se a também outros tipos de tecnologia renovável que não o solar PV, como a (mini) hídrica, eólica ou biomassa/biogás. De qualquer forma, para efeitos deste relatório considera-se como solar PV descentralizado o correspondente a UPAC, UPP e Micro/Mini produção, sendo o restante centralizado.

Para a estimativa de solar PV teve-se como base a informação sobre o potencial de recurso energético do Global Solar Atlas²⁴ (Figura). Como se pode verificar, em todo o território de Portugal continental há potencial de recurso, isto é, valores de irradiação global anual no plano horizontal (GHI), acima de 1400 kWh/m².

²³ DGEG (2023). Estatísticas Rápidas de Renováveis. N.º 222 – Maio de 2023. Lisboa, Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/publicacoes/estatisticas-rapidas-das-renovaveis/>

²⁴ O Global Solar Atlas é uma iniciativa do Banco Mundial em colaboração com a ESMAP e com a SolarGIS, que disponibiliza dados do recurso para solar PV e outros. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/support/about>

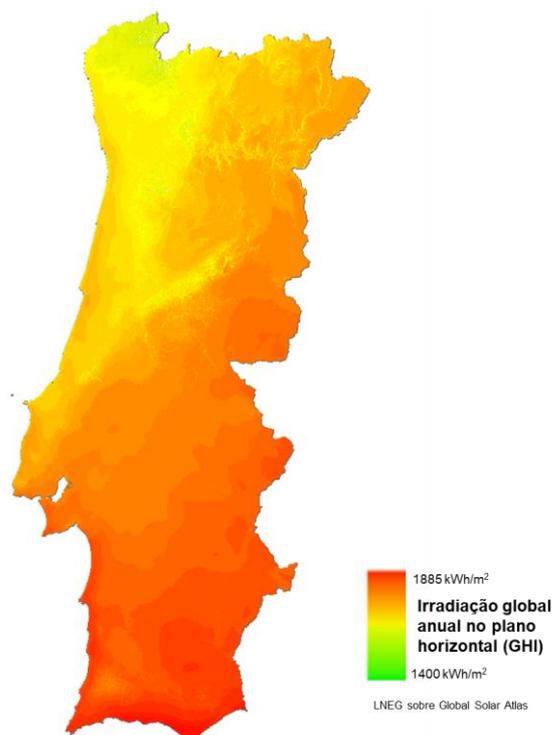


Figura 4.1 – Potencial de recurso energético para solar PV em Portugal Continental – irradiação global anual no plano horizontal

4.1 Solar PV descentralizado em áreas artificializadas

Esta secção apresenta breves notas metodológicas, bem como os resultados para os vários tipos de áreas artificializadas consideradas.

4.1.1 Metodologia

Uma vez que em todo o território de Portugal continental existe recurso energético para solar PV, o **fator limitante para a estimativa do potencial técnico em áreas artificializadas é função da área que poderá ser ocupada**, seja em coberturas de edifícios ou no chão por exemplo em áreas industriais.

Tendo por base as diferentes áreas artificializadas apresentadas no capítulo 2 foi estimada a fração de cada uma delas que poderá vir a ser utilizada para a instalação de painéis de solar PV. Assim, o potencial de instalação de energia solar descentralizada em áreas artificializadas está dividido em **6 tipos áreas artificializadas**:

- › Áreas Industriais;
- › Edifícios Comerciais;
- › Prédios residenciais e de Uso Misto;
- › Vivendas;
- › Edifícios de Saúde, Ensino, Culturais, Turístico e Militares, e
- › Outros Usos do Solo.

Para a estimativa de m² disponíveis para a instalação de módulos foi adotada uma abordagem diferenciada em função do tipo de área artificializada considerada (Tabela). Basicamente são aplicados coeficientes de redução da área da respetiva classe de uso do solo da COS2018 para se poder obter um valor mais robusto para a instalação potencial de solar PV. Estes coeficientes (ou fatores de disponibilidade) dizem respeito a:

1. **Garantir a homogeneidade dos polígonos** classificados na COS2018. Ou seja, na classificação de uma determinada área (i.e. polígono SIG) com uma das classes da COS é considerado pela DGT uma “margem de erro” que pode ser de 75%. Noutras palavras, uma área de 100m² classificada como “Prédios residenciais e de Uso Misto” poderá conter até 25m² de áreas que não correspondem a este tipo de ocupação do solo, como por exemplo ruas com largura inferior a 20m.
2. **Obter a área total de cobertura**²⁵, dentro do polígono. Ou seja, um polígono classificado como “Tecido edificado descontínuo esparsa”, de acordo com as especificações técnicas da COS2018, corresponde a “Áreas de tecido edificado nas quais a superfície impermeabilizada ocupa uma área superior ou igual a 30% e inferior a 50% da superfície total”. Por outras palavras, trata-se de por exemplo vivendas com uma área de jardim/espço exterior até 50% da área do polígono. A área edificada nestes casos é no máximo 50% da área do polígono.
3. **Obter a fração da área de cobertura que pode vir a ser efetivamente usada** (área viável) para a instalação de painéis solares PV.

A área viável é obtida pela aplicação sequencial dos três coeficientes apresentados. Esta abordagem permite salvaguardar a indisponibilidade de coberturas, os sombreamentos, inclinação e orientação desfavoráveis e ainda questões estruturais impeditivas da instalação de painéis.

A mesma encontra-se alinhada com a metodologia adotada pelo NREL²⁶ que estimou que 8% das coberturas residenciais dos Estados Unidos da América (EUA) são planas (um proxy dos telhados disponíveis para instalação de solar PV). O estudo norte-americano não considerou diferenças entre os tipos de residências.

Na estimativa para Portugal foram considerados 3 tipos de edifícios residenciais com área total de cobertura que varia entre 3,75% e 22,5% da área do polígono. Destes, considera-se que apenas 20% da área de cobertura será área viável para instalação de solar PV. Este valor compara com valores equivalentes para os EUA em que a área viável

²⁵ O termo “coberturas” é usado de uma maneira geral para designar as áreas artificializadas onde podem vir a ser instalados painéis fotovoltaicos. Há contudo especificidades, em áreas industriais por exemplo, os painéis poderão ser instalados no chão e não em telhados.

²⁶ Lopez, A., Roberts, B., Heimiller, D., Blair, N., Porro, G. (2012) U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis. NREL - National Renewable Energy Laboratory of the United States of America. Technical Report NREL/TP-6A20-51946. 32 pp. Denver, Colorado. Available at: <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51946.pdf>

(considerando sombreamentos, obstruções e outros condicionantes de uso) é de 22% para climas frios e 27% para climas quentes no país.

Fazendo o mesmo tipo de comparação para coberturas de edifícios comerciais, verifica-se que no estudo do NREL se considera que 63% das coberturas comerciais são planas (ou disponíveis) e que a respetiva área viável para solar PV variaria entre 60% e 65%, respetivamente para climas quentes e frios. Para o caso de Portugal adotou-se uma abordagem mais conservadora ao considerar que as coberturas disponíveis seriam 45% das áreas de polígonos comerciais na COS2018 e que apenas 20% da cobertura poderia ser usada para instalação de solar PV.

Estes exemplos refletem o caso de edifícios residenciais e comerciais, sendo que foram considerados coeficientes diferenciados para os diferentes tipos de área artificializada, tendo por base também a descrição de cada classe COS2018 de acordo com as suas especificações técnicas. Esta variabilidade nos coeficientes permite acomodar de alguma forma a heterogeneidade de tipos de cobertura, graus de ocupação e viabilidade de uso. Estes são naturalmente valores aproximados com grande margem de erro mas que não obstante, são úteis para fins de planeamento energético. Naturalmente, em projetos concretos deverão surgir outros valores (maiores ou menores) em função de fatores regulatórios, características estruturais do edifício ou mesmo preferências dos proprietários.

O detalhe dos tipos de áreas e dos vários coeficientes considerados está detalhado na tabela seguinte.

Tabela 4.1 – Pressupostos considerados para estimativa de área artificializada passível de ser ocupada com solar PV

Tipo de área para estimativa de potencial PV	A Homogeneidade do polígono	B Área da cobertura	Disponibilidade A*B	C Área viável	% área do polígono considerada A*B*C	Classe de ocupação do solo de acordo com COS2018
Áreas Industriais	100%	100%	100%	5%	5%	1.2.1.1 Indústria
Edifícios comerciais	75%	60%	45%	20%	9%	1.2.2.1 Comércio
Prédios residenciais e de Uso Misto	75%	30%	22,5%	20%	4,5%	1.1.1.1 Tecido edificado contínuo predominantemente vertical
						1.1.1.2 Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal
Vivendas	75%	12,5%	9,37%	20%	1,9%	1.1.2.1 Tecido edificado descontínuo
		5%	3,75%	20%	0,75%	1.1.2.2 Tecido edificado descontínuo esparsos
Edifícios de saúde, ensino, culturais, turístico e militares	75%	50%	37,5%	20%	7,5%	1.6.3.1 Equipamentos culturais
						1.6.5.1 Outros equipamentos e instalações turísticas
Outros usos do Solo	75%	100%	75%	5%	3,75%	1.1.3.1 Áreas de estacionamento e logradouros
						1.3.2.1 Infraestruturas para captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo
						1.4.2.1 Terminais portuários de mar e de rio
						1.5.2.1 Aterros
						1.6.2.1 Parques de campismo

Tipo de área para estimativa de potencial PV	A Homogeneidade do polígono	B Área da cobertura	Disponibilidade A*B	C Área viável	% área do polígono considerada A*B*C	Classe de ocupação do solo de acordo com COS2018
						1.3.1.2 Infraestruturas de produção de energia não renovável
						1.3.2.2 Infraestruturas de tratamento de resíduos e águas residuais
						1.4.2.2 Estaleiros navais e docas secas
						1.5.2.2 Lixeiras e Sucatas
						1.6.1.2 Instalações desportivas
						1.4.2.3 Marinas e docas pesca

Tendo por base os valores de área disponível, passou-se a estimar a respetiva potência potencial a ser instalada tendo por base as seguintes premissas:

- a) os módulos fotovoltaicos atualmente no mercado apresentam rendimentos acima dos 20%;
- b) nas condições pico ou STC (Irradiância de 1000 Wm^{-2} e temperatura das células de 25°C) apresentam uma potência pico de 200 W por cada m^2 de área de módulos.

Com base nestas características técnicas obtém-se nas áreas ocupadas por módulos o valor de $0,2 \text{ kW/m}^2$ para solar PV descentralizado sendo o percentual de **área viável** dependente do tipo de zona considerada.

Nestas condições **numa área disponível de 1 km^2 livre de condicionantes, poderá instalar-se uma potência pico de: $1 \times 10^6 \text{ m}^2 \times \% \text{ área viável} \times 200 \text{ W/m}^2$.**

Para a estimativa da eletricidade gerada foi considerado o potencial de geração de eletricidade solar com dados do PV-Output do Global Solar Atlas PV em kWh/kWp que já consideram inclinação ótima e orientação a sul. Os valores referem-se a uma média anual entre 1994 e 2018 da produção potencial de eletricidade anual/diária de uma unidade de energia solar PV com 1 kWp (ver figura 4.2).



Figura 4.2 - Média anual PV output - Global Solar Atlas

Este mapa fornece um resumo do potencial estimado de geração de energia solar PV considerando apenas o recurso solar disponível. A configuração do sistema PV considerado na estimativa do PVOUT consiste em estruturas independentes no solo com módulos PV de silício cristalino montados numa posição fixa e com inclinação ideal para maximizar o rendimento anual de energia. Considera-se que são usados inversores de alta eficiência é assumido.

A estimativa de eletricidade solar é baseado em dados de recurso solar de alta resolução fornecido pela Solargis²⁷. O cálculo leva em consideração a radiação solar, a temperatura do ar e o terreno, para simular a conversão de energia e as perdas nos módulos e outros componentes. Assume-se ainda que as perdas por poeiras e sujidade são de 3,5%. O efeito cumulativo de outras perdas de conversão (sombreamento entre linhas, incompatibilidade, inversores, cabos, transformadores, etc.) é considerado com sendo de 7,5%. A base de dados de recurso solar subjacente é calculada a partir de dados atmosféricos e de satélite com intervalos de 10 minutos, 15 minutos e 30 minutos e uma

²⁷ <https://solargis.com/>

resolução espacial nominal de 1 km. A temperatura do ar acima do solo é pós-processada a partir da base de dados de reanálise da ERA5²⁸.

4.1.2 Potencial técnico de solar PV em áreas artificializadas

A Figura 4.3 mostra o potencial técnico obtido de 23,33GW distribuído nos 6 tipos de áreas artificializadas consideradas.

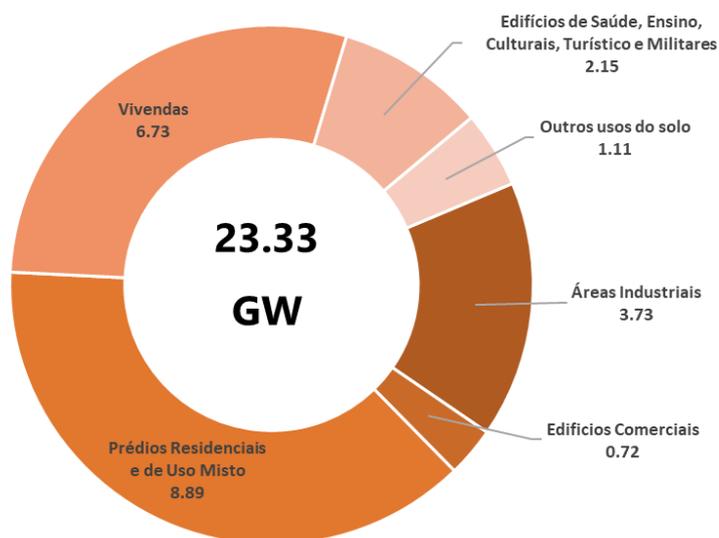


Figura 4.3 – Potencial técnico de solar PV descentralizado por tipo de área artificializada

Estes resultados são seguidamente detalhados para cada um dos tipos de áreas artificializadas considerado.

4.1.2.1 Áreas Industriais

Para o cálculo do potencial técnico de solar PV em áreas industriais foi feita a identificação dos polígonos classificados como áreas artificializadas “indústria” na COS2018. No total foram identificados 6 885 polígonos com esta classificação em Portugal continental. Foi feita a combinação destes polígonos com os Concelhos (usando a CAOP - Carta Administrativa Oficial de Portugal) e com o potencial de geração de eletricidade solar com dados do PV-Output SolarGis, resultando em 7 314 polígonos. Para 13 polígonos fronteiriços (i.e. na linha limítrofe de um ou mais concelhos) não foi possível alocar um concelho, pelo que foram excluídos da análise. Assim o número total de polígonos final considerados foi 7 301 polígonos.

Como referido na metodologia considerou-se que o equivalente a 5% da área de cada polígono industrial poderia ser ocupado com painéis solar PV.

²⁸ <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis#:~:text=ERA5%20is%20the%20latest%20climate,together%20with%20estimates%20of%20uncertainty.>

Os resultados mostram que se forem instalados painéis correspondentes a 5% da área de cada polígono industrial, poderiam ser instalados cerca de 3,73 GW de capacidade solar PV, que geraria cerca de 5,89 TWh/ano. Apenas para fins de comparação, o consumo médio total da indústria transformadora nos últimos 5 anos (exceto o ano de 2020 por ter sido um ano atípico) foi de 15,91 TWh/ano conforme os dados da DGEG.

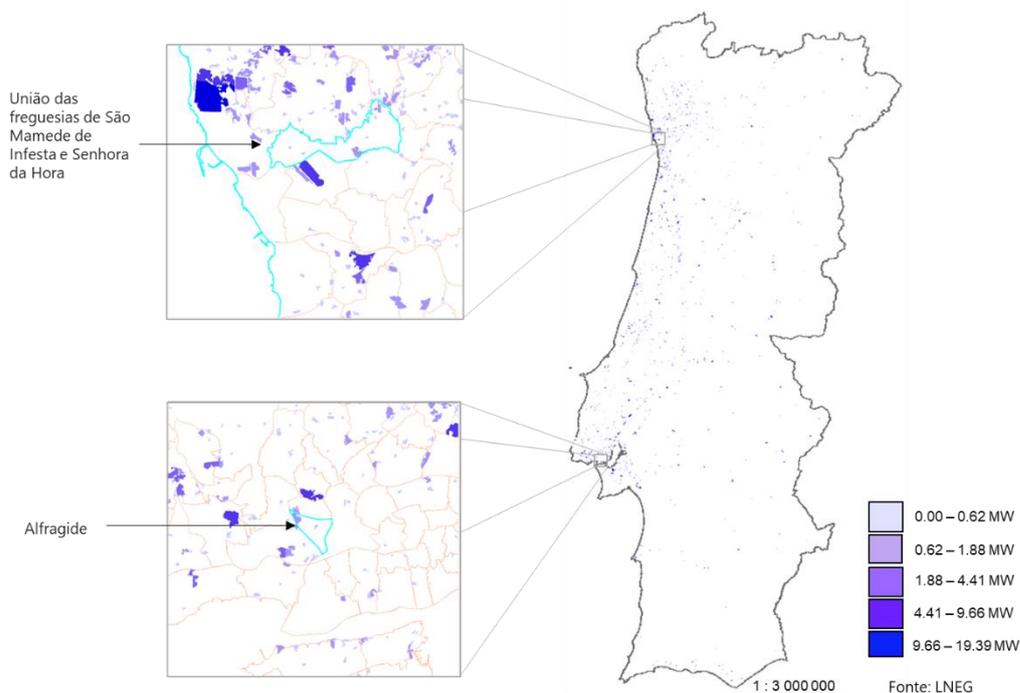


Figura 4.4 – Potencial técnico de capacidade instalada de solar PV em áreas industriais

A desagregação do potencial por NUTII apresenta-se seguidamente.

Tabela 4.2 – Potencial técnico de solar PV em áreas industriais por região NUTII

Região	Potencial Técnico de Capacidade Instalada (GW)	Potencial Técnico de Geração de eletricidade anual (TWh)
Algarve	0,07	0,12
Norte	1,23	1,88
Lisboa e Vale do Tejo	0,68	1,11
Alentejo	0,42	0,69
Centro	1,34	2,09
Total	3,73	5,89

4.1.2.2 Edifícios Comerciais

Para o cálculo do potencial técnico de solar fotovoltaica descentralizada em edifícios de comércio, foram considerados todos os polígonos classificados como áreas artificializadas "Comércio" na COS 2018.

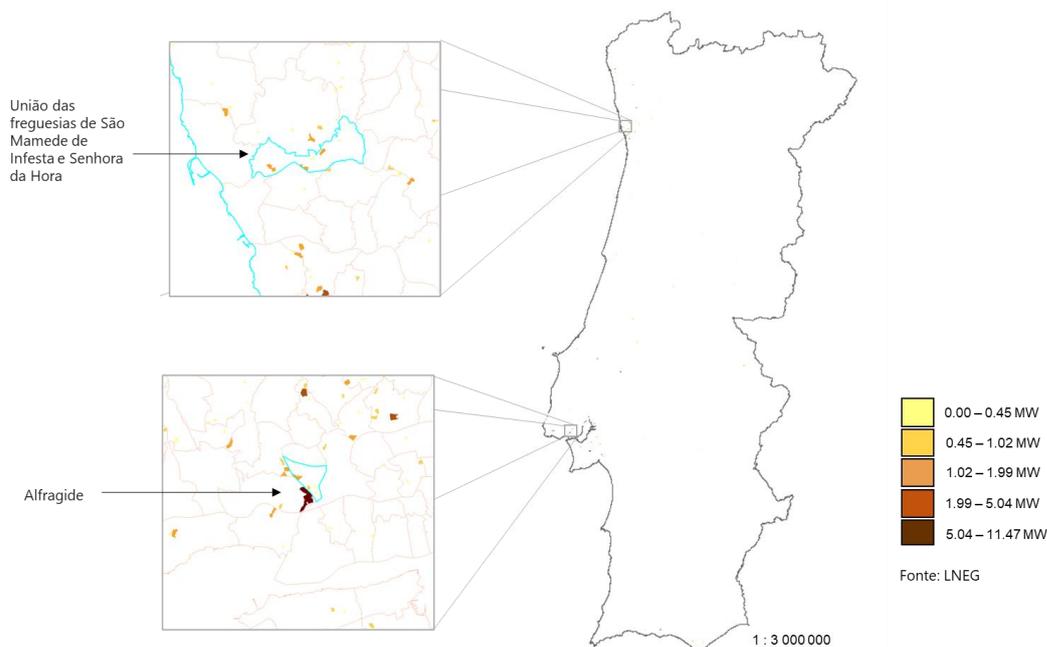


Figura 4.5 – Potencial técnico de capacidade instalada de solar fotovoltaico em edifícios comerciais COS2018

Foram considerados 1 304 polígonos que somam 40 km². As áreas de edifícios comerciais variam entre 31 393 m² e 637 140m², tendo-se como área média 30 733m². Conforme descrição dos polígonos da COS2018, considerou-se apenas 75% da área para assegurar a homogeneidade do polígono. Considerou-se ainda que 60% da área classificada como “Comércio” poderia corresponder a área total de cobertura (em linha com o do NREL. Para acautelar questões de sombreamento, inclinação e estruturais, adotou-se uma abordagem conservadora considerando que desta área disponível, apenas 20% poderia ser a área equivalentes em painéis de solar PV a serem instalados.

No total, o potencial de capacidade instalada de solar PV seria de 0,72 GW, o que poderia gerar 1,15 TWh/ano. Em 2021, o consumo de eletricidade das atividades económicas descritas como Comércio²⁹ foi de 3,3 TWh, segundo dados da DGEG.

Tabela 4.3 - Potencial técnico de solar PV em edifícios de comércio por região NUTII

Região	Potencial Técnico de Capacidade Instalada (GW)	Potencial Técnico de Geração de eletricidade anual (TWh)
Algarve	0,07	0,12
Norte	0,22	0,34
Alentejo	0,08	0,14
Lisboa e Vale do Tejo	0,17	0,28
Centro	0,17	0,27
TOTAL	0,72	1,15

²⁹ 45 - Comércio, manutenção e reparação de automóveis e motociclos; 46 - Comércio por grosso, exceto automóveis e motociclos; 47 - Comércio a retalho, exceto automóveis e motociclos

4.1.2.3 Prédios residenciais e de uso misto

Para a estimativa do potencial de geração solar PV em edifícios residenciais e de uso misto (coberturas) considerou-se as seguintes 4 classes da COS2018:

- i. Tecido edificado contínuo predominantemente vertical;
- ii. Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal;
- iii. Tecido edificado descontínuo, e
- iv. Tecido edificado descontínuo esparsos.

Estas classes são diferenciadas tendo em conta dois fatores definidos pela DGT: (i) a fração do polígono ocupado com superfície impermeabilizada e (ii) o número de andares (Figura 4.6).

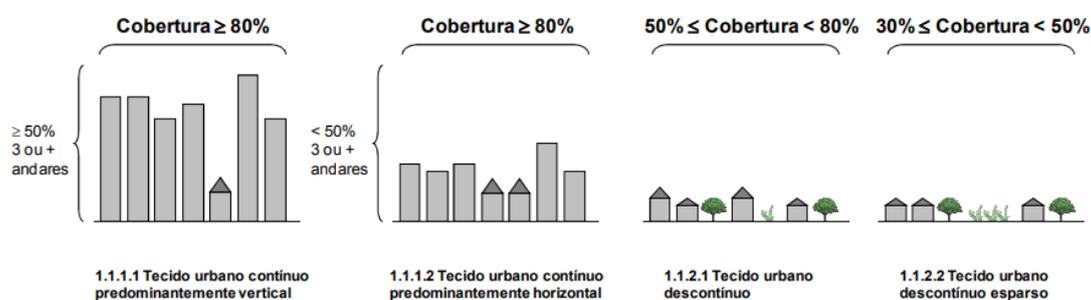


Figura 4.6 – Especificações da COS2018 para a classificação dos vários tipos de edificado.

Fonte: DGT³⁰. Note-se que “cobertura” nesta imagem se refere à área do polígono ocupada com superfície impermeabilizada e não à cobertura (telhado) dos edifícios

Dada esta diferenciação, considerou-se como “Prédios residenciais e de Uso Misto” as classes “Tecido edificado contínuo predominantemente vertical” e “Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal”. As outras duas classes (“Tecido edificado descontínuo” e “Tecido edificado descontínuo esparsos”) receberam neste trabalho a denominação de “Vivendas” e são apresentadas na secção seguinte.

Para os Prédios residenciais e de Uso Misto considerou-se também um coeficiente de homogeneização do polígono de 75% de acordo com as especificações técnicas da COS2018. Sobre este coeficiente considerou-se ainda que a área total de seria apenas de 30% da área considerada homogénea. Este valor difere dos 80% considerados na COS para acautelar a diferença entre superfície impermeabilizada (de 80% da área do polígono) e a da cobertura descontando varandas, terraços ou pátios, entre outros.

Desta forma chegou-se à área total de coberturas em edifícios à qual se aplicou ainda um coeficiente de 20% para obter enfim a área disponível para solar PV. Este valor de 20% está em linha com o considerado pelo NREL. Por fim, foram excluídos todos os polígonos com área disponível inferior a 5m².

³⁰ Direção-Geral do Território, 2019. Especificações técnicas da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de Portugal continental para 2018. Relatório Técnico. Lisboa, Dezembro de 2019. pp 60. Disponível em: https://www.dgterritorio.gov.pt/sites/default/files/documentos-publicos/2019-12-26-11-47-32-0_ET-COS-2018_v1.pdf

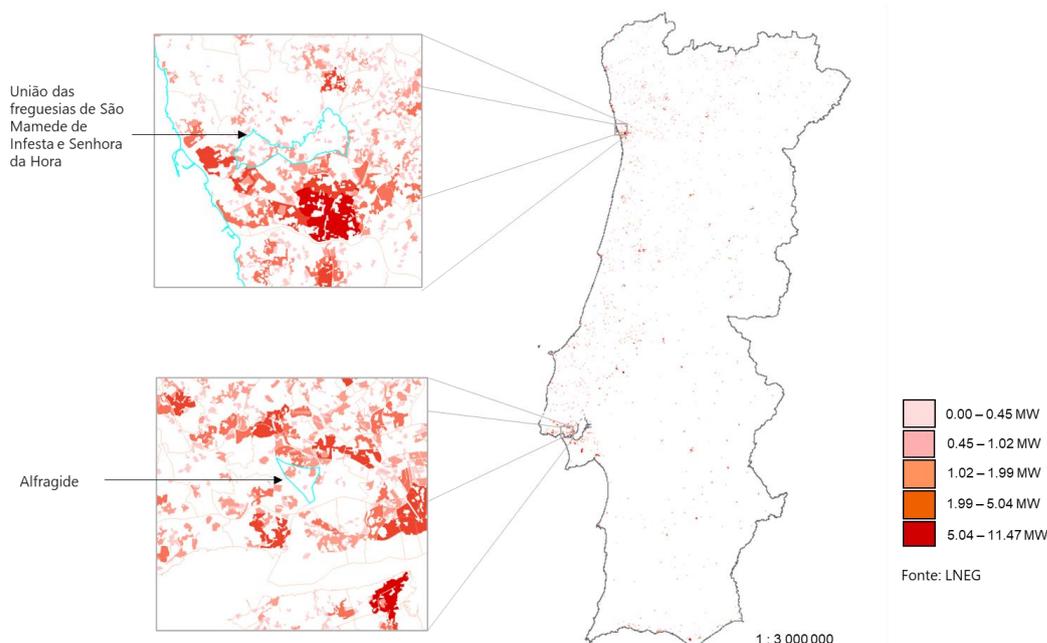


Figura 4.7 – Potencial técnico de capacidade instalada de solar fotovoltaico em prédios residenciais e de uso misto

Os resultados mostram que poderiam ser instalados cerca de 8,88 GW de painéis nas duas classes de ocupação descritas anteriormente conforme a tabela seguinte.

Tabela 4.4 – Potencial técnico de solar PV em prédios residenciais e de uso misto por região NUTII

Região	Potencial Técnico de Capacidade Instalada (GW)	Potencial Técnico de Geração de eletricidade anual (TWh)
Algarve	0,43	0,73
Norte	1,00	1,65
Alentejo	1,52	2,50
Lisboa e Vale do Tejo	2,82	4,42
Centro	3,11	4,76
TOTAL	8,88	14,06

4.1.2.4 Vivendas

Considerou-se como “Vivendas” as classes da COS2018 “Tecido edificado descontínuo” e “Tecido edificado descontínuo esparso”. Considerou-se um coeficiente de homogeneização do polígono também de 75% de acordo com as especificações técnicas da COS2018. Para estimar a área de cobertura em cada polígono homogéneo assumiu-se 12,5% para o “Tecido edificado descontínuo” e 5% para o “Tecido Edificado Descontínuo esparso”. Estes coeficientes são bastante inferiores aos valores de 50% e 30% de área de superfície impermeabilizada considerada na COS, respetivamente. Procura-se assim adotar uma abordagem conservadora e acautelar a ocorrência de jardins, varandas, terraços e pátios, por exemplo. Por fim considerou-se ainda que apenas 20% da área cobertura poderia ser área disponível para solar PV (novamente em linha com a estimativa de NREL). Também aqui foram excluídos todos os polígonos com área disponível inferior a 5m².

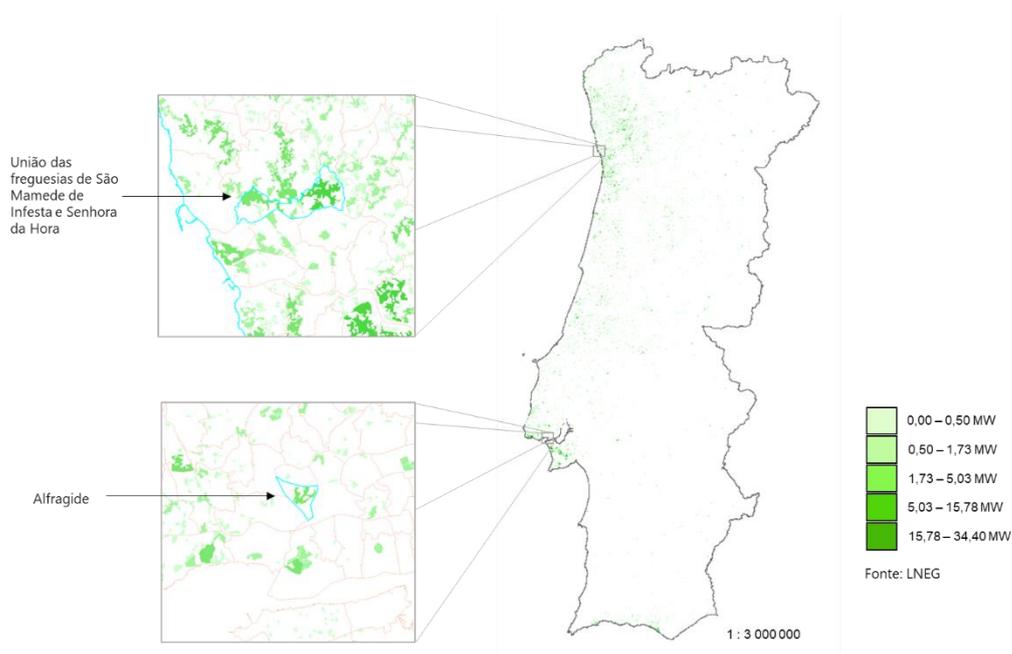


Figura 4.8 – Potencial técnico de capacidade instalada de solar fotovoltaico em vivendas

Os resultados mostram que poderiam ser instalados cerca de 6,72 GW de painéis nas duas classes de ocupação descritas anteriormente conforme a tabela seguinte.

Tabela 4.5 – Potencial técnico de solar PV em vivendas por região NUTII

Região	Potencial Técnico de Capacidade Instalada (GW)	Potencial Técnico de Geração de eletricidade anual (TWh)
Algarve	0,30	0,52
Norte	0,37	0,60
Alentejo	0,69	1,13
Lisboa e Vale do Tejo	2,23	3,49
Centro	3,13	4,73
TOTAL	6,72	10,47

Uma outra forma de estimar o potencial de geração de energia solar fotovoltaica distribuída em edifícios residenciais seria uma abordagem considerada *bottom-up* tendo por base o número de edifícios e a dimensão de módulos a instalar em cada um. As duas formas de fazer a estimativa foram apresentadas no trabalho Joshi et al., 2021³¹

A Figura 4.9 mostra a comparação entre as duas abordagens. Os resultados apresentados nas seções anteriores correspondem à abordagem *top-down* na figura. Como informação complementar apresenta-se esta segunda abordagem baseada no número de edifícios

³¹ Joshi, S., Mittal, S., Holloway, P. et al. High resolution global spatiotemporal assessment of rooftop solar photovoltaics potential for renewable electricity generation. Nat Commun 12, 5738 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25720-2>

e calculando-se o potencial de acordo com cenários de instalação média por edifício. Neste caso foram considerados apenas os edifícios residenciais conforme dados do INE.

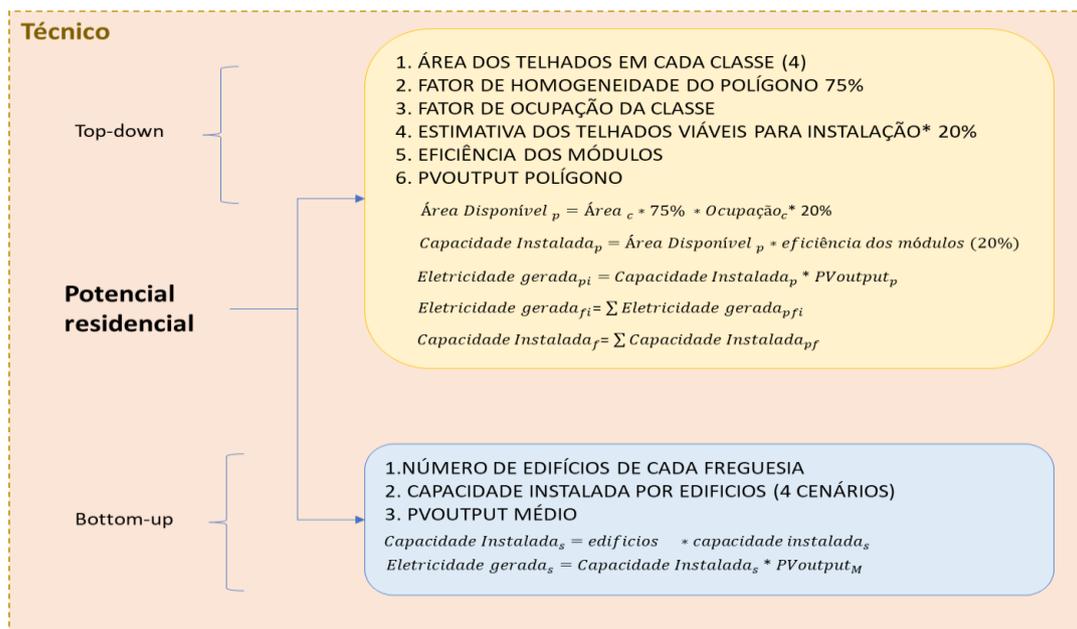


Figura 4.9 – Abordagem *top-down* e *bottom-up* para o cálculo do potencial de solar PV em edifícios residenciais

O número total de edifícios residenciais considerados em Portugal continental foi 3 573 416 conforme o Censo 2021. Nesta abordagem foram considerados apenas os edifícios residenciais conforme dados do INE. Foram testados 4 cenários de capacidade instalada por edifício (1 kW, 2kW, 3,7 kW e 4,2 kW) e foi usado um valor conservador para o cálculo da eletricidade gerada, 1 500kWh/kWp. Os resultados são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 4.6 – Potencial técnico de solar PV em edifícios residenciais usando uma abordagem *bottom-up*

Cenário	Capacidade Instalada (GW)	Eletricidade Gerada (TWh)
1 kW por edifício	3,57	5,36
2 kW por edifício	7,15	10,72
3,7 kW por edifício	13,22	19,83
4,2 kW por edifício	15,01	22,51

Ao comparar os valores obtidos com a abordagem *bottom-up* com os da abordagem *top-down* anterior verifica-se que o valor da abordagem *top-down* para a totalidade de edifícios residenciais é de 15,62 GW de solar PV, próximo da instalação de um sistema de 4,2 kW por edifício residencial em Portugal. Uma vez que o valor de 15,62 GW inclui vários edifícios de uso misto e dado que poderão ser instalados sistemas de maior dimensão em alguns dos edifícios, parece ser aceitável este resultado.

4.1.2.5 Edifícios de saúde, ensino, turismo, culturais e militares

Os edifícios de saúde, ensino, turismo, culturais e militares estão classificados na COS2018 como “Outros equipamentos e instalações turísticas” e “Equipamentos culturais”. Nestas áreas também foi aplicado o coeficiente de 75% homogeneidade dos

polígonos. Considerou-se que 50% da área do polígono homogéneo seria área de cobertura e da qual 20% seria área viável para instalar solar PV.

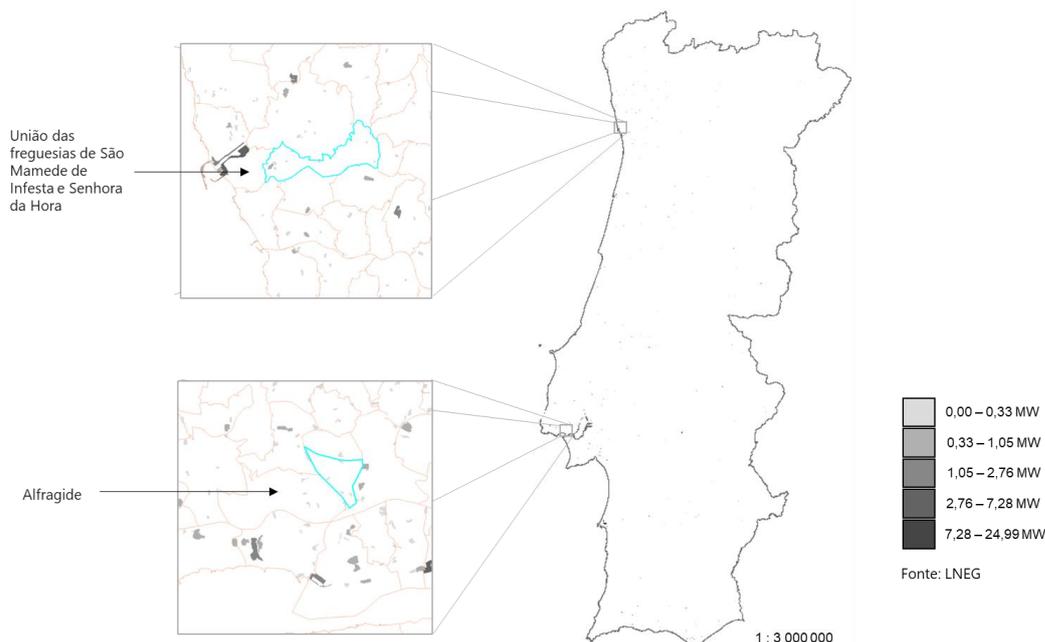


Figura 4.10 – Distribuição do potencial técnico de capacidade instalada de solar PV em edifícios de saúde, ensino, turismo, culturais e militares

A desagregação do potencial por NUTII apresenta-se seguidamente.

Tabela 4.7 – Potencial técnico de solar PV por região do país em edifícios de saúde, ensino, turismo, culturais e militares

NUTII	Capacidade Instalada (GW)	Geração de eletricidade anual (TWh)
Algarve	0,25	0,42
Norte	0,56	0,87
Alentejo	0,28	0,47
Lisboa e Vale do Tejo	0,52	0,85
Centro	0,53	0,84
TOTAL	2,15	3,45

4.1.2.6 Outros usos do solo

Além das classes consideradas anteriormente, outras 11 classes foram tidas como potencialmente viáveis para instalação de painéis de solar PV perfazendo um total de 4 437 polígonos distribuídos ao longo de Portugal continental e que correspondem a cerca de 191,31 km². Dento deste grupo de “outros usos do solo” incluem-se os seguintes tipos de áreas:

- Áreas de estacionamento e logradouros;
- Infraestruturas para captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo;
- Infraestruturas de tratamento de resíduos e águas residuais;

- Infraestruturas de produção de energia não renovável;
- Terminais portuários de mar e de rio;
- Estaleiros navais e docas secas;
- Marinas e docas pesca;
- Aterros;
- Lixeiras e sucatas;
- Instalações desportivas, e
- Parques de campismo.

Para estas áreas foi considerado um fator 20% que se estima ser a área disponível para a instalação de solar PV, aplicado a todas as classes. Adicionalmente, por questões de ensombramento, inclinação, estrutura e orientação dos telhados foi aplicado ainda coeficiente de 5% para obter a área viável para instalação.

Os resultados obtidos são apresentados seguidamente com um valor de potencial técnico estimado em 1,1 GW.

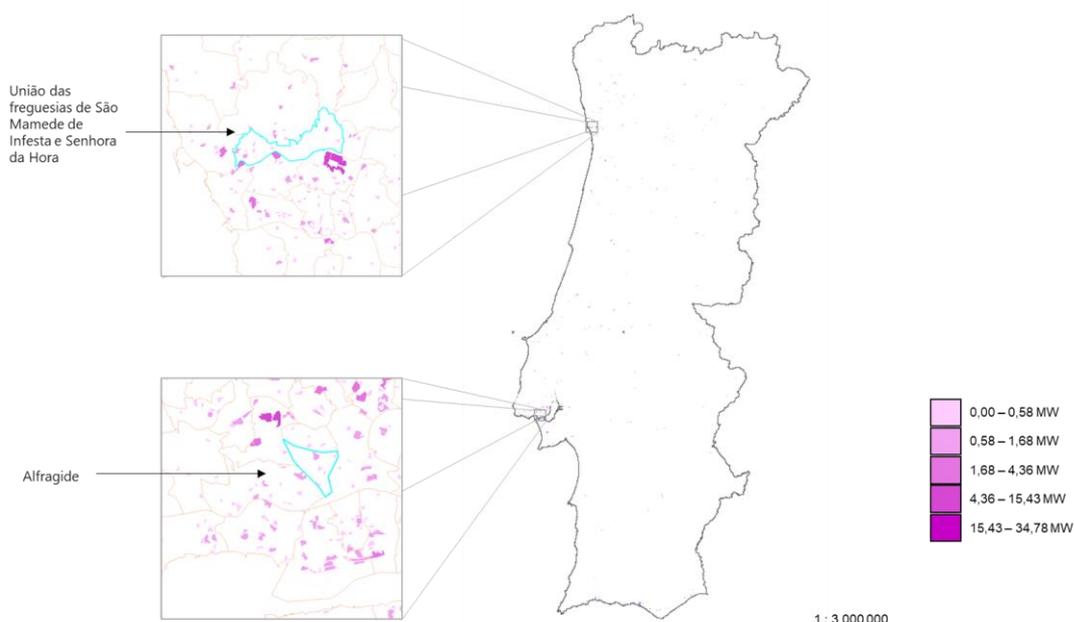


Figura 4.11 - Potencial técnico de capacidade instalada de solar fotovoltaico em outros usos do solo

Os valores desagregados por tipo de “outros usos do solo” são apresentados seguidamente.

Tabela 4.8 – Potencial técnico de solar PV em “outros usos do solo”, desagregado por tipo de área

Tipo de área	Capacidade Instalada (GW)	Geração de eletricidade anual (TWh)
Áreas de estacionamento e logradouros	0,08	0,13
Infraestruturas para captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo	0,02	0,03
Infraestruturas de tratamento de resíduos e águas residuais	0,12	0,19

Tipo de área	Capacidade Instalada (GW)	Geração de eletricidade anual (TWh)
Infraestruturas de produção de energia não renovável	0,09	0,14
Terminais portuários de mar e de rio	0,07	0,11
Estaleiros navais e docas secas	0,02	0,03
Marinas e docas pesca	0,03	0,05
Aeroportos	0,20	0,33
Aeródromos	0,12	0,19
Aterros	0,08	0,13
Lixeiras e Sucatas	0,05	0,08
Instalações desportivas	0,47	0,75
Parques de campismo	0,08	0,13
Total	1,11	1,79

Na figura seguinte apresenta-se o mapa de potencial técnico de solar PV descentralizado para a Área Metropolitana de Lisboa para os diferentes tipos de áreas consideradas.

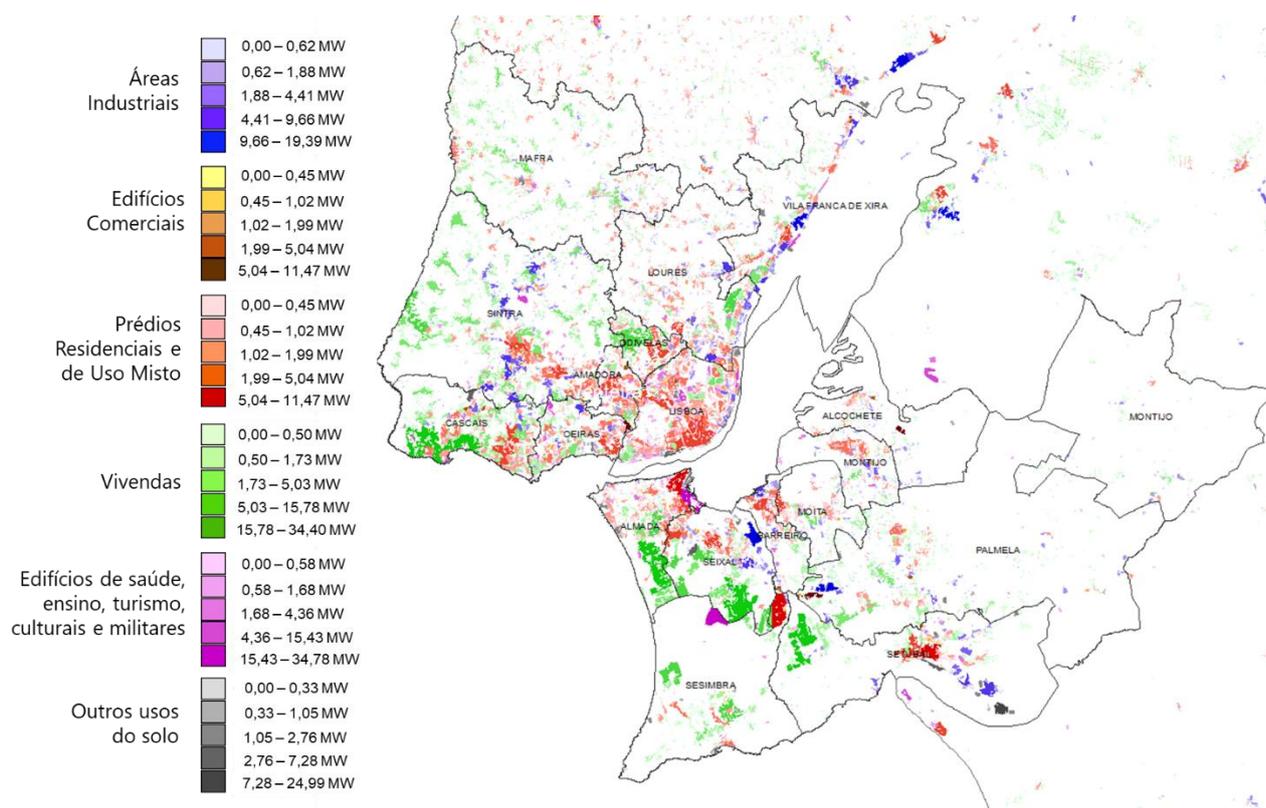


Figura 4.12 – Mapa de potencial técnico de solar PV em áreas artificializadas na área metropolitana de Lisboa, em GW

Na sequência da análise feita à Área Metropolitana de Lisboa, importa referir que o potencial estimado apenas para o município de Lisboa permite gerar 0,784 TWh/ano.

Este valor compara com o potencial de 2,862 TWh/ano identificado no estudo Lisboa Solar³², o que permite concluir que a estimativa de potencial técnico apresentada neste estudo é conservadora.

Na figura seguinte apresenta-se o mapa de potencial técnico de solar PV descentralizado para a Área Metropolitana do Porto, nos município de Coimbra e Beja.

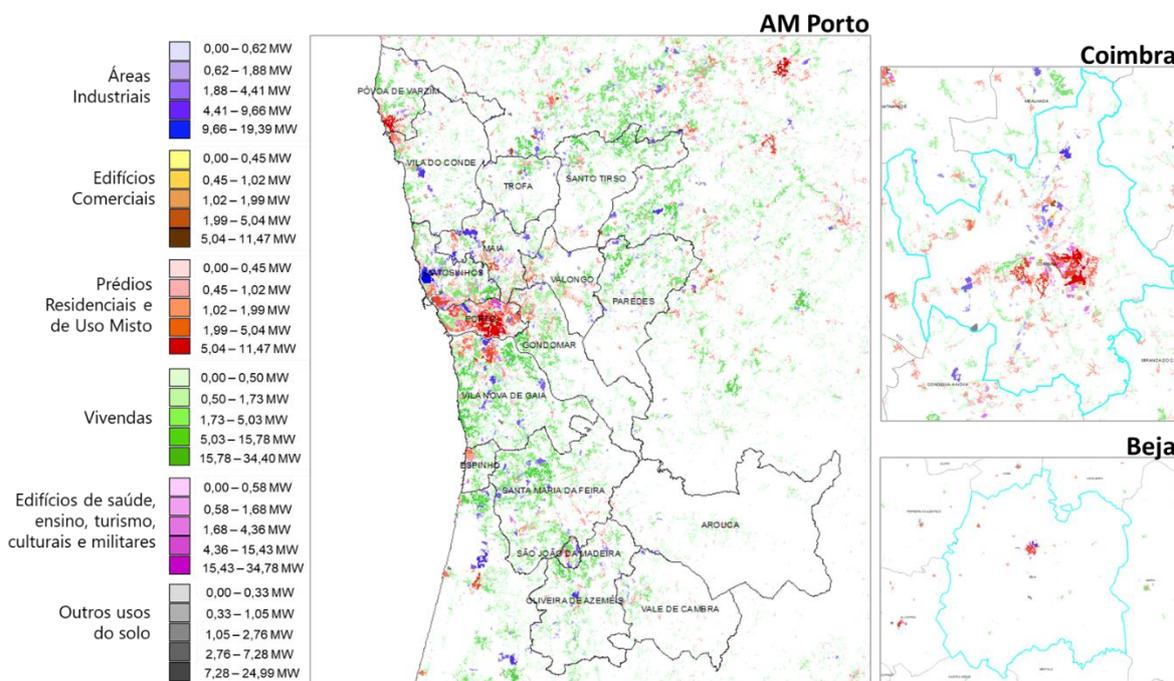


Figura 4.13 - Mapa de potencial técnico de solar PV em áreas artificializadas na área metropolitana do Porto, Município de Coimbra e Município de Beja em GW

4.2 Solar PV centralizado em áreas não artificializadas

4.2.1 Metodologia

Uma vez que em todo o território de Portugal continental existe recurso energético para solar PV, o **fator limitante para a estimativa do potencial técnico em áreas não artificializadas é função da área que poderá ser ocupada**, que por sua vez é determinada pela decisão (em certa medida subjetiva) quanto ao grau de restrição a adotar na consideração de condicionantes de exclusão de localizações. Estas exclusões podem ser motivadas pela salvaguarda de ecossistemas, de solos com aptidão agrícola, do património cultural e arqueológico, de áreas de interesse florestal e mineral, pela proteção de recursos hídricos, minimização de impacto visual (e outros) em aglomerados urbanos vizinhos, etc. Neste trabalho, para traduzir esta subjetividade, adotou-se uma

³² https://www.solis-lisboa.pt/wp-content/uploads/2021/06/SOLIS_docs_Lisboa-Cidade-Solar.pdf

abordagem que estima um intervalo de potencial técnico em função do grau de restrição considerado.

No que respeita a **condicionantes de exclusão de localização potencial** foram consideradas apenas as áreas de Portugal continental com declive inferior a 3% e que, cumulativamente, não estivessem localizadas numa das seguintes áreas (detalhadas no capítulo 2):

- áreas com **ocupação do solo inviável**;
- **áreas classificadas** para conservação da natureza;
- **zonas de proteção costeira**;
- zonas protegidas no âmbito da **Diretiva Quadro da Água e zonas com risco de inundação**;
- áreas de **interesse florestal** (REFLOA Total, Reservas Biogenéticas e Arvoredo de Interesse Público);
- zonas relevantes para **águas minerais e naturais**;
- áreas com **património cultural incluindo o arqueológico**;
- áreas com **património geológico** identificado;
- **ocupação do solo atual controversa ou muito controversa**;
- áreas de **recursos minerais**;
- culturas **temporárias de sequeiro e regadio**;
- áreas de **Reserva Agrícola Nacional (RAN) e Reserva Ecológica Nacional** conforme disponibilizadas pela DGT³³;
- **Sistemas Aquíferos** de Portugal continental.

Todas as condicionantes de exclusão são consideradas cumulativamente. Ou seja, basta uma área estar abrangida por uma das condicionantes de localização para ser excluída.

Deve referir-se que existem atualmente em Portugal centrais solares PV em áreas com declive superior a 3%. Da mesma forma, existem unidades de solar PV centralizadas localizadas em áreas classificadas para conservação da natureza, em áreas com ocupação do solo (anterior à instalação) aqui consideradas como “controversa / muito controversa” ou em áreas de interesse florestal. Por esta razão, a consideração dos critérios de exclusão como taxativos deve ser evitada.

Como já referido, a consideração ou não de uma determinada área como viável para a implementação de solar PV é subjetiva. Um projeto de solar PV numa área considerada neste trabalho como a excluir pode na realidade vir a ser licenciado mediante a adoção de práticas minimizadoras de impactes aos diversos níveis, enquadradas pelo processo de licenciamento em vigor em Portugal. No entanto um trabalho como este, à escala nacional, não permite considerar todos os aspetos analisados para projetos específicos.

³³ <https://www.dgterritorio.gov.pt/ordenamento/sgt/srup>

e RAN, 500m em torno de habitações e prédios, em SAPC e com atual ocupação de “culturas temporárias de sequeiro e regadio”.

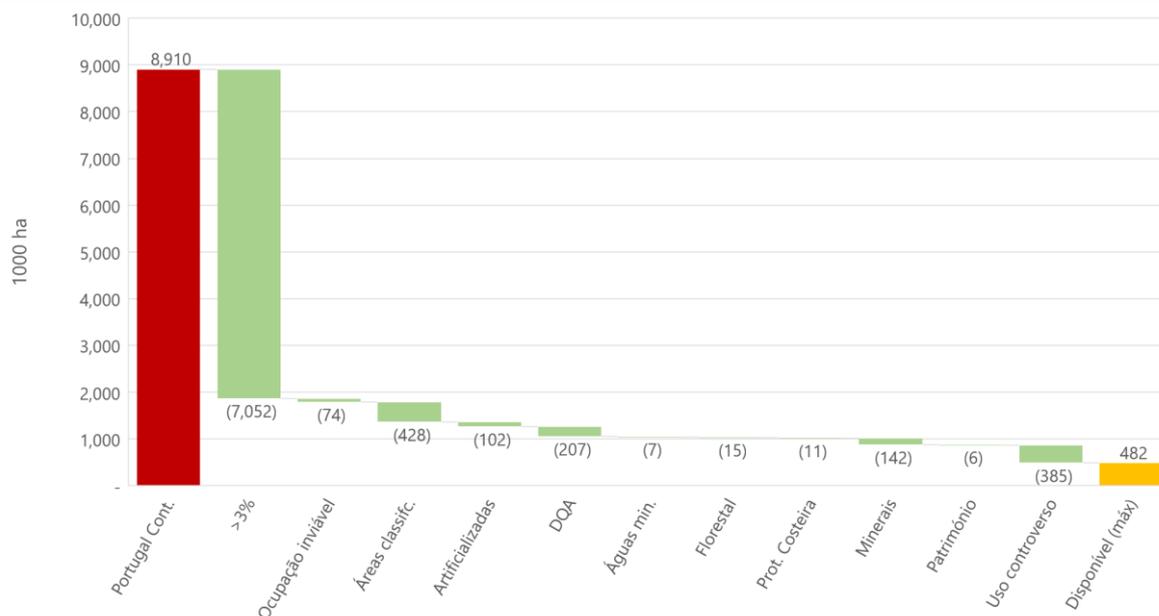


Figura 4.15 – Variação da área disponível com a remoção sequencial de diferentes condicionantes de uso do solo

Como se pode verificar, a exclusão de áreas com declive inferior a 3% é aquela que remove a maior área de entre todas as exclusões consideradas. O gráfico deve ser lido cumulativamente, ou seja, os 74 ha removidos na coluna à direita do declive resultam da combinação da remoção de áreas com declive inferior a 3% e que têm uma ocupação inviável. Combinando estes dois com as áreas classificadas resulta na remoção de mais 428 ha. Ao remover todas estas condicionantes cumulativamente sobra uma área de 48 ha sobre a qual foram feitas as análises de sensibilidade referidas.

Uma vez conhecidos os valores de área disponível, é estimada a respetiva potência a ser instalada tendo por base as seguintes premissas:

- os módulos fotovoltaicos atualmente no mercado apresentam rendimentos acima dos 20%;
- nas condições pico ou STC (Irradiância de 1000 Wm^{-2} e temperatura das células de 25°C) apresentam uma potência pico de 200 W por cada m^2 de área de módulos;
- Numa área de terreno sem condicionantes é possível instalar uma área de módulos PV de 25% da área disponível, por forma a evitar sombreamentos (módulos montados em estruturas fixas).

Com base nestas características técnicas obtém-se nas áreas ocupadas por módulos o valor de $0,2 \text{ kW/m}^2$ para solar PV centralizado com um percentual de área viável de 25%.

Nestas condições numa área disponível de 1 km^2 livre de condicionantes, poderá instalar-se uma potência pico de: $1 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0,25 \times 200 \text{ W/m}^2 = 50 \times 10^6 \text{ W} = 50 \text{ MW}$. Ou

seja, podemos instalar em áreas de terreno livres de condicionantes cerca de **50 MW / km²**.

Para a estimativa da eletricidade gerada foi considerado o potencial de geração de eletricidade solar com dados do PV-Output do Global Solar Atlas PV, detalhados na seção anterior.

4.2.2 Potencial técnico de solar PV centralizado em áreas não artificializadas

Consoante o grau de exigência na consideração de condicionantes de exclusão de uso do solo obtêm-se valores diferentes de potencial de solar PV centralizado que podem variar entre os 168,82GW e os 45,63 GW (ver Table 4.9). Este limiar máximo de capacidade instalada potencialmente poderá gerar 278,11 e TWh por ano.

O valor é muito elevado e reflete, por um lado a excelência do recurso solar em todo o país, e por outro a enorme dimensão das áreas consideradas. Este resultado torna evidente que no caso do solar PV centralizado o seu potencial está limitado pela capacidade de resposta do mercado, pela capacidade de ligação à RESP e não pelo potencial do recurso solar e/ou das áreas disponíveis.

Tabela 4.9 – Resultados de potencial técnico de solar PV centralizado em capacidade instalada total e por NUTII – análise de sensibilidade para várias condicionantes de exclusão

#	Condicionantes de exclusão consideradas (áreas excluídas)					Capacidade instalada potencial técnico GW					
	Declive>3%, Ocupação solo inviável, Áreas protegidas, DQA, Águas minerais, Interesse florestal, Proteção costeira, Recursos minerais, Património cultural e geológico, Uso controverso / muito controverso	culturas temporárias de sequeiro e regadio	REN e RAN	SAPC	500m habitações e prédios	Total	Norte	Centro	LVT	Alentejo	Algarve
c1	X		x			126,04	11.86	46.25	2.29	63.07	2.57
c2	X		x	x		86,84	10.00	26.04	0.88	48.05	1.87
c3	X		x	x	x	66,53	4.57	15.91	0.11	44.67	1.27
c4	X		x		x	89,46	5.38	25.95	0.63	56.03	1.47
c5	X				x	168,82	9.02	41.93	0.97	112.69	4.21
c6	X	x				144,99	14.26	52.31	2.56	69.87	5.98
c7	X	x			x	104,04	7.16	28.66	0.66	64.01	3.55
c8	X	x	x			91,19	8.87	36.90	1.82	41.27	2.33
c9	X	x	x	x		59,72	7.22	20.36	0.54	29.92	1.67
c10	X	x	x	x	x	45,73	3.76	12.55	0.04	28.20	1.18
c11	X		x		x	65,33	4.57	21.47	0.54	37.40	1.36

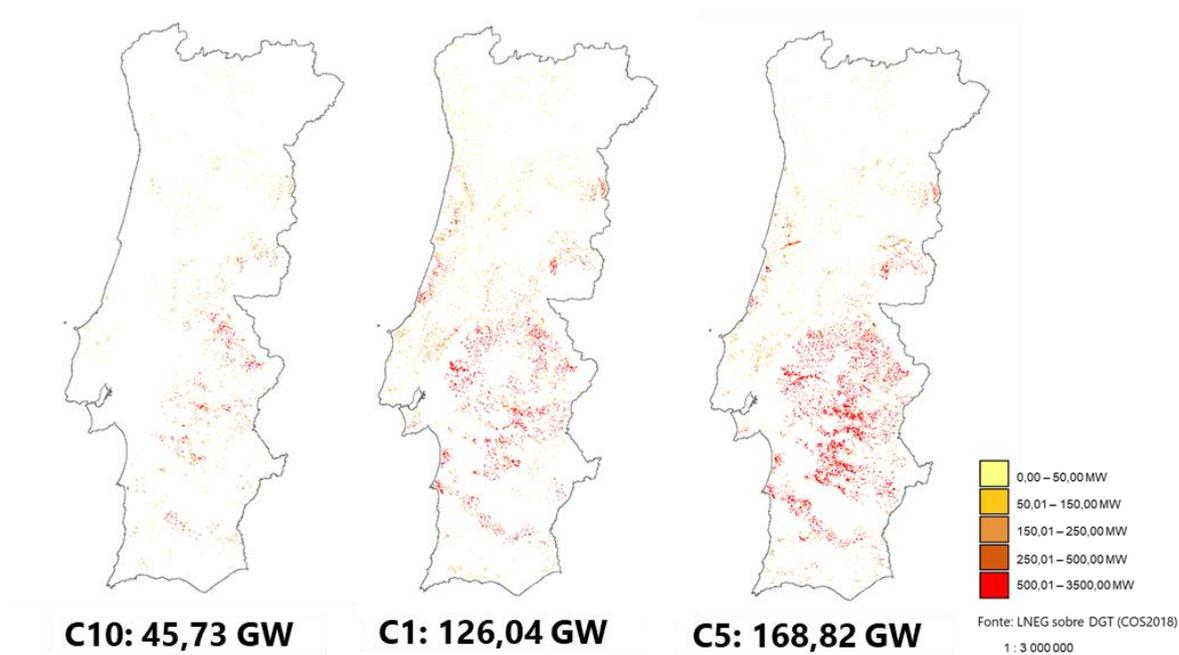


Figura 4.16 – Potencial técnico de capacidade instalada de solar PV centralizada – cenários C10, C1 e C5

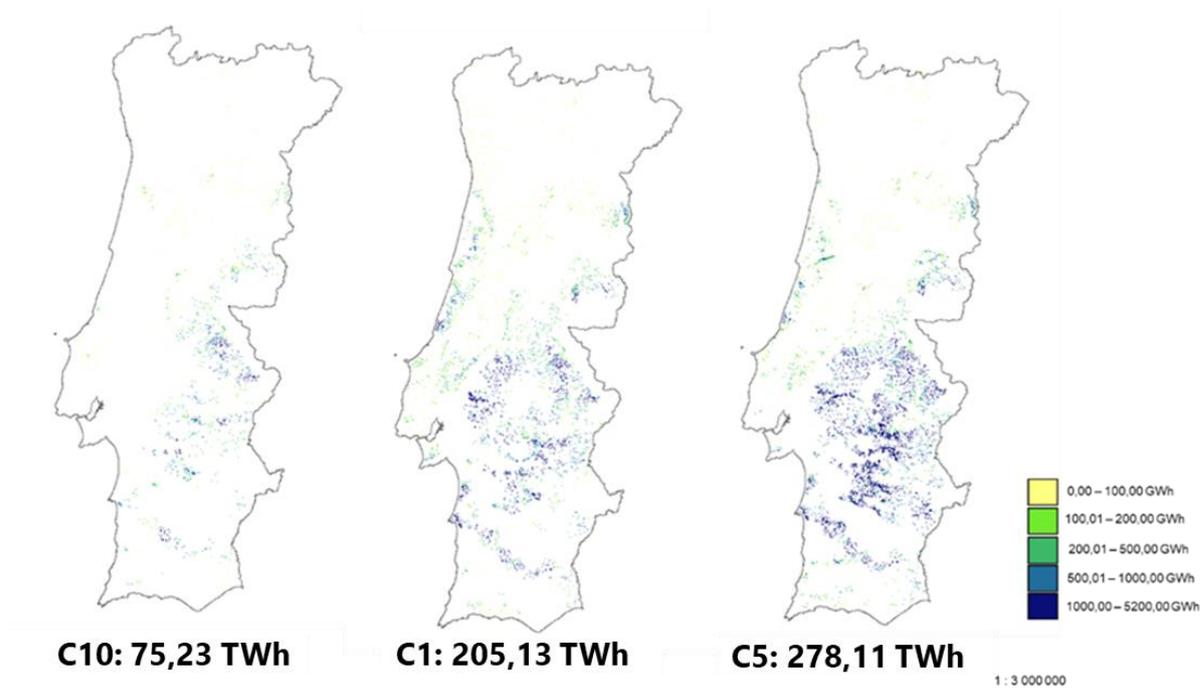


Figura 4.17 – Potencial técnico de geração de eletricidade anual com solar PV centralizado – cenários C10, C1 e C5

4.3 Síntese do potencial técnico solar PV

Na tabela seguinte apresenta-se uma síntese do potencial técnico estimado.

Tabela 4.10 – Síntese do potencial técnico de solar PV

Tipo de área	Capacidade Instalada (GW)	Geração de eletricidade anual (TWh)
Áreas industriais	3,73	5,89
Edifícios Comerciais	0,72	1,15
Prédios residenciais e de uso misto	8,89	14,08
Vivendas	6,73	10,48
Edifícios de saúde, ensino, turismo, culturais e militares	2,15	3,45
Outros Usos do Solo	1,11	1,79
Total Solar PV em áreas artificializadas	23,33	36,84
Solar PV centralizado em áreas não artificializadas	168,82 a 45,63	278,11 a 75,23

4.4 Limitações na estimativa de potencial técnico solar PV

De forma sucinta, as principais limitações na estimativa estão aqui resumidas:

- › Grau de incerteza elevado associado à área de “coberturas” estimada;
- › Grau de incerteza elevado associado à fração da área de “cobertura” que é tecnicamente exequível usar;
- › Não considerado de forma diferenciada os edifícios históricos;
- › Não considerado concorrência com outros usos de coberturas (ex. solar térmico);
- › Elevada subjetividade na estimativa de áreas não artificializadas não sujeitas a condicionantes de localização (ex. 500m ou 1000m de distância a habitações, existem centrais solar PV em áreas >3% declive, etc...);
- › A COS2018 poderá já estar desatualizada;
- › Incerteza quanto à densidade de ocupação do terreno (varia consoante a central e as características específicas do terreno);
- › Não considerada evolução tecnológica dos módulos PV;
- › Aspectos de pormenor como ensombramento não considerados;
- › Estimativa de eletricidade gerada tem por base PVout do Global Solar Atlas com as limitações inerentes.

5 Solar de concentração (Termoelectricidade Solar)

A projeção para 2050 da desagregação da produção mundial de eletricidade por fonte de energia, publicada pela IRENA³⁴, estima que 4% da produção de energia elétrica seja proveniente de centrais solares termoeletricas (ver Figura 5.1).

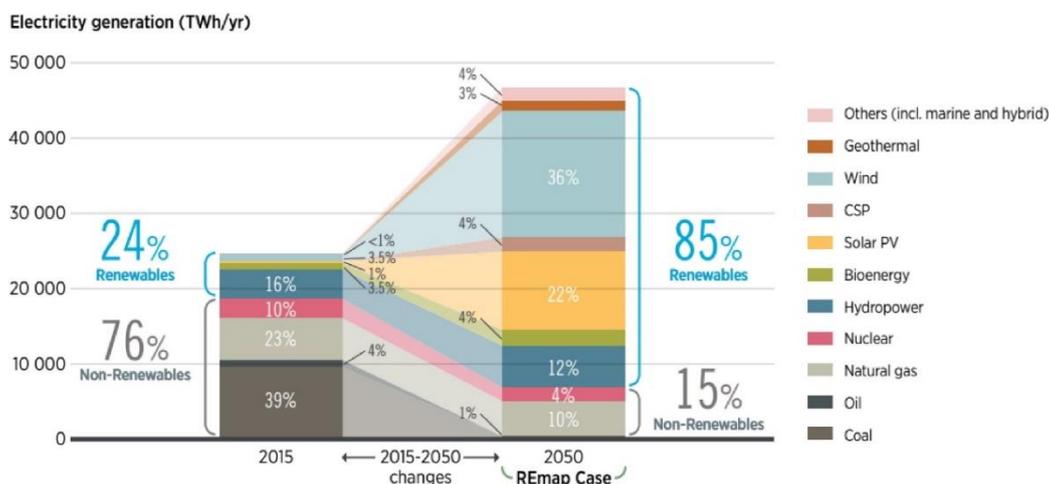


Figura 5.1 - Projeção para 2050 da desagregação da produção mundial de eletricidade por fonte energia. Fonte: IRENA³⁴

Apesar da perspetiva da capacidade instalada de centrais solares termoeletricas (CSP) em Portugal, para 2030, ser de 300 MW³⁵, atualmente, não se conhece disponível qualquer estudo para Portugal do potencial técnico de produção de eletricidade por via térmica com recurso a tecnologias de concentração solar.

Desta forma, efetuou-se uma análise do potencial técnico relativo à produção de energia elétrica em centrais CSP, tendo por base informação geográfica relativa a condicionantes de exclusão de localização, informação geográfica relativa à distribuição da irradiância solar direta no plano normal (DNI) e resultados de desempenho anual obtidos em simulações de centrais CSP para anos meteorológicos típicos.

5.1 Metodologia

O potencial técnico da termoelectricidade solar pode ser estimado em termos da energia elétrica produzida (Q_{CSP}) e da capacidade instalada (P_{CSP}) de acordo com as seguintes equações:

$$Q_{CSP,j} = \frac{Q_{central,j}}{A_{central}} \cdot A_{DNI,j}$$

³⁴ IRENA (2019), Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

³⁵ Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030), Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, de 10 de Julho. Disponível: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/53-2020-137618093>.

$$P_{un} = \frac{P_{central}}{A_{central}}$$

$$P_{CSP,j} = P_{un} \cdot A_{DNI,j}$$

$$Q_{CSP} = \sum_{j=1}^n Q_{CSP,j}$$

$$P_{CSP} = \sum_{j=1}^n P_{CSP,j}$$

$$CF_{CSP} = \frac{Q_{CSP}}{P_{CSP} \cdot 8760h}$$

Onde:

j : Patamares de DNI.

$Q_{CSP,j}$: Produção anual de energia elétrica por cada patamar de DNI [TWh]

$Q_{central,j}$: Produção anual de energia elétrica da central CSP tipo por cada patamar de DNI [TWh];

$A_{central}$: Ocupação total de terreno da central CSP tipo [km²];

$A_{DNI,j}$: Área disponível para cada patamar de DNI [km²];

P_{un} : Potência específica da central CSP tipo [GW/km²];

$P_{central}$: Potência útil da central CSP tipo [GW];

$P_{CSP,j}$: Capacidade instalada por patamar de DNI [GW];

Q_{CSP} : Produção anual de energia elétrica [TWh];

P_{CSP} : Capacidade instalada [GW];

CF_{CSP} : Fator de Capacidade [-].

A estimativa foi desenvolvida considerando as áreas disponíveis por patamar de DNI e resultados de simulação de centrais tipo em cada patamar. O algoritmo adotado é apresentado na Figura 5.2, onde se podem observar os dados ou externalidades consideradas (a amarelo), bem como os resultados obtidos, tanto por patamar de DNI (a azul), como na totalidade (a verde). Na mesma figura, pode-se observar, a branco, o passo do algoritmo onde são realizadas as simulações do funcionamento da central para obtenção do valor de produção anual de energia elétrica da central CSP tipo por cada patamar de DNI.

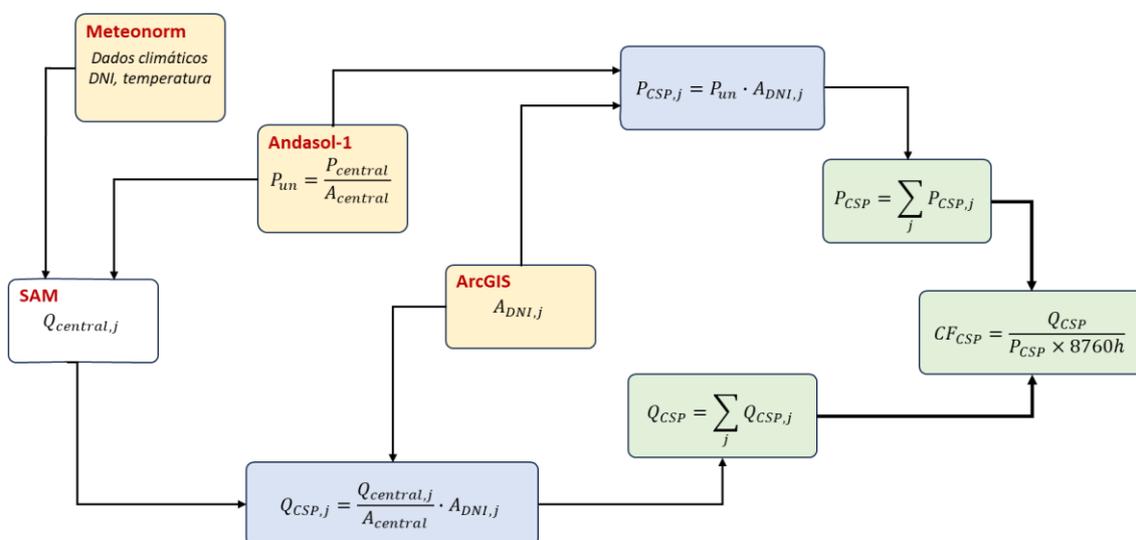


Figura 5.2 – Algoritmo para estimativa do potencial técnico de CSP

Foram consideradas como localizações disponíveis para implementação de centrais solares termoelétricas todos os polígonos com área igual ou superior a 2 ou 4 km² que não se encontrem abrangidos por um ou mais dos critérios de exclusão apresentados no seguinte. A determinação das áreas livres de condicionantes de exclusão (Tabela 5.1) foi realizada em ArcGIS (v10.8.1).

Tabela 5.1 - Condicionantes de exclusão consideradas na determinação da área disponível para implementação de uma central de CSP

Condicionantes de exclusão		Fonte
Terreno tecnicamente inadequado / risco de inundação e/ou geologicamente instáveis	Declive > 3% ³⁶	LNEG
	Ocupação de solo inviável: <ul style="list-style-type: none"> i. Rocha nua, praias e dunas e zonas de sapal e de maré ii. Massas de água superficiais naturais 	DGT COS2018
Áreas classificadas e/ou ambientalmente sensíveis	Áreas classificadas para conservação da natureza: <ul style="list-style-type: none"> i. Rede Nacional de Áreas Protegidas – RNAP ii. Rede Natura 2000 iii. Reservas da biosfera UNESCO iv. Sítios RAMSAR v. Sítios de Importância Comunitária - SIC vi. Zonas de Proteção Especial – ZPE vii. Geossítios (considerado buffer 150 m) 	ICNF e LNEG
	Zonas de proteção costeira	APA
	Zonas relevantes para águas minerais e naturais (incluindo o perímetro de proteção)	DGEG
	Zonas protegidas no âmbito da Diretiva Quadro da Água e zonas com Risco Potencial Significativo de Inundação	APA
	Tipos de ocupação do solo onde não podem ser instaladas centrais CSP	<ul style="list-style-type: none"> Agricultura e viveiros protegidos Vinhas Pomares Olival

³⁶ Energy Reports, 9 (2023) 2947-2979 (<https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.01.132>)

Condicionantes de exclusão		Fonte
	Superfícies agroflorestais de sobreiro (SAF)	
	Superfícies agroflorestais de azinheira (SAF)	
	Superfícies agroflorestais de pinheiro manso (SAF)	
	Superfícies agroflorestais de sobreiro e azinheira (SAF)	
	Florestas de sobreiro	
	Florestas de azinheiro	
	Florestas de outros carvalhos	
	Florestas de castanheiro	
	Outras florestas de folha caduca	
	Florestas de pinheiro manso	
Património cultural	Património classificado/ vias classificação e respetivas áreas de servidão administrativa	DGPC
	Património arqueológico	
Recurso solar	DNI anual < 1 800 kWh/m ² ^{36,37}	Global Solar Atlas ³⁸

Dado que o dimensionamento e o desempenho das centrais CSP é fortemente influenciado pelo recurso solar disponível e que Portugal apresenta diversas localizações com valores de DNI anual superiores a 1 800 kWh/m², podendo chegar até um máximo de cerca de 2 200 kWh/m², para estimar o potencial técnico em termos de energia elétrica gerada a área disponível foi dividida em intervalos de 100 kWh/m², obtendo-se os seguintes patamares de DNI:

- 1800 a 1900 kWh/(m²-ano);
- 1900 a 2000 kWh/(m²-ano);
- 2000 a 2100 kWh/(m²-ano);
- 2100 a 2200 kWh/(m²-ano);
- > 2200 kWh/(m²-ano).

As centrais de CSP requerem uma área contígua mínima para a sua instalação. De modo a excluir áreas não contíguas, da área disponível para implementação de centrais solares termoelétricas, consideraram-se áreas constituídas por³⁹:

- Polígonos de área igual ou superior a 2 km²; e
- Polígonos de área igual ou superior a 4 km².

A distribuição das áreas disponíveis para instalação de centrais CSP por patamar de DNI pode ser observada na Figura 5.3 e os valores correspondentes são descritas na Figura 5.4.

³⁷ Energy Procedia 69 (2015) 2039 – 2048. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.216>

³⁸ Irradiância solar direta no plano normal obtida a partir do Global Solar Atlas 2.0, uma aplicação web gratuita desenvolvida e operada por Solargis s.r.o. em nome do World Bank Group, utilizando dados da Solargis, com financiamento fornecido pelo Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). Para informação adicional consultar: <https://globalsolaratlas.info>

³⁹ Áreas consideradas suficientes e adequadas para instalação de, respectivamente, centrais de 50 MW ou 100 MW, considerando um factor de utilização de terreno de 0,25 km²/MW de potência instalada.

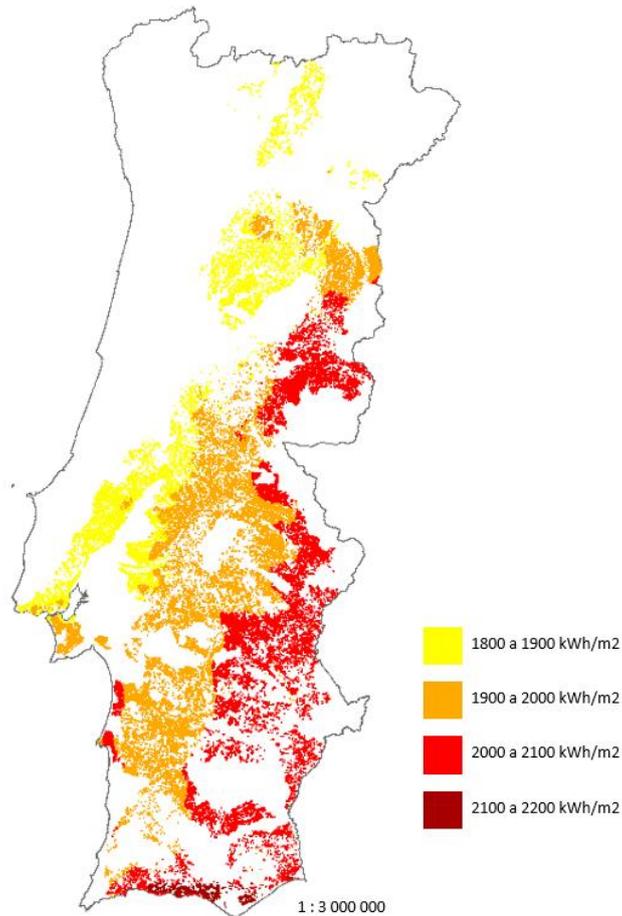


Figura 5.3 - Áreas disponíveis por patamar de DNI, após exclusões

Não foram identificadas áreas mínimas de 2 km² ou 4 km² com valores anuais de DNI acima de 2 200 kWh/m². Desta forma, apenas os 4 patamares compreendidos entre 1 800 kWh/(m²·ano) e 2 200 kWh/(m²·ano) foram utilizados no cálculo deste potencial.

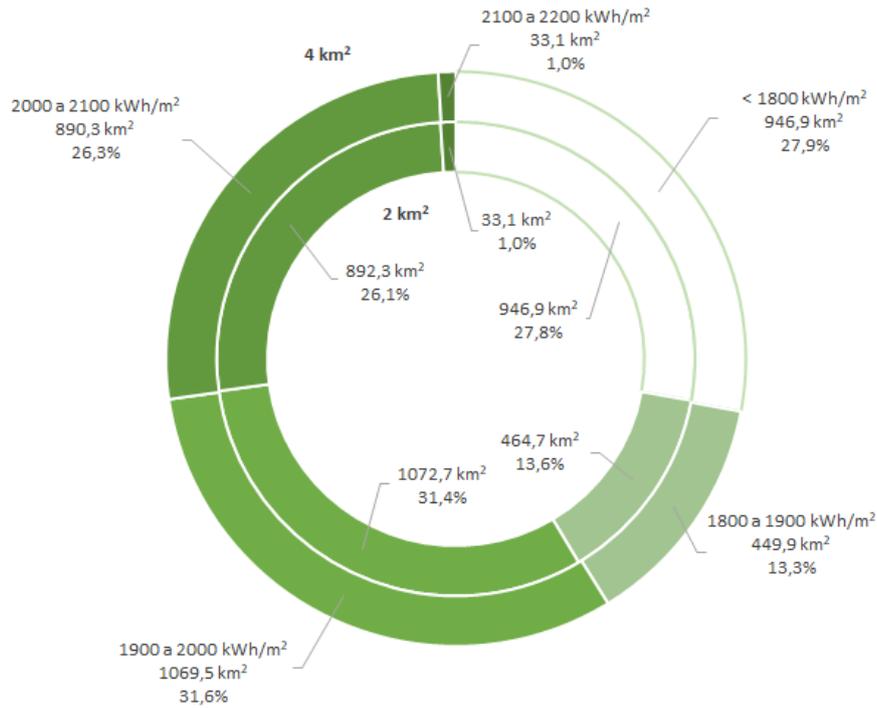


Figura 5.4 - Distribuição da área disponível por patamar de DNI: exterior – polígonos com mínimo de 4 km²; interior – polígonos com mínimo de 2 km²

5.2 Fator de capacidade

O fator de capacidade (CF_{CSP}) relaciona a energia produzida no decurso de um ano (Q_{CSP}) com o valor de produção de energia máximo, isto é, a totalidade do ano a produzir energia à potência nominal ($P_{CSP} \times 8760 h$)

$$CF_{CSP} = \frac{Q_{CSP}}{P_{CSP} \times 8760}$$

O fator de capacidade de uma central CSP depende de diversos parâmetros dos quais se destacam o recurso solar disponível no local da instalação, a capacidade do sistema de armazenamento de energia térmica da central e o múltiplo solar da instalação, entre outros. Deste modo, não existindo um valor tipificado na literatura para a determinação do fator de capacidade, consideraram-se resultados de simulações de desempenho anual de centrais CSP com configurações típicas em localizações com diferentes níveis de DNI.

Estas simulações foram efetuadas no software System Advisory Model⁴⁰. Recorreu-se ao desenvolvimento de um caso com uma central de 50 MW, a potência instalada mais

⁴⁰ System Advisor Model Version 2022.11.21 (SAM 2022.11.21). National Renewable Energy Laboratory. Golden, CO. Accessed May 8, 2023. Available at: <https://sam.nrel.gov/download.html>

comum até 2012⁴¹, e outro caso com potência instalada de 100 MW, valor médio mais comum nos anos mais recentes ^{41,42} Em ambos os casos foi considerada a existência de um sistema de armazenamento de energia térmica de dois tanques e sais fundidos, com capacidade para 7,5 h de funcionamento autónomo à potência nominal da central.

Considerando que os coletores cilindro-parabólicos (PTC) são a tecnologia de CSP mais utilizada (cerca de 75% da potência instalada atualmente é PTC⁴³), a central de 50 MW foi definida à imagem do projeto Andasol-1, grupo electroprodutor integrante da Central Termosolar Andasol, localizada na localidade de Aldeire no vale de Marquesado, na província de Granada. A central de 100 MW foi definida considerando os mesmos tipos de componentes, mas variando a quantidade/capacidade dos mesmos.

5.2.1 Central Andasol-1

A central Andasol-1 foi a primeira central térmica solar na Europa com coletores cilindro-parabólicos e a primeira do mundo com inclusão de armazenamento de energia, tendo ficado operacional em março de 2009⁴⁴. Esta central está localizada numa zona com irradiação direta anual de 2 200 kWh/m² no plano normal e a uma altitude de 1 100 m. A área de abertura dos coletores instalados é de quase 550 000 m², com 1 008 coletores EUROTrough, e apresenta uma ocupação de terreno de cerca de 200 ha. A potência nominal é de 50 MW e pode produzir cerca de 182 GWh de energia elétrica por ano em operação 100% solar, com recurso à produção de vapor sobreaquecido a 100 bar e 371 °C, num ciclo térmico com eficiência de 38%.

A central tem um sistema de armazenamento de energia térmica que recolhe parte do calor produzido no campo solar durante o dia de operação. Este calor é posteriormente transferido por permutador de calor a uma mistura de sais fundidos (60% nitrato de sódio – NaNO₃ – e 40% nitrato de potássio – KNO₃), onde é armazenado num sistema de duplo tanque, com capacidade para armazenar até 1 010 MWh_t. Esta quantidade de energia permite operar a turbina no regime nominal durante cerca de 7,5 h, nomeadamente em períodos de menor DNI ou após o pôr-do-sol, aumentando o fator de capacidade da central para 41,6%⁴⁵ (cerca de 38% sem recurso ao apoio de gás natural), valores que quase duplicam em relação a uma solução sem armazenamento.

⁴¹ World Bank. 2021. Concentrating Solar Power: Clean Power on Demand 24/7. Washington, DC: World Bank. Available at: <https://pubdocs.worldbank.org/en/849341611761898393/WorldBank-CSP-Report-Concentrating-Solar-Power-Clean-Power-on-Demand-24-7-FINAL.pdf>

⁴² IRENA (2022), Renewable Power Generation Costs in 2021, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ISBN 978-92-9260-452-3. Available at: <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>

⁴³ Alami et al, (2023), International Journal of Thermofluids, 18, 100340, <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100340>

⁴⁴ <https://www.power-technology.com/projects/andasolsolarpower/>

⁴⁵ IDAE, 2011, "Evaluación del potencial de energía solar termoeléctrica. Estudio Técnico PER 2011-2020", Madrid

5.2.2 System Adviser Model

As simulações do desempenho das centrais tipo nas diversas áreas estudadas foram realizadas com a aplicação System Adviser Model⁴⁰ (SAM 2022.11.21 r1), desenvolvida pelo NREL, que permite a realização de análises técnico-económicas de sistemas de aproveitamento de energia proveniente de fontes renováveis. Esta aplicação pode simular diversos sistemas de energias renováveis, entre os quais:

- Sistemas fotovoltaicos, desde pequenos sistemas residenciais de cobertura até sistemas de larga escala de produção de eletricidade centralizada;
- Aplicações de baterias de armazenamento com iões de lítio, chumbo/ácido ou baterias de oxidação/redução;
- Sistemas de energia solar de concentração para produção de eletricidade, incluindo coletores cilindro-parabólicos, torres solares e coletores de Fresnel linear;
- Sistemas para calor de processo industrial com coletores cilindro-parabólicos ou de Fresnel linear;
- Sistemas de energia eólica, desde aerogeradores individuais a parques eólicos;
- Sistemas de energia das ondas e das marés;
- Aquecimento solar de água;
- Células de combustível;
- Produção de eletricidade de fonte geotérmica;
- Produção de eletricidade por combustão de biomassa;
- Sistemas fotovoltaicos de alta concentração.

Para simulação do desempenho das centrais CSP típicas anteriormente descritas, foi utilizado o modelo "CSP Physical Trough", tendo sido efetuada uma calibração deste modelo a partir da configuração da central Andasol-1. Para tal, procedeu-se ao desenho do sistema, através da definição das principais características do mesmo (Figura 5.5). Na Tabela 5.2 apresentam-se as principais características definidas no referido modelo⁴⁶.

⁴⁶ https://sam.nrel.gov/images/web_page_files/sam_case_csp_physical_trough_andasol-1_2013-1-15.pdf

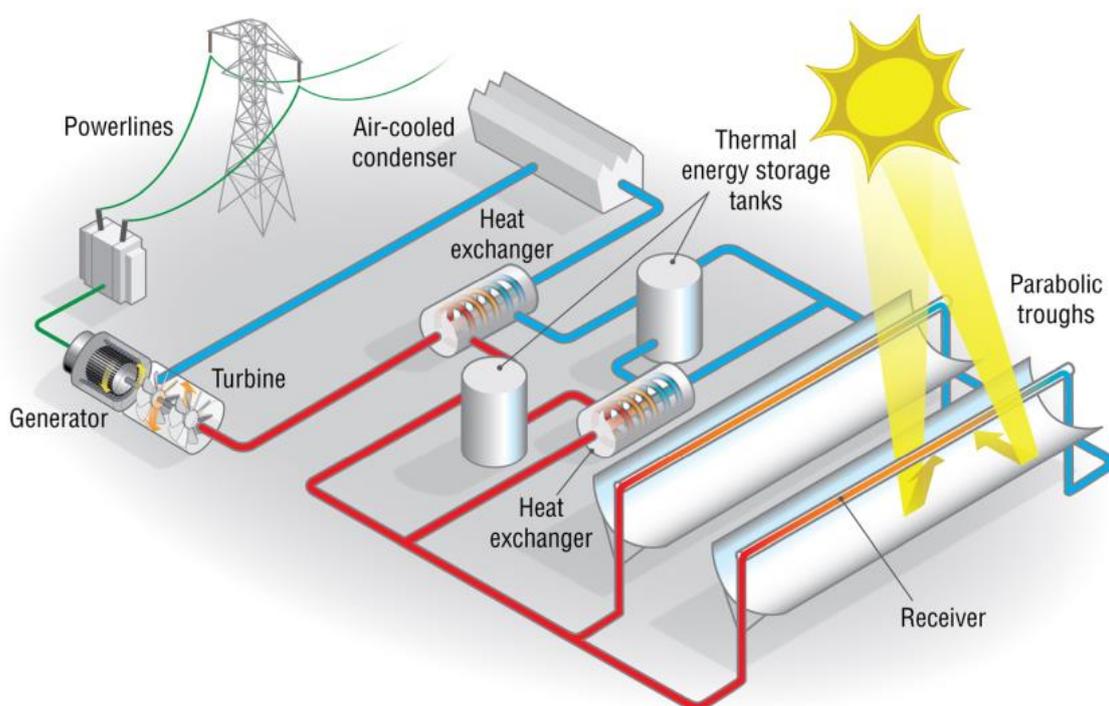


Figura 5.5 - Configuração esquemática do sistema solar de concentração simulado

Tabela 5.2 - Principais características de central Andasol-1 definidas no modelo

Menu	Variável	Andasol-1
Clima	Localização	Granada (EPW)
Campo Solar	Abertura (Opção 2)	510 120 m ²
	Irradiação de projecto	700 W/m ²
	Fluído primário (HTF)	Dowtherm A ⁴⁷
	Temperatura de projeto à saída do loop	393 °C
	Número de SCA por loop	4
Coletores (SCAs)	Nome da configuração	EuroTrough ET150
Recetores (HCEs)	Nome da configuração (Tipo 2)	Solel UVAC 3
Ciclo de potência	Capacidade de projeto - bruta	55 MW
	Eficiência de conversão do ciclo	0,381
	Setpoint de temperatura do aquecimento auxiliar	250 °C
	Tipo de condensador	Evaporativo
	Modo de despacho fóssil	Desativado
Armazenamento de Energia	Horas de produção autónoma à carga máxima	7,5 h
	Altura do tanque	20 m
	Despacho	100%
Ocupação de solo	Factor de ocupação de solo	26,44%

O modelo “CSP Physical Trough” requer a definição de diversos outros parâmetros cujos valores foram mantidos de acordo com as definições base da aplicação. A configuração

⁴⁷ <https://www.dow.com/documents/en-us/app-tech-guide/176/176-01337-01-dowtherm-a-heat-transfer-fluid-technical-manual.pdf>

resultante apresenta um múltiplo solar de 1,75. Para a central de 100 MW, foi mantido o valor de múltiplo solar, bem como as horas de funcionamento autónomo, alterando-se apenas a capacidade bruta da central para 111 MW, correspondentes a 99,9 MW de potência nominal útil. Nas condições indicadas, o fator de capacidade obtido foi de 35,44% e 35,36%, respetivamente, para os casos de 50 MW e 100 MW.

5.2.3 Ficheiros climáticos

A simulação do desempenho anual da central CSP com a aplicação SAM requer dados meteorológicos horários. Deste modo, para determinar o fator de capacidade de cada uma das centrais em cada patamar de DNI, foram selecionadas 5 localizações com valores de DNI aproximadamente a meio de cada patamar para as quais se extraíram séries de dados horários correspondentes a um ano meteorológico típico. A Tabela 5.3 descreve as principais características das localizações selecionadas.

Tabela 5.3 – Características das localizações selecionadas

Patamar DNI (kWh/m ²)	Valor médio DNI (kWh/m ²)	Localização	Latitude	Longitude
1800 a 1900	1854,20	Torres Novas	39,477°N	8,594°W
1900 a 2000	1945,45	Brotas	38,870°N	8,157°W
2000 a 2100	2047,65	Cuba	38,165°N	7,894°W
2100 a 2200	2153,50	Lagoa	37,134°N	8,453°W
>2200	2244,75	Benafatima	37,376°N	8,435°W

As características das diversas localizações foram obtidas através da aplicação Meteororm (v8.1.4.25305). Esta aplicação permite gerar anos típicos representativos para qualquer localização. A base de dados é constituída por mais de 8 000 estações meteorológicas, cinco satélites geoestacionários e climatologia global calibrada por aerossóis e os dados para qualquer localização são obtidos por modelos de interpolação com resultados de elevada precisão para qualquer ponto do globo. Para o presente estudo, as séries de dados foram criadas com periodicidade horária. Entre as estações meteorológicas utilizadas para a geração das séries utilizadas incluem-se Évora, Faro, Huelva, Badajoz, Lisboa, Castelo Branco e Coimbra (assinalas a verde na Figura 5.6). Na mesma figura é possível observar a localização das referências para os patamares de DNI (círculos a laranja), com os respetivos valores de DNI.

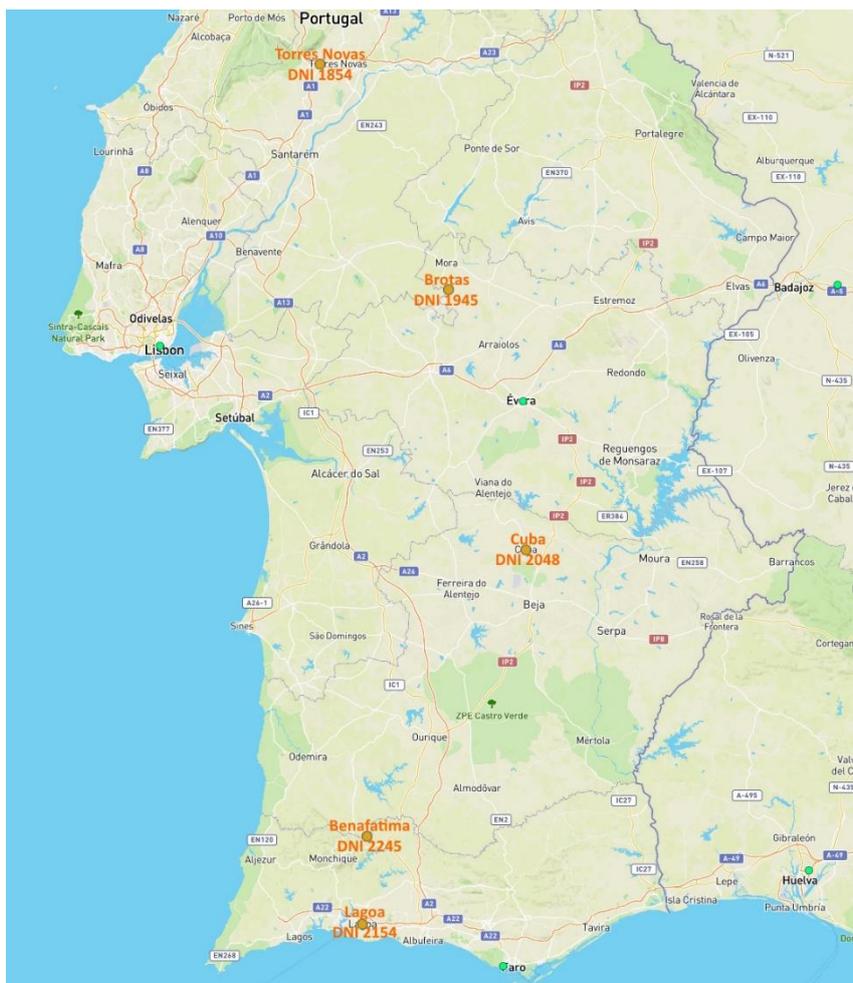


Figura 5.6 - Localização das referências para os patamares de DNI

5.3 Potencial técnico de CSP

Foram realizadas simulações horárias para o ano climático de referência e para cada localização. Dos resultados obtidos, apresentam-se na Tabela 5.4 os valores de produção elétrica e fator de capacidade para cada tipo de central e para cada localização.

Tabela 5.4 - Resultados das simulações para CSP

	DNI 1854	DNI 1945	DNI 2048	DNI 2154	DNI 2245
50 MW					
Produção Anual (MWh)	136,9	143,1	152,2	166,2	168,2
Fator de capacidade	31,6%	33,0%	35,1%	38,3%	38,8%
100 MW					
Produção Anual (MWh)	274,4	287,6	307,0	334,0	338,6
Fator de capacidade	31,4%	32,9%	35,1%	38,2%	38,7%

Da análise à Tabela 5.4 resulta que, mantendo tudo o resto constante, o fator de capacidade não depende da potência da central implantada, mas das condições de funcionamento. Essa situação é apresentada graficamente na Figura 5.7, tendo-se determinado a regressão que permite estimar o fator de capacidade para a central e

gama de DNI estudada, com o quadrado da correlação (R^2) dos dados a assumir o valor de 98,32%. A função da regressão é também apresentada na referida figura.

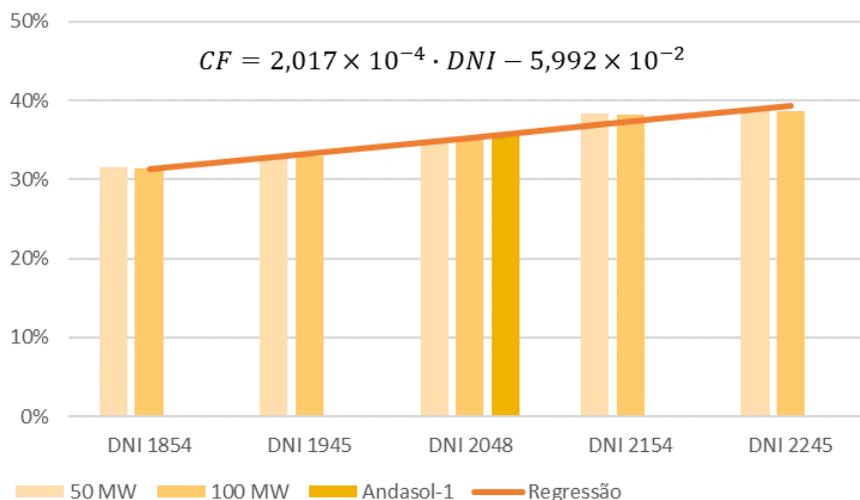


Figura 5.7 - Fator de capacidade vs DNI

Avaliando a Figura 5.4, verifica-se que a seleção de polígonos de 4 km², correspondentes à implantação de centrais de 100 MW, apresenta uma redução global de 0,9% da área disponível, em relação àquela obtida com polígonos de 2 km². Desta forma, optou-se por assumir o cenário com tendência mais recente e mais desfavorável em termos de área, procedendo-se à determinação do potencial para centrais de 100 MW.

Decorrente dos valores disponíveis e da metodologia descrita, **o potencial de produção elétrica com recurso tecnologia centrais CSP é de 183,61 TWh e o potencial de potência instalada é de 62,6 GW**, para um fator de capacidade global de 33,46%.

5.4 Notas finais sobre estimativa do potencial CSP

Este estudo é uma proposta de determinação do potencial técnico de produção de energia elétrica com recurso a tecnologias de conversão de energia solar por via térmica e da respetiva capacidade instalada. Deixam-se, ainda, algumas notas em relação a algumas opções tomadas para a realização do mesmo.

Este estudo não considera outras tecnologias de CSP, que, tendencialmente, apresentam fatores de capacidade superiores, nomeadamente as torres solares, com fluido primário de sais fundidos e temperaturas de operação superiores às centrais cilindro-parabólicas consideradas⁴². Esta situação advém por ainda não existirem casos de estudo tipificados.

Este estudo apenas se foca na produção de eletricidade por via termoelétrica, não efetuando qualquer abordagem ao calor de processo com recurso à tecnologia de CSP (SHIP).

Por fim, esta análise não aborda o potencial económico da implementação de centrais solares termoelétricas. A este respeito, encontra-se identificado um problema relacionado com a metodologia de cálculo dos modelos económicos regulares (e.g. LCoE), decorrente da utilização de sistemas de armazenamento de energia nas centrais

de CSP. Os sistemas de armazenamento incrementam os custos, que se encontram contabilizados nos modelos económicos, mas, por outro lado, apresentam benefícios, nomeadamente os associados à “despachabilidade” da energia elétrica produzida e prestação de serviços de sistema, contribuindo para a estabilização do sistema electroprodutor e mitigando as variações de disponibilidade das fontes renováveis variáveis no tempo. Este benefício, atualmente, não é contabilizado nos modelos e a sua inclusão não é consensual, nem a forma de o fazer. Desta forma, o potencial económico da implementação de centrais solares termoelétricas deverá ser antecedido do desenvolvimento ou adaptação de um modelo económico que permita refletir os custos, bem como os benefícios, associados à capacidade de armazenamento e “despachabilidade” inerentes ao sistema implementado.

6 Eólica

A estimativa do potencial técnico de eólica encontra-se desagregado para eólica onshore e offshore. O ponto de partida é o potencial do recurso em Portugal onshore e offshore nomeadamente a partir das seguintes fontes:

- › **Atlas do Potencial eólico de Portugal continental**⁴⁸ que ilustra, para as várias regiões do país, o recurso energético eólico e as consequentes estimativas da produção eólica, bem como outros parâmetros estatísticos relevantes. Constitui uma poderosa ferramenta, não só para a avaliação prévia do potencial eólico, mas também como instrumento auxiliar na decisão de futuros investimentos em campanhas experimentais de caracterização eólica e planeamento de redes elétricas e outras infraestruturas.
- › **Mapa do potencial energético de energias marinhas em Portugal continental do Projeto OffshorePlan**⁴⁹. O projeto contribuiu para o desenvolvimento da exploração de energia renovável offshore na costa portuguesa até à batimétrica de 300m através da identificação de recursos em alta resolução espacial de 1km × 1km.

6.1 Eólica onshore

Tal como referido, o Atlas do Potencial Eólico de Portugal continental permite ilustrar para as diversas regiões do país, o recurso energético do vento e as consequentes estimativas de produção eólica, bem como outros parâmetros relevantes para os aproveitamentos desta forma de energia. Constitui assim, uma poderosa ferramenta, não só para a avaliação prévia do potencial energético do vento, mas também como instrumento auxiliar de decisão de futuros investimentos em campanhas experimentais para caracterização do vento e de planeamento de redes elétricas e demais infraestruturas.

Além da aplicação no domínio da Energia Eólica configura-se a utilidade deste produto em diversas vertentes, tais como:

- › obtenção da velocidade do vento para aplicações no domínio do ambiente e ordenamento do território (e.g. dispersão de poluentes, adequação do coberto vegetal e desafetação de áreas da REN para produção de energia elétrica);
- › seleção de áreas adequadas ao desenvolvimento de projetos eólicos;
- › aplicações turísticas e de lazer (e.g. informação para prática de desportos como golfe, parapente, voo livre e náuticos);
- › estudos de ventilação natural, e na contribuição para a regulamentação de segurança de estruturas.

⁴⁸ <https://geoportallneg.pt/mapa/?lang=en#>

⁴⁹ <https://offshoreplan.lneg.pt/>

Assim, neste trabalho o Atlas do Potencial Eólico de Portugal continental constituiu a base de trabalho para a identificação das zonas do país com recurso energético adequado à instalação de turbinas eólicas.

Conforme referido no capítulo 2, também na determinação do potencial técnico eólico foi reunido um conjunto de informações territoriais que, pela sua natureza, irão condicionar a instalação de parques eólicos, tais como as áreas ambientais sensíveis (exclusão de áreas protegidas) ou outras áreas de interesse patrimonial ou militar no território (e espaço marinho no caso da eólica offshore tratado mais adiante neste capítulo).

Para o caso do potencial eólico onshore considerou-se ainda a ocupação do território no que respeita a densidade populacional, que também serve de indicador crucial para se saber a fração de espaço livre no território.

Há também a referir que foi definido um valor limite mínimo do ponto de vista energético (ex.: recurso acima de um determinado valor) para que o recurso eólico seja favorável para a determinação do potencial técnico eólico. Todas estas informações foram combinadas no SIG ArcGIS para aferir quais as áreas livres, ou seja, as áreas a considerar para instalação técnica do potencial eólico.

Para a estimativa do potencial técnico *onshore*, foram assumidas as seguintes premissas relacionadas com o **recurso energético e tipo de tecnologia**:

- › **Recurso energético** do vento a partir do Atlas do Potencial eólico onshore – Versão 1.2 para uma altura de simulação de 100m;
- › **Aerogerador de referência** de 3,6 MW de potência nominal e 117m Diâmetro;
- › **Número mínimo de horas equivalentes à potência nominal** (NEPs) de 2300h/ano;
- › **Velocidade média do vento** maior ou igual a 6,0m/s;
- › **Densidade de instalação** de 6,6MW/km².

Na Figura 6.1 apresentam-se os mapas de NEPs e de velocidade do vento considerados.

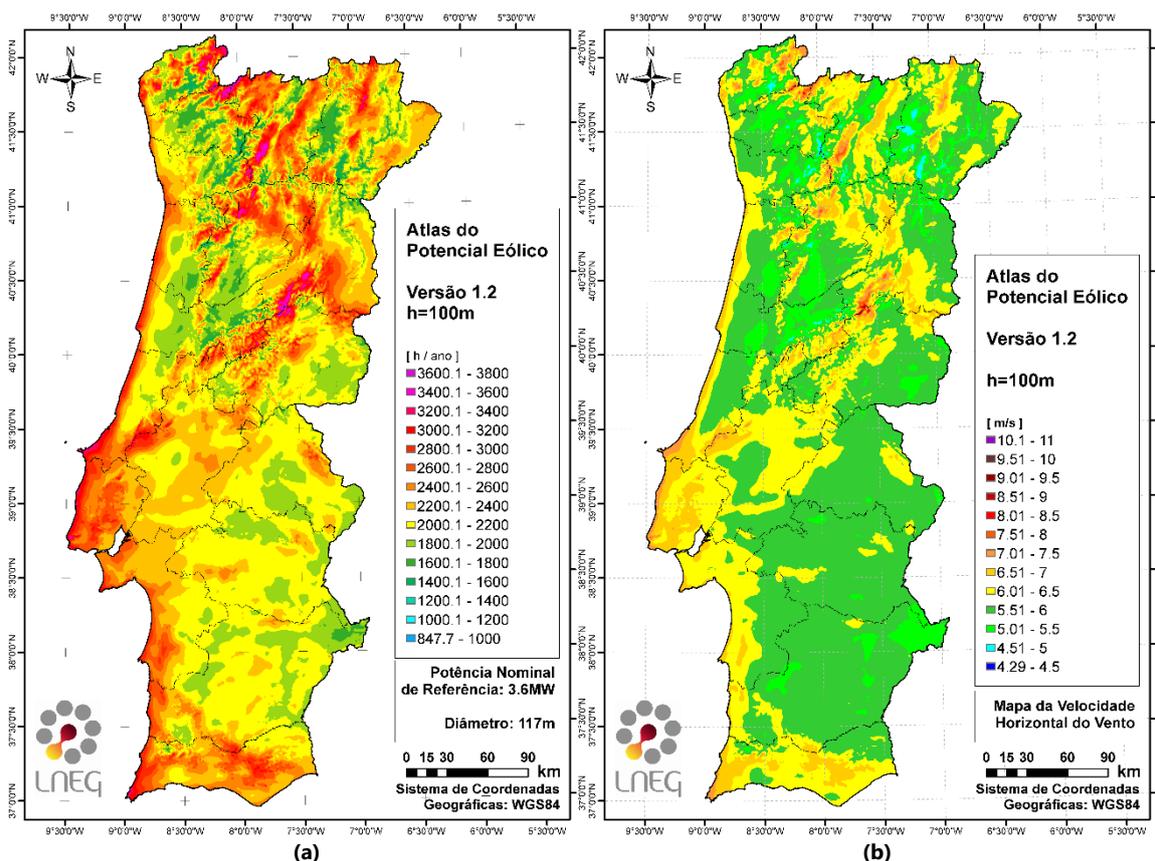


Figura 6.1 -- Atlas do Potencial Eólico de Portugal continental, Versão 1.2, h=100m, (a) - Mapa NEPS-Número de horas equivalente à potência nominal, (b) - Mapa da velocidade horizontal do vento

As **condicionantes orográficas** estabelecidas para a seleção das áreas de interesse foram declive inferior a 35%.

No que respeita a **condicionantes de exclusão de localização de tecnologias renováveis** foram tidas em conta as seguintes:

- › **Áreas da Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP):** Excluídas com exceção dos Parques Naturais onde se considerou ocupação máxima de 1% da área do parque, tendo em conta os casos de exceção existentes com parques eólicos localizados neste tipo de áreas (ex. parque eólico de Candeeiros no Parque Natural da Serra De Aires e Candeeiros);
- › **Outras áreas classificadas e/ou ambientalmente sensíveis,** nomeadamente: Reservas da biosfera UNESCO; Sítios RAMSAR foram excluídas com exceção dos SIC, ZPE e Rede Natura 2000 onde se considerou ocupação máxima de 25% da área;
- › **Áreas de interesse florestal:** Regime Florestal e Outras Áreas (REFLOA) regime de proteção total – Excluído.

É de notar que a percentagem de ocupação máxima da área considerada acima, teve em conta a interceção de todas as áreas para salvaguardar a sobreposição de zonas. Ou seja, se há por exemplo uma fração da área de Rede Natura 2000 que se encontra em REFLOA, a mesma não é considerada (é excluída).

Dado que a ocupação territorial deve ter em conta a densidade urbanística e populacional das diversas regiões dos concelhos, foram ainda aplicados fatores de ocupação por concelho conforme a classificação apresentada na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Ocupação sócio-económica por região

Tipo de ocupação	Fator a aplicar
Baixa	0,20
Média	0,10
Intensiva	0,05
Muito intensiva	0,00

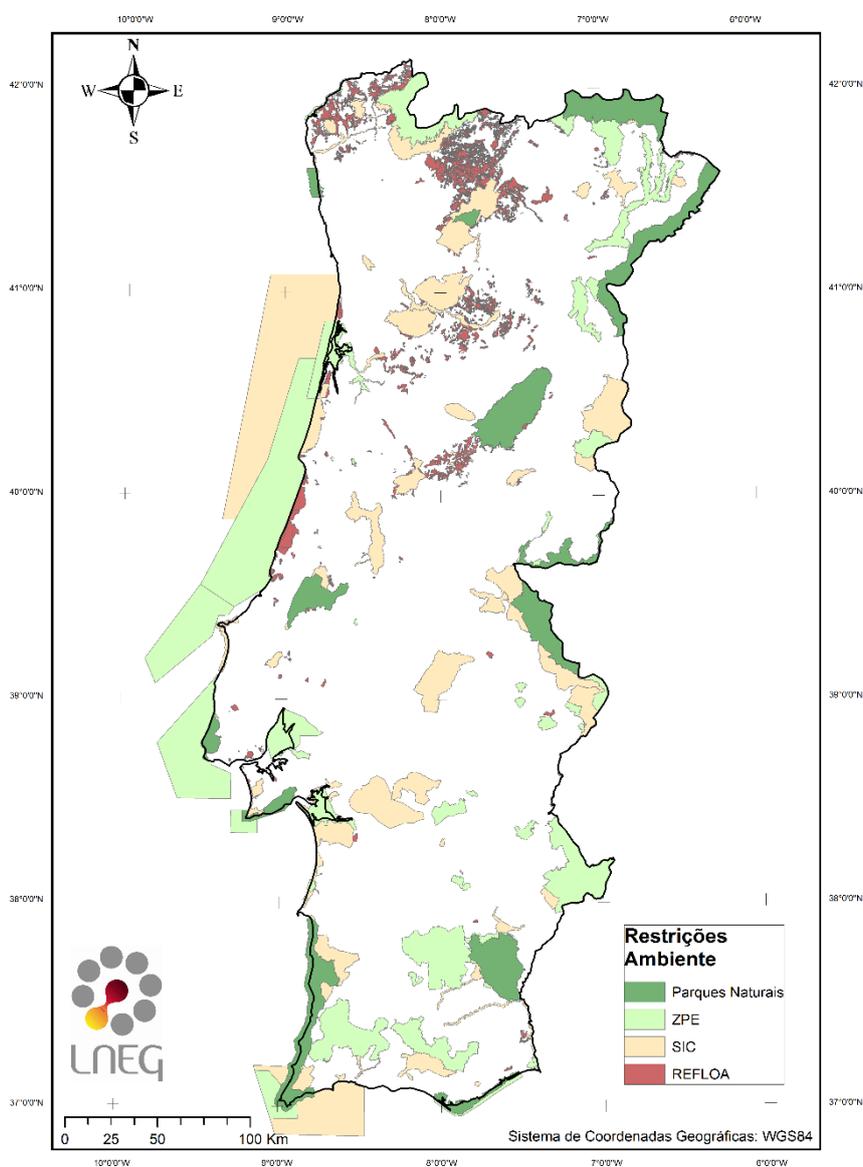


Figura 6.2 – Mapa das condicionantes de exclusão utilizadas para a determinação do potencial técnico eólico onshore

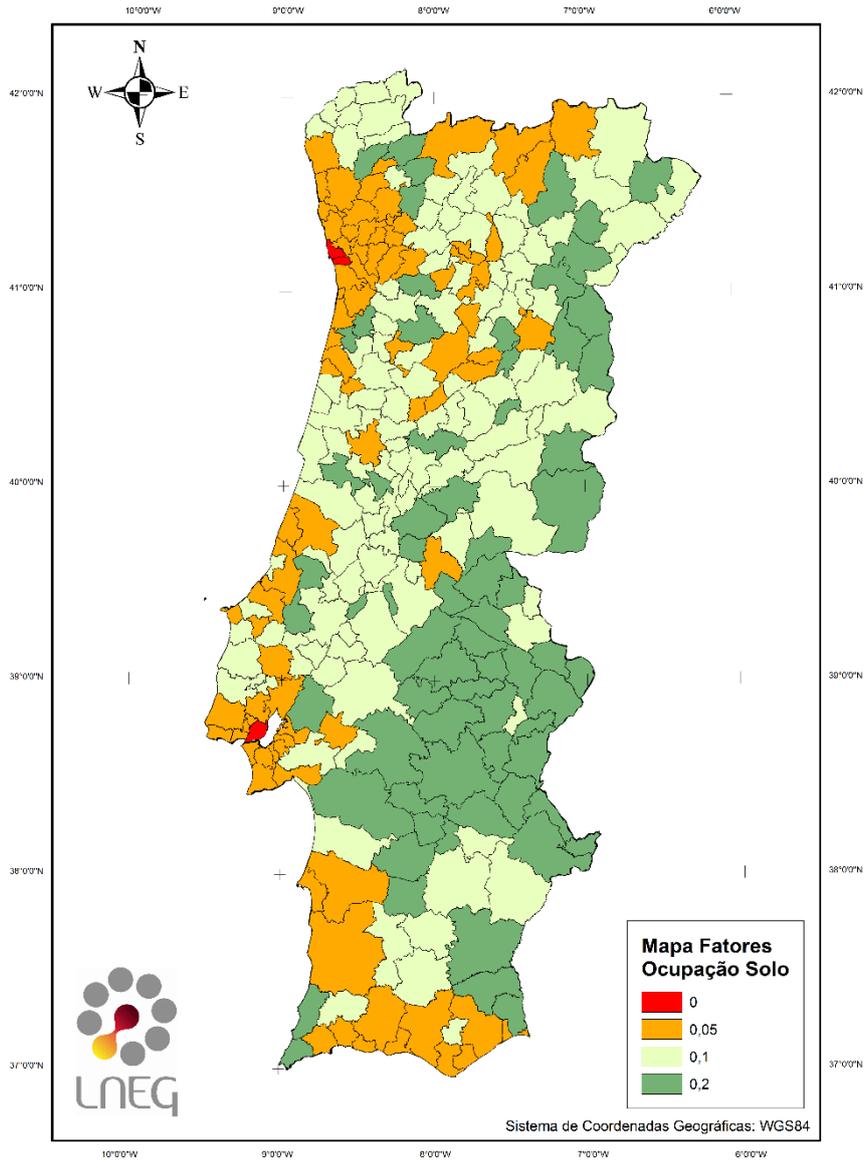


Figura 6.3 – Mapa dos fatores de ocupação do solo por município assumidos para a determinação do potencial técnico eólico onshore

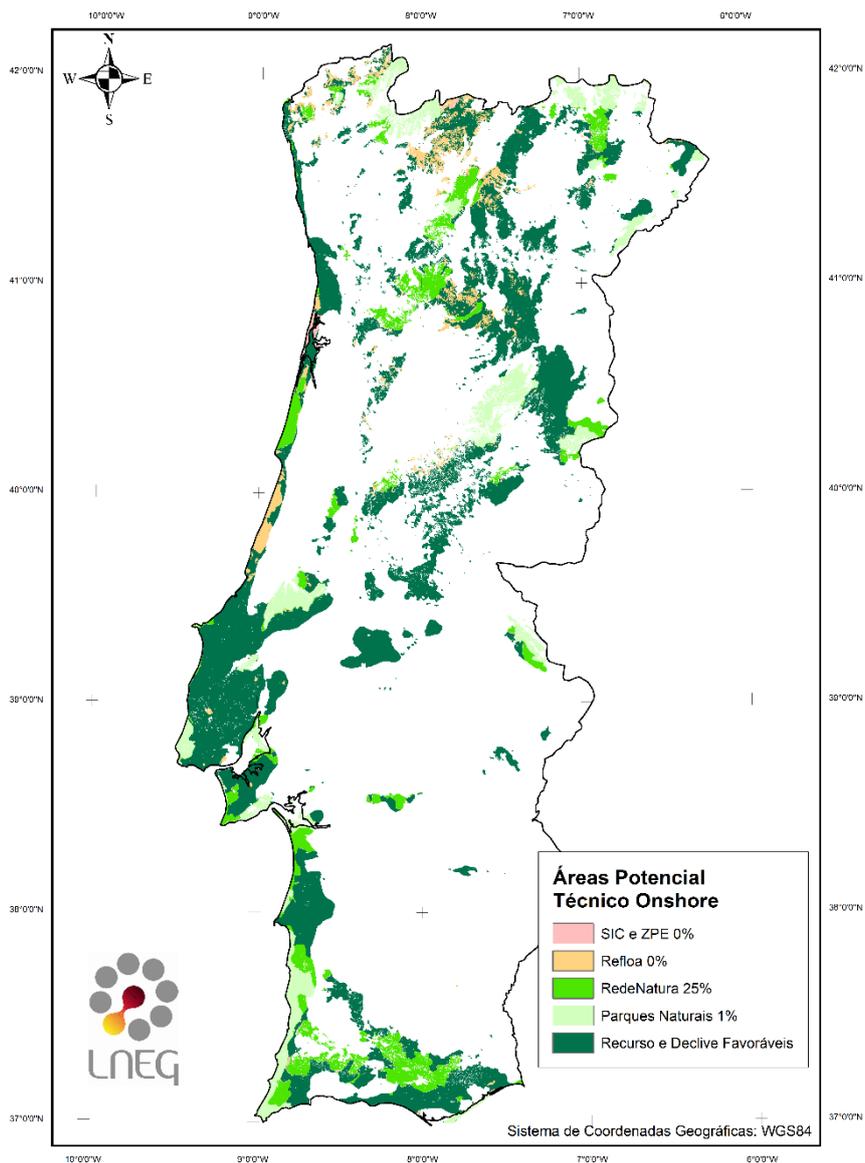


Figura 6.4 – Mapa das áreas do potencial técnico eólico onshore assumindo 25% de ocupação máxima em áreas Rede Natura 2000 e 1% de ocupação máxima em áreas de parques naturais (que não sejam parte do REFLOA ou das outras áreas classificadas consideradas)

Para a identificação das zonas de interesse, foram aplicadas as seguintes expressões dentro do SIG:

$$\text{se } NEPs \geq 2300h; NEPs = 1$$

$$\text{se } NEPs < 2300h; NEPs = 0$$

$$\text{se } v \geq 6.0 \frac{m}{s}; v = 1$$

$$\text{se } v < 6.0 \frac{m}{s}; v = 0$$

$$\text{se } dec < 35\%; dec = 1$$

$$\text{se } dec \geq 35\%; dec = 0$$

Os mapas são assim reclassificados em "0" e "1" e multiplicados de forma a obter apenas as zonas de Portugal que respeitam as três condições impostas.

O mesmo procedimento é aplicado aos mapas de condicionantes de exclusão, mas desta vez, reclassificando toda a área ambiental com o valor "0" e as restantes zonas com o valor "1", sendo, posteriormente, o mapa resultante multiplicado pelo mapa de zonas energeticamente viáveis.

Com este procedimento, é possível identificar de forma georreferenciada todas as zonas de interesse para o desenvolvimento de projetos eólicos.

Os últimos passos, são a aplicação dos fatores territoriais para a estimativa das áreas úteis para o desenvolvimento de projetos de energia eólica e estimar o potencial técnico.

O potencial técnico onshore teve como base uma densidade de potência obtida a partir do pressuposto que o espaçamento entre turbinas eólicas deve obedecer a uma distância mínima de 5D na direção perpendicular ao vento dominante e 8D na direção paralela, o que corresponde a cerca de 6,6 MW/km².

Com esta metodologia foi possível estimar um potencial técnico de **15.7 GW** para Portugal continental.

6.2 Eólica Offshore

No caso do potencial técnico offshore, as premissas assumidas estão integralmente focadas nas restrições ambientais costeiras e zonas de utilização do espaço marinho que, pela sua natureza, são interditas à instalação de parques eólicos offshore. Há ainda que contar com o impacto da atividade económica e de recreio nas zonas costeiras bem como o impacto visual dos parques eólicos offshore.

Do ponto de vista da tecnologia offshore, há que considerar diferenças entre fundações fixas e flutuantes, pois estas dependem do tipo de fundo marinho e batimetria. Assim sendo, as seguintes premissas foram assumidas para o cálculo do potencial técnico offshore:

- › **Recurso energético do vento**, estimado com base no Atlas do Potencial eólico offshore – Projecto OffshorePlan para uma altura de simulação: 100m;
- › **Aerogerador de referência**: 6,0 MW de Potência Nominal e diâmetro de 152m (fundação fixa) e 8,0 MW de Potência Nominal e diâmetro de 164m (fundação flutuante);
- › **Número mínimo de horas equivalentes à potência nominal**: 3 200h/ano (fundação fixa) e 3 500h/ano (fundação flutuante);
- › **Densidade de instalação**: 5,5 MW/km² (fundação fixa) e 4,0 MW/km² (fundação flutuante);
- › **Condicionantes batimétricas**: declive inferior a 4° (7%), batimetria inferior a 50m para tecnologia fixa e batimetria entre 50m e 500m para tecnologia flutuante;

- › **Condicionantes relacionadas com minimização do impacto visual:** distância à costa: 5 milhas náuticas (caso da tecnologia fixa) 10 milhas náuticas (caso tecnologia flutuante);
- › **Condicionantes relacionadas com aspetos ambientais no espaço marinho:** foram excluídas as áreas em zonas OSPAR, SIC e ZPE, bem como de aquicultura;
- › **Condicionantes relacionadas com outras utilizações do espaço marinho:** foram excluídas as zonas piloto (São Pedro de Moel e Viana Castelo); cabos submarinos, fundeadouro, condutas abastecimento, boias marítimas, corredores de navegação e áreas de navegação; zonas militares, falhas sísmicas e fundo rochoso.

Neste caso, os mapas de entrada para este trabalho encontram-se representados nas figuras seguintes.

No que diz respeito à morfologia do fundo marinho, teve-se em conta a profundidade e o declive, tendo-se para tal definido os critérios conforme as expressões abaixo:

$$\text{Se } Dec \leq 4^{\circ} Dec = 1$$

$$\text{Se } Dec > 4^{\circ} Dec = 0$$

Após a remoção de todas as áreas abrangidas pelas restrições ambientais e do espaço marinho, foi ainda inserido como restrição o mapa do fundo rochoso, convertido em mapa binário de 0 e 1 para ambas as tecnologias fixa e flutuante obedecendo ao seguinte critério:

$$\text{Se } fundo = rocha \text{ então } fundo = 0 \text{ senão } fundo = 1$$

Foram acauteladas zonas de proteção à faixa costeira, não só pela proteção das atividades económicas junto da costa, mas também no que respeita ao impacte da visibilidade dos parques eólicos offshore. Assim, e dependendo do tipo de tecnologia de fundação fixa ou flutuante, foi assumido respetivamente, um distanciamento de 5 milhas náuticas e 10 milhas náuticas à costa. Traduzindo esta medida em mapa de distância, e convertida em mapa binário de 0 e 1, aplicou-se o seguinte critério:

- Tecnologia fixa:

$$\text{Se } distância \leq 5 \text{ milhas náuticas então } distância = 0 \text{ senão } distância = 1$$

- Tecnologia flutuante:

$$\text{Se } distância \leq 10 \text{ milhas náuticas então } distância = 0 \text{ senão } distância = 1$$

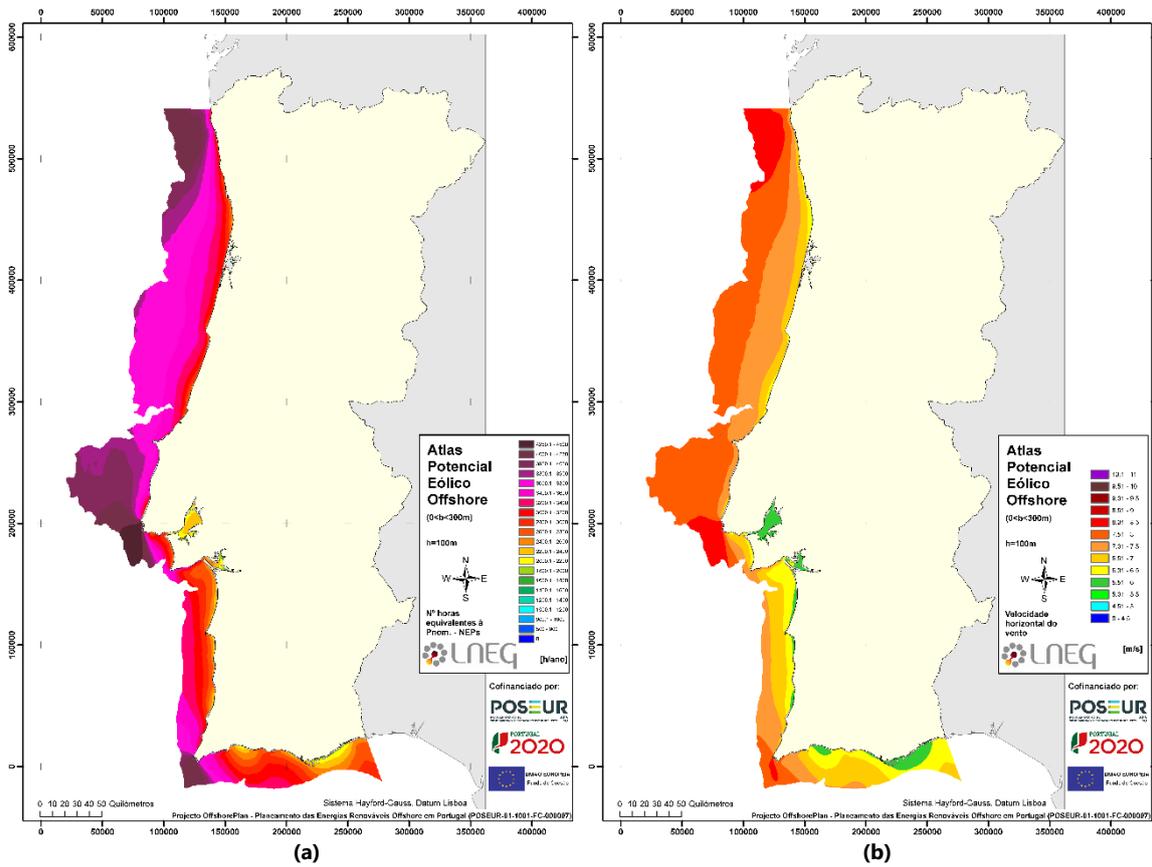


Figura 6.5 – Atlas do Potencial Eólico Offshore de Portugal continental, Projeto OffshorePlan, h=100m, (a) - Mapa NEPS-Número de horas equivalente à potência nominal, (b) - Mapa da velocidade horizontal do vento

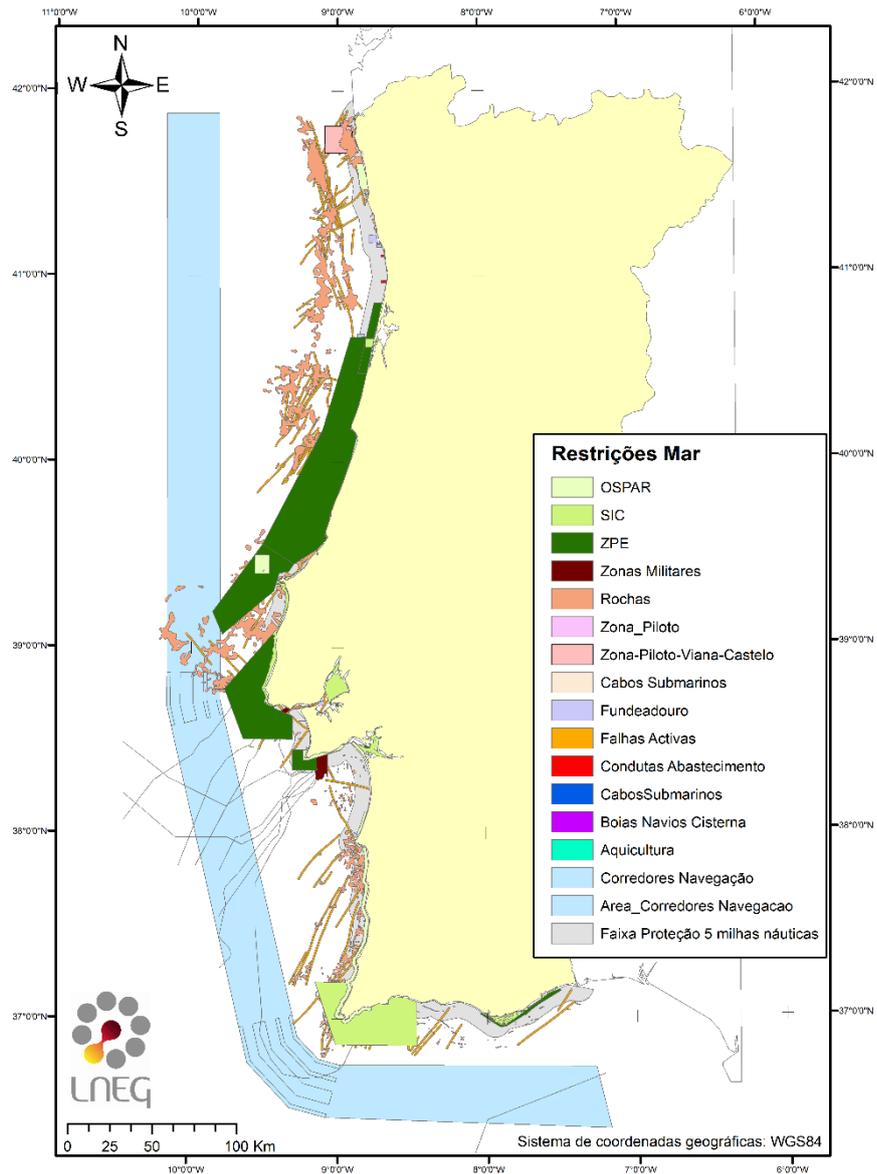


Figura 6.6 – Mapa das restrições marinhas para a determinação do potencial técnico eólico offshore

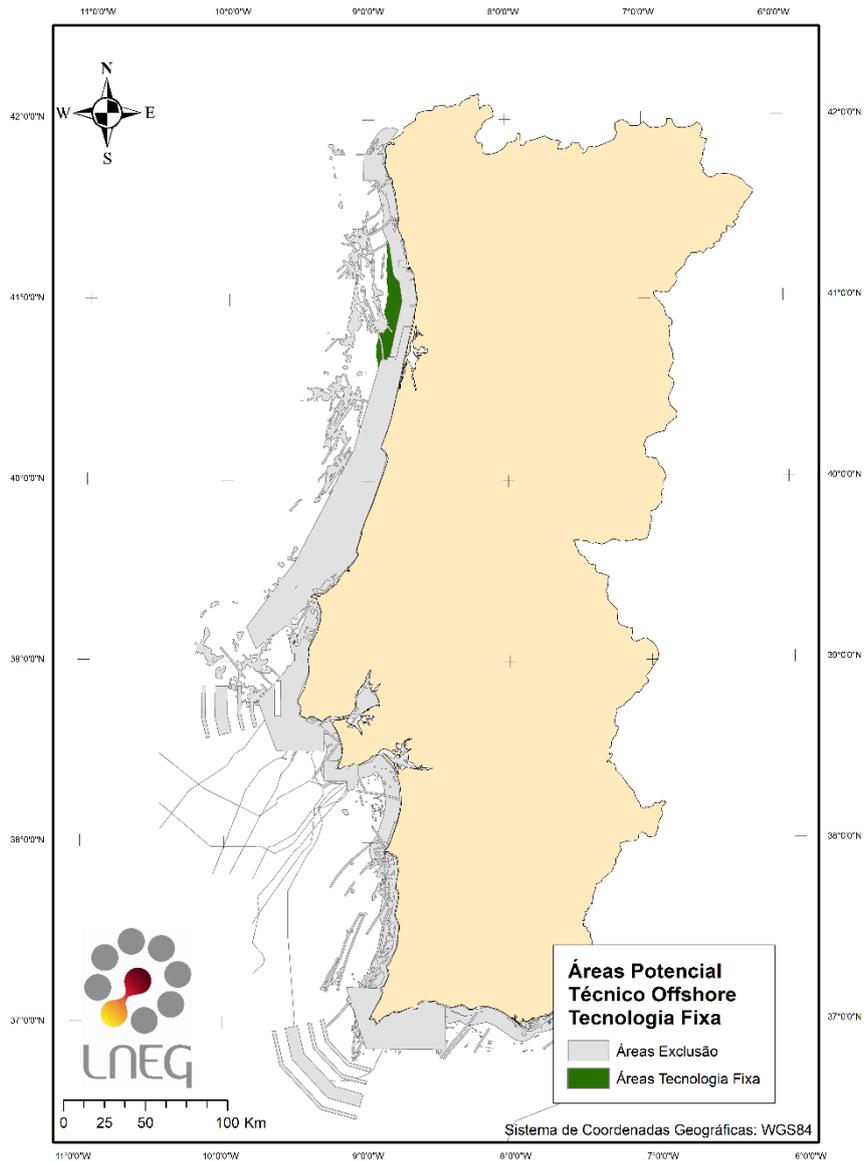


Figura 6.7 – Mapa das áreas do potencial técnico eólico offshore – Tecnologia Fixa

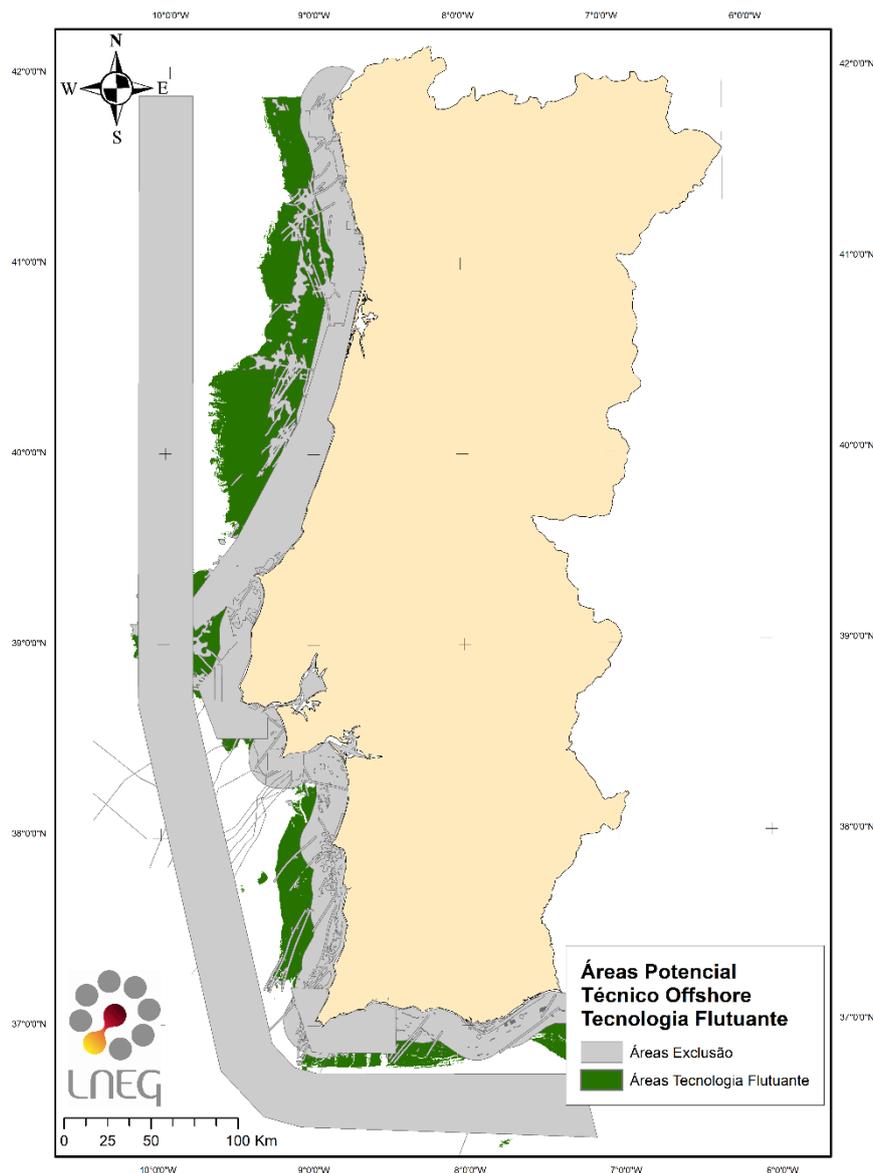


Figura 6.8 – Mapa das áreas do potencial técnico eólico offshore – Tecnologia Flutuante

Considerando uma densidade de capacidade de 4 MW/km^2 para a componente offshore flutuante e $5,5 \text{ MW/km}^2$ para a componente offshore fixa, tendo-se obtido, respetivamente, um total de **36GW** e **2GW**, **totalizando 38GW para a tecnologia eólico offshore total.**

6.3 Síntese do potencial técnico eólico

Na Tabela 6.2 apresenta-se o resumo das condições aplicadas à tecnologia eólica no presente trabalho.

Tabela 6.2 – Resumo das condições aplicadas para estimativa do potencial técnico de eólico onshore e offshore

	Onshore	Offshore fixa	Offshore flutuante
Potencial técnico	15,7 GW	2,0 GW	36,0 GW
NEPS	NEPS >= 2 300h/ano e Vel >= 6m/s	NEPS >= 3 200h/ano	NEPS >= 3 500h/ano
Declive	Declive terreno <= 35%	Declive batimetria <= 4° e batimetria <= 50m	Declive terreno <= 4° e 50m < batimetria < 500m
Condicionantes	Fatores de ocupação/concelho (entre 5% e 20%) de acordo com a densidade populacional (2019)	Linha de visibilidade da costa – <i>buffer 5 milhas náuticas</i>	Linha de visibilidade da costa – <i>buffer 10 milhas náuticas</i>
	Parques Naturais 1% ocupação	Restrições ambientais e territoriais totalmente excluídas	Restrições ambientais e territoriais totalmente excluídas
	REFLOA 0% ocupação	Fundo rochoso - restritivo	Fundo rochoso – restritivo
	Natura 2000 25% ocupação	-	-
Densidade territorial da tecnologia	Capacidade a instalar: 6,6 MW/km ² (Pn=3,6 MW)	Capacidade a instalar: 5,5 MW/km ² (Pn=6 MW)	Capacidade a instalar: 4,0 MW/km ² (Pn=8 MW)

7 Bioenergia

A avaliação do potencial técnico da Biomassa para a Bioenergia em Portugal foi realizada em dois segmentos consoante o seu uso final: i) produção de eletricidade, calor e arrefecimento e, ii) produção de biocombustíveis (combustíveis líquidos para transportes).

7.1 Potencial de biomassa para a produção de eletricidade e calor

Portugal possui um potencial considerável de biomassa residual (florestal, agrícola e agroindustrial, resíduos urbanos biodegradáveis, etc.) bem como biomassa de origem natural (matos e incultos) que podem ser valorizadas energeticamente, nomeadamente para a produção de eletricidade, de calor e de arrefecimento, com benefícios de ordem ambiental, económica e social.

A Tabela 7.1 apresenta a quantidade (e massa e a sua conversão em energia) de recurso endógeno em biomassa das fileiras florestal, agrícola e agroindustrial em Portugal. Apesar da sua importância, nesta tabela não se encontram referidos valores de avaliação do recurso relativo à produção de energia em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) municipais e industriais por indisponibilidade de dados.

Tabela 7.1 – Recurso endógeno de biomassa para a produção de eletricidade, calor e arrefecimento

Tipologia do recurso de biomassa	Quantidade total (kton)	Quantidade total (TWh)
Biomassa florestal, da qual	7 300,0	38,5
Sobrantes industriais	5 300,0	
Resíduos Florestais	2 000,0	
Biomassa agrícola, da qual	2 788,5	14,7
Sobrantes de milho	558,8	
Palha de arroz	193,0	
Sobrantes de girassol	50,8	
Polpa de citrinos	551,0	
Cascas de frutos secos	36,3	
Podas de oliveiras	443,1	
Podas de vinhas	955,4	
Resíduos agroindustriais	330,0	1,7
Resíduos urbanos (valorização energética, compostagem e digestão anaeróbia)	1 381,0	2,8
Total	-	57,7

A metodologia aplicada para a obtenção das estimativas das quantidades de recurso disponíveis teve por base, essencialmente, dados oficiais de produção agrícola, agroindustrial e de sobrantes de origem florestal^{50, 51, 52}.

Atualmente encontram-se a operar em Portugal 35 instalações de produção dedicada de eletricidade a partir de biomassa, das quais 14 funcionam como unidades CHP (*Combined Heat & Power*) para uma capacidade total instalada de 694,10 MW. As centrais que funcionam em cogeração, com aproveitamento da energia térmica em aplicações industriais ou residenciais, correspondem a 64 % da capacidade total instalada (441,48 MW).

De referir também a existência de 27 unidades industriais de produção de *pellets* cuja capacidade total instalada é de 541,25 MW (4 330 GWh). Os vários Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU) apresentam uma capacidade total instalada de 95,75 MW (766 GWh).

A capacidade instalada para bioenergia produzida em 27 ETAR é de 5,89 MW (47,1 GWh).

Em resumo, Portugal dispõe atualmente de uma capacidade instalada de 1,34 MW para a produção de eletricidade, calor e arrefecimento a partir de biomassa.

7.2 Potencial de biomassa para a mobilidade

Atualmente, em Portugal, a obtenção de bioprodutos a partir da biomassa com aplicação na mobilidade, resulta quase na totalidade na produção de biocombustíveis substitutos de gasóleo. Existe apenas uma unidade de produção de biometano obtido a partir da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, que considera utilizar este biocombustível no setor dos transportes.

Portugal tem uma capacidade instalada de 660 kton para a produção de ésteres metílicos de ácidos gordos (FAME), vulgarmente designados por biodiesel, e de óleo hidrogenado (HVO) obtido em coprocessamento com combustíveis fósseis. Até 2030 está prevista a instalação de mais uma unidade de produção de biodiesel (20 kton) e de duas grandes unidades de produção de HVO a 100% para substituição de gasóleo e *jet fuel* (470 kton).

Nos últimos anos a produção nacional de biocombustíveis para o mercado nacional tem-se situado na ordem de 300 kton, o que corresponde a 60 % do total incorporado no consumo. Contudo, no seu processamento, as unidades utilizam apenas 10% de matéria-prima com origem nacional e natureza residual.

Os produtores de biocombustíveis em Portugal utilizam maioritariamente materiais residuais (85 % em 2022) que se encontram explicitamente definidos na lista do Anexo I

⁵⁰ Grupo de Trabalho para o Estudo da Biomassa. 2016. Aproveitamento da biomassa para produção de energia - Caracterização da situação atual. Ministério da Economia, Lisboa.

⁵¹ Resolução do Conselho de Ministros n.º 163/2017 de 31 de outubro.

⁵² Observatório Técnico Independente, Castro Rego F., Fernandes P., Sande Silva J., Azevedo J., Moura J.M., Oliveira E., Cortes R., Viegas D.X., Caldeira D., e Duarte Santos F. - Coords. (2020) Redução do risco de incêndio através da utilização de biomassa lenhosa para energia, Assembleia da República. Lisboa. 22 pp

do Decreto-Lei n.º 84/2022 de 9 de dezembro, ou na lista positiva da ECS (Entidade Coordenadora do Cumprimento dos Critérios de Sustentabilidade), publicada no site do LNEG⁵³ e na qual se encontram descritas matérias-primas validadas em sede do Conselho Técnico da ECS. Essas matérias-primas residuais incluem:

- Parte A – Resíduos das indústrias de produção de esqualeno e de produção de margarinas, molhos, maioneses e snacks, oleínas ácidas da refinação química de óleos, glicerina bruta, lamas de depuração, e, em reduzida percentagem (2% em 2022), óleo extraído de efluentes da indústria de produção do óleo de palma.
- Parte B - OAU (óleos alimentares usados), resíduos dos separadores de gorduras da restauração, hotelaria e cafetarias e gorduras animais de categorias 1 e 2.

O Decreto-Lei n.º 84/2022 de 9 de dezembro transpõe para a legislação portuguesa as provisões da Diretiva REDII (Diretiva (UE) 2018/2001 de 11 de dezembro) relativas às metas a cumprir para a mobilidade que se apresentam na tabela seguinte, nomeadamente para os setores rodoviário, marítimo e aéreo, que são aqueles onde têm aplicação os biocombustíveis líquidos.

Tabela 7.2 – Metas definidas pelo Decreto-Lei n.º 84/2022 para a utilização de biocombustíveis e biogás no setor dos transportes em 2030

	Quota mínima	Limitação
Energias renováveis no transporte marítimo e aéreo	9%	
Combustíveis de baixo teor de carbono no transporte rodoviário	16%	
Biocombustíveis e biogás para transporte rodoviário produzidos de matérias residuais da parte A da lista do Anexo I	10%	
Biocombustíveis e biogás para transporte rodoviário produzidos de matérias residuais da parte B da lista do Anexo I		1,7 % (com pedido de aumento para 5%)
Biocombustíveis e biogás produzidos a partir de culturas alimentares		3,1%

Com base nas necessidades de matéria-prima que permitam atingir as metas previstas de substituição de combustíveis fósseis por derivados de biomassa descritas na Tabela 7.2, e nas disponibilidades de matéria endógena (Tabela), pode-se afirmar que continuará sempre a ser necessário realizar importação de grandes quantidades de matérias-primas para a produção nacional de biodiesel e HVO.

⁵³ <https://www.lneg.pt/wp-content/uploads/2023/07/Lista-positiva-de-materias-primas-para-dupla-contagem-edicao-n7-27-06-2023.pdf>

Tabela 7.3 - Potencial técnico para a produção de biocombustíveis e biogás em Portugal em 2030

	Recurso endógeno (kton)	Recurso endógeno (GWh)
Óleos de culturas alimentares – soja, girassol ou colza	200,0	2055,6
Resíduos oleaginosos (Anexo I)	132,1	1357,7

A produção de 200 kton de **culturas oleaginosas** como a colza, a soja ou o girassol para utilização na produção de biocombustíveis significará a utilização de cerca de 4-5% da área agrícola já utilizada⁵⁴ (Estatísticas sobre Portugal - Pordata). Dado que Portugal não tem unidades de produção de etanol para substituição de gasolina, o valor de 200 kton foi estabelecido considerando que apenas 2/3 do limite de 3,1 % poderá ser atingido com culturas oleaginosas para a produção de biodiesel e HVO.

Com relação ao **potencial endógeno de resíduos**, este foi estimado tendo em conta uma esperada produção anual de OAU de 66 kton acrescida de igual quantidade de óleo extraído de resíduos industriais, nomeadamente da indústria agro-alimentar. Esta proporção 50:50 é a que se observou na utilização de matérias-primas residuais endógenas nos últimos anos, e foi estabelecida por aproximação, já que não existem dados quantitativos da disponibilidade dos vários tipos de resíduos industriais passíveis de serem transformados em biodiesel e HVO.

O **potencial endógeno de matérias-primas para biocombustíveis** é assim, em Portugal, de 332 kton das quais cerca de 66 kton de materiais da parte A do Anexo I. Sendo que para cumprir a meta definida de 10 % de biocombustíveis da parte A do anexo I serão necessários cerca de 650 kton de matéria-prima residual pelo que será sempre inevitável a importação de matéria-prima residual ou biocombustível para cumprir os objetivos.

⁵⁴ [Portugal: Superfície agrícola utilizada: total e por tipo de composição | Pordata](#)

8 Solar térmico

Este capítulo apresenta uma estimativa do potencial técnico de utilização de coletores solares térmicos no setor dos edifícios (residenciais e de serviços) e indústria para produção de energia térmica. O cálculo deste potencial seguiu uma metodologia baseada na procura, i.e., nas necessidades de energia térmica passíveis de serem supridas por sistemas solares térmicos, adaptando e atualizando os métodos de cálculo e pressupostos utilizados em estimativas anteriores^{55,56}.

8.1 Solar térmico nos edifícios

As tecnologias de conversão térmica da energia solar podem ser aplicadas no fornecimento de energia térmica para produção de águas quentes sanitárias (AQS) e climatização de edifícios. A estimativa do potencial da energia solar térmica nos edifícios abrange duas grandes áreas: os edifícios residenciais e os edifícios de serviços. A estimativa do potencial associado à utilização de energia solar térmica em edifícios residenciais considera as necessidades respeitantes aos agregados domésticos privados⁵⁷. Por sua vez, a estimativa do potencial associado à utilização de energia solar térmica em edifícios de serviços considera os edifícios respeitantes a agregados institucionais⁵⁸ (ex.: lares de idosos, quartéis, etc.), alojamentos turísticos, hospitais, piscinas cobertas e outras instalações desportivas.

Para fins de determinação da procura de energia passível de ser suprida por energia solar térmica nos edifícios, considera-se apenas as necessidades de calor para produção de AQS e aquecimento de piscinas cobertas, não se considerando as necessidades de energia térmica para climatização.

Dadas as condicionantes existentes no território nacional, quer em termos de clima, quer em termos de técnicas construtivas, urbanísticas e de organização do território, optou-se por não se considerar a inclusão das necessidades de energia térmica para aquecimento ambiente pois: i) os sistemas solares térmicos dimensionados para produção de calor para aquecimento ambiente em edifícios individuais tendem a apresentar viabilidade técnico-financeira reduzida; ii) não obstante a integração de energia solar térmica em redes urbanas de calor e frio para fins de climatização poder

⁵⁵ Fórum "Energias Renováveis em Portugal"- Uma contribuição para os objetivos de política energética e ambiental, ADENE/INETI, dezembro 2002.

⁵⁶ Schweiger, H., Mendes, J., Schwenk, C., Hennecke, K., Barquero, C., Sarvisé, A., et al. (2001). POSHIP - The Potential of Solar Heat for Industrial Processes, Barcelona, Lisbon, München, Köln, Madrid, Spain, 2001.

⁵⁷ Definição INE: "Conjunto de pessoas que residem no mesmo alojamento e cujas despesas fundamentais ou básicas (alimentação, alojamento) são suportadas conjuntamente, independentemente da existência ou não de laços de parentesco; ou a pessoa que ocupa integralmente um alojamento ou que, partilhando-o com outros, não satisfaz a condição anterior" (<https://smi.ine.pt/Conceito/Detalhes/5498>).

⁵⁸ Definição INE: "Conjunto de pessoas residentes num alojamento coletivo que, independentemente da relação de parentesco entre si, são beneficiárias de uma instituição e governadas por uma entidade interna ou externa ao grupo de pessoas" (<https://smi.ine.pt/Conceito/Detalhes/11123>).

apresentar níveis adequados de viabilidade técnico-financeira^{59,60}, perspetiva-se atualmente um potencial muito limitado, ou até mesmo inexistente, para o desenvolvimento de redes urbanas de calor e frio em Portugal⁶¹.

8.1.1 Metodologia

A estimativa do potencial associado à utilização de energia solar térmica nos edifícios foi determinada em termos de potência total e energia produzida anualmente. Para tal utilizou-se informação referente às necessidades de energia de edifícios representativos - obtida a partir de um conjunto alargado de informação como o número de utilizadores do edifício, o consumo de AQS por utilizador e as condições e perfil de consumo – que é utilizada no dimensionamento e simulação de sistemas solares térmicos tipo, a partir dos quais são determinadas, respetivamente, a área de coletores e a produtividade específica dos sistemas tipo. Para a conversão da área de coletores em potência térmica, aplicou-se o fator de conversão padrão para potência ($1 \text{ m}^2 = 0,7 \text{ kW}_t$) adotado pelo *Solar Heating and Cooling Programme* da Agência Internacional da Energia (IEA-SHC TCP⁶²). O potencial por tipologia de edifício ou utilização pode então ser obtido considerando o número de edifícios existentes por cada tipologia ou utilização.

Nas simulações efetuadas considerou-se um coletor representativo dos coletores planos seletivos atualmente disponíveis no mercado, tendo este as seguintes características: $\eta_0 = 0,754$; $a_1 = 3,72 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$; $a_2 = 0,012 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^2)$; $\text{IAM } 50^\circ = 0,92$.

A metodologia adotada para a estimativa do potencial do solar térmico nos edifícios é apresentada esquematicamente na Figura 8.1.

Não obstante a metodologia utilizada ser semelhante para todos os tipos de edifícios, a heterogeneidade da informação disponível implicou algumas adaptações. Nos parágrafos seguintes apresentam-se, por tipologia de edifício/utilização, as principais considerações e adaptações utilizadas na análise efetuada.

⁵⁹ Winterscheid, C., Dalenbäck, J., Holler, S. (2017) Integration of solar thermal systems in existing district heating systems. *Energy*, 137, pp. 579-585

⁶⁰ IDAE. Análisis de potencial y oportunidades de integración de energía solar térmica en redes de calor. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, 2015

⁶¹ DGEG. Assessment of District Heating and Cooling Potential in Portugal. DEIR Studies on the Portuguese Energy System 003. Directorate-General for Energy and Geology, Division of Research and Renewables, Lisbon, Portugal, January 2021.

⁶² <https://www.iea-shc.org/>

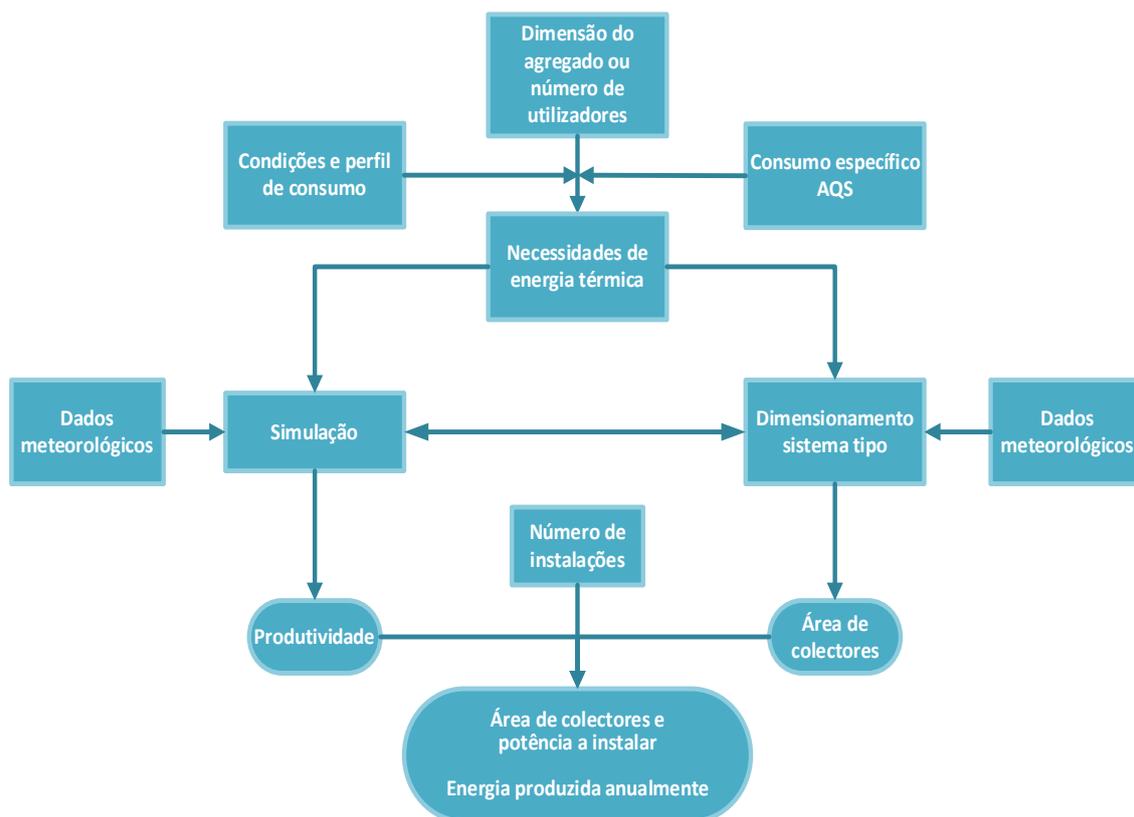


Figura 8.1 - Representação esquemática da metodologia utilizada na estimativa do potencial técnico do solar térmico nos edifícios

Edifícios Residenciais

As necessidades de calor para produção de AQS em edifícios residenciais têm por base a informação proveniente dos resultados dos Censos 2021⁶³ sobre o número e dimensão média dos agregados privados domésticos existentes em Portugal e as necessidades de AQS por habitante e respetivas condições e perfis de consumo estabelecidas no âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios⁶⁴.

Considerando que a dimensão média nacional destes agregados é de 2,5 pessoas, oscilando entre valores médios máximos de 2,8 (NUTS III - Cávado) e mínimos de 2,2 (NUTS III - Beira Baixa) considerou-se a utilização de um sistema solar térmico tipo idêntico para todas as NUTS III, sendo este composto por uma área de coletores de 2,5 m² e um depósito de acumulação de 200 litros.

A produtividade do sistema tipo foi estimada em cada região NUTS III para um ano meteorológico de referência através de simulações efetuadas com o programa computacional SolTerm v5.3.

⁶³ INE, Recenseamento da população e habitação - Censos 2021 (<https://censos.ine.pt/>)

⁶⁴ Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho

Edifícios de Serviços – Institucionais

As necessidades de calor para produção de AQS em edifícios de serviço ocupados por agregados institucionais (abrangendo lares de idosos, quartéis, etc.) têm por base a informação proveniente dos resultados dos Censos 2021⁶³ sobre o número e dimensão média dos agregados institucionais existentes em Portugal e as necessidades de AQS por habitante e respetivos perfis de consumo adaptados dos apresentados no manual da ASHRAE⁶⁵. Considerou-se também uma temperatura de consumo de AQS idêntica à definida no âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios⁶⁴.

Atendendo à heterogeneidade regional da dimensão média dos agregados institucionais, o dimensionamento do sistema solar térmico tipo foi efetuado região a região utilizando um processo iterativo por recurso a resultados de simulação de modo a otimizar a fração solar e minimizar o desperdício de energia.

A produtividade do sistema tipo foi estimada em cada região NUTS III para um ano meteorológico de referência através de simulações efetuadas com o programa computacional SolTerm v5.3.

Edifícios de Serviços – Hospitais

As necessidades de calor para produção de AQS em hospitais têm por base a informação proveniente dos resultados do "Inquérito aos Hospitais 2021"⁶⁶ sobre o número e dimensão média (n.º de camas) dos hospitais existentes em Portugal e as necessidades de AQS por ocupante e respetivos perfis de consumo adaptados dos apresentados no manual da ASHRAE⁶⁵ e por Fuentes et al (2018)⁶⁷. Considerou-se também uma temperatura de consumo de AQS idêntica à definida no âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios⁶⁴.

Atendendo à heterogeneidade regional da dimensão média dos hospitais, o dimensionamento do sistema solar térmico tipo foi efetuado região a região utilizando um processo iterativo por recurso a resultados de simulação de modo a otimizar a fração solar e minimizar o desperdício de energia.

A produtividade do sistema tipo foi estimada em cada região NUTS III para um ano meteorológico de referência através de simulações efetuadas com o programa computacional SolTerm v5.3.

⁶⁵ ASHRAE. ASHRAE Handbook - HVAC Applications (SI), Service Water Heating, Chapter 49. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, GA, 2009

⁶⁶ INE, Inquérito aos Hospitais 2021 (www.ine.pt)

⁶⁷ Fuentes, E., Arce, L., Salom, J. (2018) A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, pp. 1530-1547

Edifícios de Serviços – Alojamentos turísticos

As necessidades de calor para produção de AQS em alojamentos turísticos, com exceção dos parques de campismo, colónias de férias e Pousadas da Juventude, têm por base a informação proveniente dos resultados do “Inquérito à permanência de hóspedes na hotelaria e outros alojamentos 2021”⁶⁸ sobre o número e dimensão média (n.º de camas) dos alojamentos existentes em Portugal e as necessidades de AQS por ocupante e respetivos perfis de consumo adaptados do manual da ASHRAE⁶⁵ e dos trabalhos de Fuentes et al (2018)⁶⁷ e Walnum et al (2021)⁶⁹. Considerou-se também uma temperatura de consumo de AQS idêntica à definida no âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios⁶⁴.

Atendendo à heterogeneidade regional da dimensão média destes alojamentos, o dimensionamento do sistema solar térmico tipo foi efetuado região a região utilizando um processo iterativo por recurso a resultados de simulação de modo a otimizar a fração solar e minimizar o desperdício de energia.

Tal como nos casos anteriores, a produtividade do sistema tipo foi estimada em cada região NUTS III para um ano meteorológico de referência através de simulações efetuadas com o programa computacional SolTerm v5.3.

No que respeita a parques de campismo, pousadas da juventude e colónias de férias, são conhecidos apenas os valores totais de empreendimentos e a sua capacidade (n.º de utentes), mas desconhece-se a sua distribuição por NUTS III⁶⁸. Para calcular o potencial associado usou-se o programa F-Chart, considerando como clima de referência nacional dados climatéricos mensais para o concelho de Aveiro. O consumo de AQS considerado foi de 40 L/pessoa e um volume de armazenamento do depósito solar de 75 L/m². O dimensionamento foi feito incrementando a área de captação solar até se atingir um mês com fração solar de 100%.

Edifícios de Serviços – Piscinas cobertas

No caso das piscinas cobertas e com base no número de piscinas cobertas em Portugal continental e na área total de pano de água em cada NUT III⁷⁰, foi calculada uma área média por piscina. O número de coletores foi calculado com recurso ao programa F-Chart considerando o coletor tipo apresentado anteriormente. A área de captação foi incrementada até se atingir um mês com fração solar de 100%. A temperatura da piscina foi considerada a 26,7°C e com uma profundidade média de 1,7 m.

Dado não existir informação sobre o número de utilizadores não foram consideradas as necessidades de AQS associadas à utilização da piscina.

⁶⁸ INE, Inquérito à permanência de hóspedes na hotelaria e outros alojamentos 2021 (www.ine.pt)

⁶⁹ Walnum, H.T., Straby, K., Sorensen, A.L. (2021) Measurement of domestic hot water consumption in hotel rooms with different basin and shower mixing taps. E3S Web of Conferences 246, 04002

⁷⁰ Sistema Nacional de Informação Desportiva – Carta Desportiva (<https://www.snid.pt/carta-desportiva>)

Edifícios de Serviços – Instalações desportivas

As necessidades de calor para produção de AQS em instalações desportivas que não piscinas foram estimadas a partir da quantidade e tipologia de instalação desportiva existente em cada NUTS III⁷⁰ e de uma estimativa do seu número de utilizadores médio por tipologia de instalação desportiva (Tabela 8.1) e de um consumo específico de água quente de 40 litros por utilizador. O potencial do solar térmico associado a estas necessidades foi estimado através do programa F-Chart, considerando a informação da Tabela 8.2.

Tabela 8.1 - Estimativa do número de utilizadores por instalação desportiva.

Instalação desportiva	N.º de utilizadores
Grandes campos de jogos - Futebol, raguebi, hóquei em campo	60
Pistas de atletismo em anel fechado, ao ar livre e com traçado regular	20
Pavilhão desportivo	30
Sala de desporto polivalente	30
Campos polidesportivos	60
Campo de ténis	10
Ringue de patinagem	20
Pista de patinagem	20
Sala de desporto	20
Campos de golfe	20
Pistas de corta-mato	20
Centros de alto rendimento	10
Centros de estágio desportivo	20
Salas apetrechadas exclusivamente para desportos de combate	30
Pistas de ciclismo em anel fechado e traçado regulamentar	30
Fosso olímpico de instalação de tiro com armas de caça	10
Fosso universal de instalação de tiro com armas de caça	20
Instalações de tiro com bala	10
Instalações de tiro com arco	10
Pistas e infra-estruturas para desportos motorizados em terra	20
Instalações para a prática de desportos equestres	20
Estádios de futebol	60
Pavilhões multiusos desportivos	60
Hipódromos	20
Velódromos	20
Autódromo	20
Motódromo	20
Kartódromo	20
Crossódromo	20
Outras instalações desportivas especiais	20

Tabela 8.2 - Parâmetros característicos usados na simulação das instalações desportivas.

Utentes	10	20	30	60
Area de coletores [m ²]	10	20	30	60
Volume/área [L/m ²]	50	50	50	50
Consumo [L]	400	800	1200	2400
UA_dep [W/°C]	5.5	8.6	11	16.7

8.1.2 Resultados

A Tabela 8.3 apresenta os resultados globais da estimativa do potencial técnico de utilização da energia solar térmica nos edifícios em Portugal⁷¹. Os resultados por NUTS III são apresentados na Tabela 8.4⁷².

Tabela 8.3 – Potencial técnico de utilização da energia solar térmica nos edifícios em Portugal

Setor	Capacidade a instalar (GW _t)	Energia anual gerada (TWh)	Energia anual gerada (PJ)
Edifícios de serviços	0,924	0,945	3,404
Edifícios residenciais	7,261	5,840	21,025
Total	8,185	6,786	24,429

O potencial técnico estimado para a energia solar térmica nos edifícios é de 8,185 GW_t a que corresponde uma área de coletores de aproximadamente 11,7 milhões de m². Em termos de energia anual gerada estima-se um potencial de 6,786 TWh.

Em termos de distribuição territorial observa-se que o potencial tende a ser mais significativo nas regiões mais populosas, o que, não obstante a variação inter-regional do recurso solar disponível, decorre sobretudo da metodologia adotada: mais população implica maior número de alojamentos e de edifícios de serviços e como tal, maior procura de calor. Destaca-se também a importância relativa do potencial associado ao alojamento turístico na região do Algarve, Alentejo Litoral e Região Autónoma da Madeira.

⁷¹ Não se encontram disponíveis informações sobre instalações desportivas (incluindo piscinas) nas Regiões Autónomas pelo que não foram tidas em consideração nesta estimativa.

⁷² Não se encontra disponível a distribuição por NUTS III de parques de campismo, colónias de férias e pousadas da juventude pelo que para esses equipamentos turísticos apenas foi estimado apenas o potencial total nacional: 0,011 GW de capacidade e 0,051 TWh/ano.

Tabela 8.4 - Potencial técnico de utilização da energia solar térmica nos edifícios por NUTS III

NUTS III	ED. RESIDENCIAIS		ED. INSTITUCIONAIS		HOSPITAIS		ALOJAMENTO TURÍSTICO*		PISCINAS COBERTAS		OUTRAS INSTALAÇÕES DESPORTIVAS		TOTAL EDIFÍCIOS*	
	Potência [GW _t]	Energia produzida [TWh/ano]	Potência [GW _t]	Energia produzida [TWh/ano]	Potência [GW _t]	Energia produzida [TWh/ano]	Potência [GW _t]	Energia produzida [TWh/ano]	Potência [GW _t]	Energia produzida [TWh/ano]	Potência [GW _t]	Energia produzida [TWh/ano]	Potência [GW _t]	Energia produzida [TWh/ano]
ALTO MINHO	0,159	0,120	0,004	0,004	0,000	0,000	0,008	0,007	0,001	0,001	0,008	0,006	0,180	0,139
CÁVADO	0,262	0,199	0,006	0,006	0,002	0,003	0,007	0,008	0,002	0,003	0,016	0,013	0,296	0,231
AVE	0,269	0,203	0,005	0,005	0,001	0,001	0,005	0,005	0,001	0,002	0,010	0,008	0,291	0,224
ÁREA METROPOLITANA DO PORTO	1,193	0,929	0,020	0,020	0,008	0,009	0,035	0,036	0,003	0,005	0,023	0,018	1,282	1,017
ALTO TÂMEGA	0,063	0,047	0,002	0,003	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,003	0,002	0,071	0,055
TÂMEGA E SOUSA	0,259	0,202	0,004	0,005	0,000	0,000	0,004	0,004	0,001	0,001	0,011	0,009	0,279	0,221
DOURO	0,131	0,101	0,005	0,005	0,000	0,000	0,005	0,005	0,002	0,003	0,014	0,011	0,157	0,125
TERRAS DE TRÁS-OS-MONTES	0,080	0,060	0,004	0,004	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000	0,000	0,005	0,004	0,092	0,072
OESTE	0,256	0,211	0,007	0,008	0,001	0,001	0,012	0,013	0,001	0,001	0,009	0,008	0,286	0,241
REGIÃO DE AVEIRO	0,251	0,201	0,006	0,006	0,001	0,001	0,006	0,006	0,001	0,002	0,005	0,004	0,270	0,219
REGIÃO DE COIMBRA	0,316	0,256	0,011	0,012	0,003	0,004	0,013	0,013	0,001	0,002	0,010	0,008	0,353	0,294
REGIÃO DE LEIRIA	0,204	0,166	0,006	0,006	0,001	0,001	0,005	0,005	0,000	0,001	0,006	0,005	0,222	0,184
VEISEU DÃO LAFÕES	0,177	0,138	0,006	0,007	0,000	0,000	0,006	0,006	0,001	0,002	0,015	0,012	0,206	0,166
BEIRA BAIXA	0,062	0,051	0,003	0,003	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,069	0,058
MÉDIO TEJO	0,167	0,137	0,009	0,009	0,000	0,000	0,010	0,011	0,001	0,002	0,006	0,005	0,193	0,165
BEIRAS E SERRA DA ESTRELA	0,158	0,126	0,009	0,010	0,000	0,000	0,008	0,009	0,000	0,001	0,006	0,005	0,181	0,151
ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA	2,088	1,754	0,040	0,042	0,014	0,015	0,078	0,086	0,007	0,016	0,069	0,058	2,295	1,970
ALENTEJO LITORAL	0,070	0,060	0,003	0,004	0,000	0,000	0,010	0,011	0,001	0,001	0,004	0,004	0,088	0,079
BAIXO ALENTEJO	0,083	0,072	0,004	0,005	0,000	0,000	0,003	0,004	0,000	0,001	0,004	0,003	0,095	0,085
LEZÍRIA DO TEJO	0,168	0,141	0,006	0,006	0,000	0,000	0,002	0,002	0,001	0,001	0,009	0,007	0,185	0,158
ALTO ALENTEJO	0,077	0,064	0,005	0,005	0,000	0,000	0,004	0,005	0,001	0,002	0,007	0,006	0,093	0,081
ALENTEJO CENTRAL	0,112	0,094	0,004	0,005	0,000	0,000	0,006	0,007	0,001	0,002	0,004	0,004	0,127	0,111
ALGARVE	0,340	0,299	0,006	0,008	0,001	0,002	0,111	0,139	0,002	0,004	0,014	0,012	0,475	0,463
REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES	0,149	0,102	0,006	0,004	0,002	0,002	0,017	0,014	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,174	0,122
REGIÃO AUTÓNOMA DA MADEIRA	0,166	0,108	0,005	0,004	0,003	0,002	0,038	0,029	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,212	0,143
TOTAL NACIONAL	7,261	5,840	0,187	0,196	0,038	0,040	0,402	0,431	0,027	0,051	0,259	0,214	8,174	6,773

* Excluindo parques de campismo, colónias de férias e pousadas da juventude. N.D. não disponível

8.2 Solar térmico na indústria

As tecnologias de conversão térmica da energia solar podem ser aplicadas à satisfação das necessidades de calor e frio do sector industrial. Nesta secção apresenta-se uma estimativa do potencial da energia solar térmica na indústria para fornecimento de calor a temperaturas de até 160°C. A gama de temperaturas considerada corresponde à utilização de coletores solares não concentradores ou de baixa concentração. Exclui-se deste estudo as aplicações de temperatura superior a 160°C, não obstante as suas necessidades de energia térmica poderem ser satisfeitas por sistemas solares térmicos concentradores e representarem uma fração não despreciable do consumo de calor no sector industrial.

8.2.1 Metodologia

Na ausência de informação detalhada sobre as necessidades de calor na indústria nacional optou-se por estimar o potencial existente utilizando uma metodologia simplificada, representada esquematicamente na Figura 8.2.

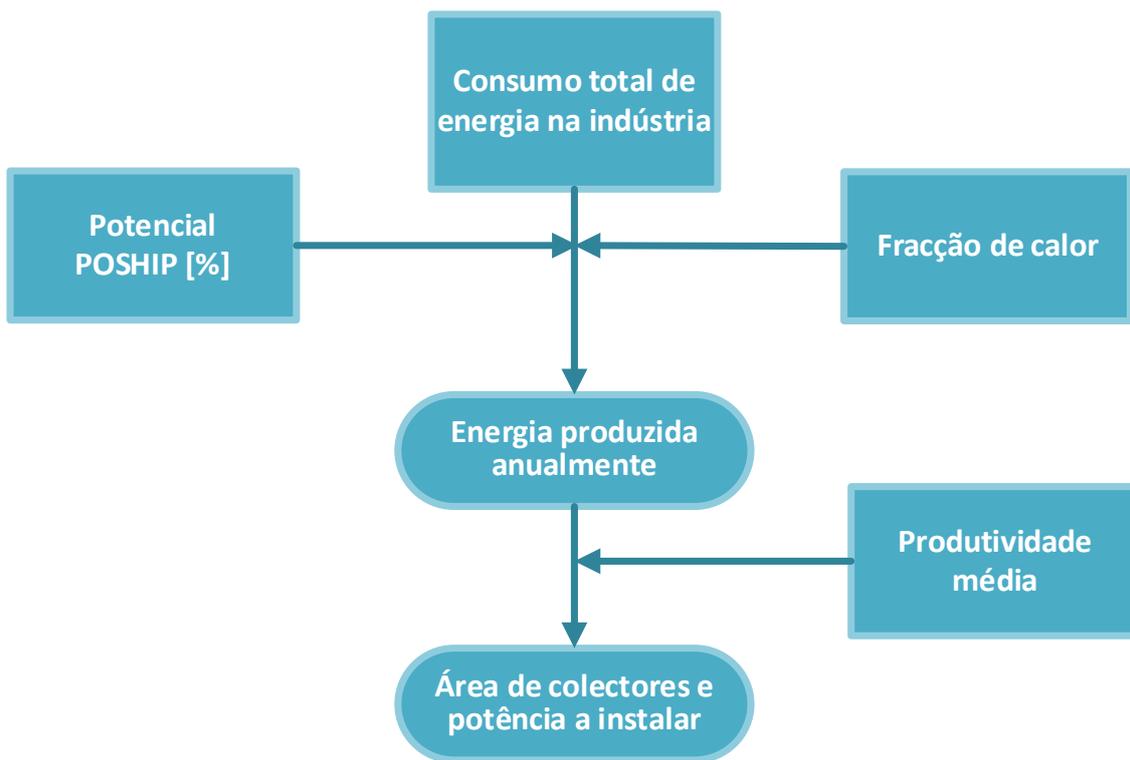


Figura 8.2 - Representação esquemática da metodologia utilizada na estimativa do potencial técnico do solar térmico na indústria

Esta metodologia considera os resultados obtidos pelo projeto POSHIP, no qual se concluiu existir um potencial de utilização de energia solar térmica em processos industriais com temperaturas não superiores a 160 °C de até 4,4% do consumo total de calor na indústria nacional^{55,73}, um valor que está em linha com conclusões de estudos de potencial realizados para outros países Europeus⁷³.

Para estimar o consumo total de calor no sector industrial considerou-se o consumo de energia na indústria registado em Portugal no ano de 2021⁷⁴ e, na ausência de dados mais recentes, assumiu-se uma fração de calor no consumo de energia da indústria em Portugal de cerca de 45% (dados de 2009^{75,76}).

Deste modo, é possível estimar um limite inferior para o potencial em termos de energia anual:

$$Q_{ST}^{ind} = Q_T^{ind} \chi_{calor} \phi_{ST/C}$$

onde Q_{ST}^{ind} representa a produção anual de energia térmica no sector industrial com sistemas solares térmicos, Q_T^{ind} o consumo anual de energia no sector industrial (57,8 TWh em 2021), χ_{calor} a fração de calor no consumo total de energia do sector industrial (45%) e $\phi_{ST/C}$ o rácio entre o calor que pode ser suprido por sistemas solares térmicos e o calor consumido no sector industrial (4,4%).

A estimativa do potencial em termos de potência instalada pode ser obtida pela razão entre o potencial estimado para a produção anual de calor solar e a produtividade anual média típica destes sistemas (assumiu-se um valor de aproximadamente 0,754 kWh/(m² ano), idêntico ao identificado em INETI, 2002^{55,55}) e o fator de conversão de área para potência (0,7 kW_t/m²) convencionado pelo *Solar Heating and Cooling Programme* da Agência Internacional de Energia⁶².

8.2.2 Resultados

Os resultados decorrentes da aplicação da metodologia descrita anteriormente são apresentados na Tabela .

⁷³ Platzer, W. Potential studies on solar process heat worldwide. International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme Task 49 Deliverable C5, IEA-SHC Task 49 and SolarPACES Annex IV, 2015

⁷⁴ Direcção Geral de Energia e Geologia. Balanço Energético Nacional 2021 (versão provisória). Disponível em <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/balancos-energeticos/balancos-energeticos-nacionais/>

⁷⁵ Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Pardo, N., Moya, J., Krook-Riekkola, A., et al., Heat and cooling demand and market perspective, Publications Office, 2012, <https://data.europa.eu/doi/10.2790/56592>

⁷⁶ Direcção Geral de Energia e Geologia. Balanço Energético Nacional 2009. Disponível em <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/balancos-energeticos/balancos-energeticos-nacionais/>

Tabela 8.5 - Potencial técnico estimado para a utilização da energia solar térmica na indústria em Portugal

Setor	Capacidade a instalar (GW _t)	Energia anual gerada (TWh)	Energia anual gerada (PJ)
Indústria	1,062	1,145	4,121

O potencial técnico estimado para a energia solar térmica no sector industrial é de 1,062 GWt, a que corresponde uma área de coletores de aproximadamente 1,5 milhões de m². Em termos de energia anual gerada estima-se um potencial de 1,145 TWh.

Ressalva-se uma vez mais que este potencial apenas considera as necessidades de calor a temperatura inferiores a 160°C (que podem ser satisfeitas por coletores não concentradores ou por coletores com baixa concentração), não considerando o potencial decorrente de processos industriais de maior temperatura.

8.3 Solar térmico - resultados globais

A Tabela 8.6 apresenta de forma resumida os resultados da estimativa do potencial de utilização da energia solar térmica em Portugal. **O potencial nacional em termos de potência situa-se nos 9,247 GW** (o que corresponderá a um total aproximado de **13,2 milhões de m²** de coletores). **O potencial em termos de energia térmica anual produzida é estimado em 7,930 TWh.**

Tabela 8.6 - Potencial técnico estimado para a utilização da energia solar térmica em Portugal

Setor	Capacidade a instalar (GW _t)	Energia anual gerada (TWh)	Energia anual gerada (PJ)
Edifícios de serviços	0,924	0,945	3,404
Edifícios residenciais	7,261	5,840	21,025
Indústria	1,062	1,145	4,121
Total	9,247	7,930	28,550

Os valores anteriormente indicados são estimativas do potencial técnico existente e sujeitas a um conjunto de limitações decorrentes da metodologia aplicada e da informação existente de entre as quais se salienta:

- Esta estimativa de potencial é baseada na procura existente (ano de referência de 2021) não considerando a sua evolução futura;
- Não foram consideradas possíveis limitações de área de cobertura, um fator que poderá ser relevante em edifícios multifamiliares. Não obstante, as áreas de coletores resultantes do potencial estimado em edifícios residenciais e de serviços são inferiores aquelas que se identificaram como disponíveis na análise GIS efetuada para o potencial da energia solar fotovoltaica em instalações distribuídas;

- Alguns setores ou aplicações não foram analisados devido a limitações da informação disponível (por exemplo, a restauração) o que naturalmente reduz o potencial identificado;
- Por limitações da informação disponível à altura da elaboração do presente relatório, o potencial estimado para o setor industrial não considera aplicações a temperatura superior a 160°C;
- A estimativa do potencial no setor industrial utiliza resultados com mais de 20 anos e valores típicos apresentando com tal maior incerteza.

Trabalhos futuros deverão atualizar a presente estimativa tentando minimizar ou eliminar as limitações identificadas, bem como outras não mencionadas, mas que estão subjacentes ao trabalho efetuado.

9 Energia das ondas

Conforme referido no caso da energia das ondas, os resultados apresentados dizem respeito ao potencial do recurso disponível para Portugal (continental) e não o potencial técnico.

Os resultados do potencial de recurso foram obtidos a partir da combinação de duas bases de dados existentes no LNEG:

- Ondatlas⁷⁷ que permite caracterizar e apresentar o recurso bruto para Portugal (continental),
- PEMAP⁷⁸ que é uma base de dados SIG que sobrepõe o recurso bruto com restrições de uso do espaço marinho.

Nem todo o espaço marítimo pode ser utilizado para a localização de dispositivos de energia das ondas, devido à ocorrência de vários constrangimentos, tais como zonas ambientais protegidas, pescas, zonas militares, navegação, tornam impossível ou, pelo menos, difícil a utilização dessas áreas oceânicas para a localização de dispositivos de energia das ondas (WEC).

Para a estimativa do potencial do recurso foram consideradas as seguintes restrições que impossibilitam ou, pelo menos, dificultam a localização de agregados de dispositivos de energia das ondas:

- Cabos submarinos - Cabos submarinos podem ter altas tensões devendo-se evitar-se ancorar nas suas restrições de uso do espaço marinho mediações;
- Zona de proteção delimitada dos cabos submarinos - nestas zonas específicas devido à grande densidade de cabos submarinos, é proibido pescar e ancorar;
- Áreas de navegação portuária – onde o desenvolvimento de energia das ondas seria difícil e potencialmente perigoso;
- Locais de ancoradouro designados - desenvolvimento de energia das ondas não permitido e as âncoras causam potencialmente grandes danos aos cabos e amarrações;
- Áreas de exercício militar de defesa;
- Zonas com boias ODAS que são ferramentas científicas utilizadas para medição e transmissão de dados oceanográficos e meteorológicos;
- Zona das Berlengas com intenso tráfego marítimo, especialmente no verão;

⁷⁷ Ondatlas - Atlas do Recurso Energético, LNEG, IPTM. Informação disponível em Pontes, M. T., Rebêlo, L., Silva, P., Pata, C. (2005a) Database of Wave Energy Potential in Portugal. In: ASME 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Greece, pp 803–809

⁷⁸ PEMAP-Potencial de Energia Marinha em Portugal, LNEG. Mais informação: Pontes, M. T., Rebelo L. P., Silva P., Pata, C. (2005b) PEMAP - Potencial de Energia Marinha em Portugal. In: ENER'05: Conferência sobre Energias Renováveis e Ambiente em Portugal. p 7.

- Área de treino submarino identificada aqui com uma área aproximada na costa sudoeste de Portugal uma vez que as rotas exatas não estão definidas;
- Rotas de navegação *nearshore* intensas (navios de passageiros) sazonais (de maio a setembro), ou anuais por se tratar de áreas com intenso tráfego marítimo associado aos navios de passageiros;
- Zonas de pesca intensa:
 - pesca tradicional – desde a linha de costa até às 12 milhas náuticas ao largo; zonas de maior percentagem de pesca em Portugal onde poderá verificar-se grande possibilidade de conflitos com os pescadores devido à implantação de tecnologias de energia das ondas;
 - arrasto – áreas localizadas a mais de 6 milhas náuticas ao largo;
 - cercamento – pesca que se situa a distâncias de 2 a 50 milhas náuticas ao largo;
 - pesca de atum.

O mapeamento destas restrições teve por base o trabalho de Candelária (2008)⁷⁹. Ao combinar a informação do Ondatlas, PEMAP e Candelária (2008), obtém-se o recurso disponível apresentado na Tabela 9.1.

Tabela 9.1 – Potencial de recurso de energia oceânica disponível por classe de batimetria

Batimetria (m)	Recurso disponível (GW)
80	1,4
70	3,8
60	3,9
50	4,5
40	4,8
30	4,6
20	4,8

É de salientar que, para obter o recurso técnico para agregados de dispositivos de energia das ondas, é necessário conhecer o desempenho dos dispositivos no agregado. O desempenho de um único dispositivo é muito variável consoante o tipo de dispositivo e não são conhecidos resultados para o desempenho de agregados em águas portuguesas. Esses desempenhos (que são diferentes quando comparados com o desempenho de um único dispositivo isolado) estão relacionados com o tipo de dispositivo, a geometria do agregado, bem como com as características do recurso disponível nos locais específicos de localização dos agregados.

⁷⁹ Candelária, A. (2008). Avaliação do desenvolvimento da energia das ondas em Portugal, com apoio SIG [Assessing the development of wave energy in Portugal, with GIS Support]. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Available at: <https://opac.fct.unl.pt/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=49274>

Adotando uma abordagem mais conservadora, não foi feita qualquer suposição quanto ao desempenho de agregados de dispositivos de energia das ondas em águas portuguesas que permitiria obter o potencial técnico para estas tecnologias.

10 Síntese, Limitações e notas a considerar

Neste capítulo apresentam-se os valores de cada potencial técnico estimado, as principais limitações e próximos passos e ainda uma breve nota sobre complementaridade entre recurso solar fotovoltaico e eólico.

10.1 Síntese global

Esta secção resume o potencial técnico global estimado para os seguintes grupos de tecnologias:

- › Solar fotovoltaico distribuído em áreas artificializadas (ou construídas);
- › Solar fotovoltaico “centralizado” em áreas não artificializadas;
- › Solar de concentração (termoelectricidade solar ou CSP);
- › Eólica onshore;
- › Eólica offshore (flutuante e fixa);
- › Bioenergia e biocombustíveis;
- › Solar térmico.

Para a energia oceânica, apresenta-se o potencial do recurso de energia primária e não o potencial técnico.

A Tabela 10.1 sistematiza os vários potenciais técnicos renováveis obtidos para Portugal continental⁸⁰ expressos na maioria dos casos em capacidade instalada e em energia gerada. Acrescenta-se ainda informação sobre o fator de capacidade considerado na estimativa (quando aplicável), bem como indicação da situação no final do ano de 2022. Os valores históricos em 2022 foram obtidos a partir dos dados da DGEG publicamente disponíveis. Note-se que o potencial técnico inclui a capacidade total atualmente instalada no país.

⁸⁰ Com exceção do solar térmico e solar de concentração que focaram também as regiões autónomas.

Tabela 10.1 - Síntese Global dos Potenciais Técnicos Renováveis para Portugal continental

Tecnologia	Potencial técnico - capacidade instalada [GW]	Potencial técnico - energia gerada		CF estimado [%]*	Capacidade instalada histórica (2022) [GW]	Energia gerada em 2022 [TWh]	CF histórico [%]*
		TWh	PJ				
PV Centralizado							
Total PV centralizado	168,82 a 45,63	278,11 a 75,23	1 001,20 a 270,83	18,5	1,495	2,419	18,5
PV distribuído							
Áreas industriais	3,73	5,89	21,20	-	-	-	-
Grandes edifícios comerciais	0,72	1,15	4,14	-	-	-	-
Prédios residenciais e de uso misto	8,89	14,08	50,69	-	-	-	-
Vivendas	6,73	10,48	37,73	-	-	-	-
Outros edifícios de serviços: edifícios de saúde, ensino, turismo, culturais e militares	2,15	3,45	12,42	-	-	-	-
Outras áreas artificializadas – outros usos do solo	1,11	1,79	6,44	-	-	-	-
Total PV distribuído	23,33	36,84	132,62		1,068	1,212	13
Solar térmico							
Edifícios serviços	0,92	0,95	3,40	-	-	0,533**	-
Edifícios residenciais	7,26	5,84	21,03	-	-	0,693**	-
Indústria	1,06	1,15	4,12	-	-	-	-
Total solar térmico	9,25	7,93	28,55	-	0,920	1,227	-
Eólica onshore							
Total Eólica onshore	15,70	36,42	131,13	27,0	5,670	13,042	27,0
Eólica offshore							
Eólica offshore "floating"	36,00	126,14	454,12	40,0	0,024	0,078	37,1
Eólica offshore "fixa"	2,00	6,31	22,71	36,0	0,000	0,000	-
Total eólica offshore	38,00	132,45	476,82	-	0,024	0,078	-
Bioenergia							
Biomassa para eletricidade. Calor e eletricidade	Não aplicável	57,75	207,89	-	1,34	4,109	-
Biocombustíveis	Não aplicável	3,41	12,29	-	0,85	3,121	-
Solar de Concentração							
CSP	62,63	183,61	660,96	33,46	-	-	-

* refere-se ao valor médio anual para todo o território de Portugal continental; ** valores para 2021.

No que respeita à **energia das ondas**, o potencial do recurso é estimado entre os 1,4 GW para os 80 m de batimetria e os 4,8 GW para os 20 m de batimetria.

Tabela 10.2 – Grau de desagregação territorial do potencial técnico estimado

Tecnologia	Grau de desagregação espacial máximo
PV descentralizado	Freguesia e tipo de área artificializada
PV centralizado	Freguesia
Solar de concentração	Freguesia
Solar térmico	NUTIII para edifícios de serviços, residenciais. Não desagregado para indústria (inclui Portugal continental e regiões autónomas)
Eólica onshore	Município
Eólica offshore	Não desagregado
Biomassa e Biocombustíveis	Não
Ondas	Não desagregado

10.2 Limitações e próximos passos

Qualquer trabalho de estimativa de potenciais técnico tem elevado grau de incerteza e esta não é exceção. Os valores apresentados têm um elevado grau de incerteza inerentes à abordagem metodológica considerada e que se prendem com:

- › Incerteza no **mapeamento de áreas disponíveis** para instalação de tecnologias renováveis, devido a limitações cartográficas (resolução, tipos de classes de ocupação e uso do solo, etc.), desatualização da carta de ocupação e uso do solo que data de 2018, bem como desatualização/falta de abrangência nacional de outras variáveis mapeadas (ex. património arqueológico, REN e RAN);
- › Incerteza associada à **seleção de condicionantes de exclusão** para identificar as áreas onde será aceitável (ou mesmo legal) implementar tecnologias, tendo em conta de que trabalhos à escala nacional não possibilitam a consideração dos aspetos regulamentares que devem ser contemplados caso a caso em sede de licenciamento;
- › Incerteza associada à **conversão de capacidade instalada em energia gerada** que, para a maioria dos potenciais apresentados, recorre a mapas do recurso energético com limitações inerentes;
- › Incerteza associada à **evolução tecnológica** que levará, na maioria dos casos, a tecnologias mais eficientes e como tal, com uma densidade de ocupação de área diferente da aqui considerada;

- › Incerteza associada à **concorrência entre diferentes tecnologias** que pode afetar a área disponível considerada individualmente para cada tecnologia (ex. solar fotovoltaico ou solar térmico em coberturas);
- › Incerteza associada a **dados de base** usados nas abordagens que não recorreram a mapeamento como o solar térmico e bioenergia.

Deve ter-se presente que as limitações no **acesso à rede elétrica** não foram consideradas na estimativa de potenciais técnicos, o que é particularmente relevante para solar PV, eólica e CSP.

Além destas limitações globais, inclui-se seguidamente de forma sintética, **limitações para grupo de tecnologias:**

Solar PV

- › Grau de incerteza elevado associado à área de “coberturas” estimada;
- › Grau de incerteza elevado associado à fração da área de “cobertura” que é tecnicamente exequível usar;
- › Não considerado de forma diferenciada os edifícios históricos;
- › Não considerado concorrência com outros usos de coberturas (ex. solar térmico);
- › Elevada subjetividade na estimativa de áreas não artificializadas não sujeitas a condicionantes de localização (ex. 500m ou 1000m de distância a habitações, existem centrais solar PV em áreas >3% declive, etc...);
- › COS2018 poderá já estar desatualizada;
- › Incerteza quanto à densidade de ocupação (varia consoante a central e as características específicas do terreno);
- › Não considerada evolução tecnológica;
- › Aspectos de pormenor como ensombramento não considerados;
- › Estimativa de eletricidade gerada tem por base PVout do Global Solar Atlas com as limitações inerentes.

Solar de concentração (Termoeletricidade solar)

- › Estimativa apenas para um tipo de tecnologias de CSP, sendo que existem outras que, tendencialmente, apresentam fatores de capacidade superiores;
- › Enfoque apenas na produção de eletricidade por via termoelétrica, sem considerar calor de processo para indústria (SHIP).

Eólica

- › “Volatilidade” da informação, em especial no que respeita à rede elétrica;
- › Consideração das características das tecnologias em operação que muito rapidamente fica desatualizada.

Bioenergia

- › Incerteza sobre o potencial explorável de biomassa agroflorestal para novas cadeias de valor para energia em Portugal uma vez esta compete para diferentes utilizações finais e há fraco conhecimento nacional no desenvolvimento de cadeias de valor para energia a partir de resíduos de atividade agrícola ou subprodutos originados nas agroindústrias.

Solar Térmico

- › Potencial baseado na procura existente (ano de referência 2021), não considerando a sua evolução futura;
- › Não considera potenciais limitações de área de cobertura (particularmente relevante em edifícios multifamiliares), embora a área ocupada associada ao potencial técnico seja inferior às que se identificaram como disponíveis na análise espacializada para o potencial da energia solar fotovoltaica em instalações distribuídas;
- › Alguns setores ou aplicações não foram analisados devido a limitações da informação disponível;
- › Potencial no setor industrial apenas considera aplicações com temperatura de processo inferior a 160 °C, sendo baseada em valores típicos e resultados de projetos passados;

No que respeita a **desenvolvimentos futuros** deste trabalho prevê-se o desenvolvimento das seguintes linhas:

- › Atualização anual (ou bianual) de acordo com a evolução do setor em Portugal e do desempenho e características das diversas tecnologias;
- › Estimativa do potencial técnico para energia das ondas;
- › Análise da viabilidade e impacto de considerar com maior detalhe as coberturas em edifícios históricos com vista à implementação de solar PV;
- › Análise da “concorrência” entre áreas para diferentes tecnologias;
- › Harmonização da consideração de condicionantes de exclusão de áreas para diferentes grupos de tecnologias;
- › Estimativa do potencial económico.

10.3 Complementaridade entre recursos solar e eólico

Uma estratégia sustentável para a introdução de mais geração renovável no sistema electroprodutor, pode ser alcançada através da característica mais básica da geração de origem eólica e solar PV, i.e. a falta de correlação temporal (em diferentes escalas temporais) dos seus recursos primários - velocidade do vento e irradiação solar. Assim, a ausência ou redução de recurso primário de uma determinada tecnologia na região X

pode ser complementada, na mesma região, pela disponibilidade de outro recurso renovável, usando uma tecnologia diferente e adequada à sua conversão.

Em Portugal, devido às condições atmosféricas predominantes e à orografia, a energia elétrica de origem eólica e solar PV apresentam perfis típicos que, geralmente exibem uma correlação negativa entre si⁸¹, como se representa na Figura 10.1, demonstrativa da complementaridade na disponibilidade dos recursos.

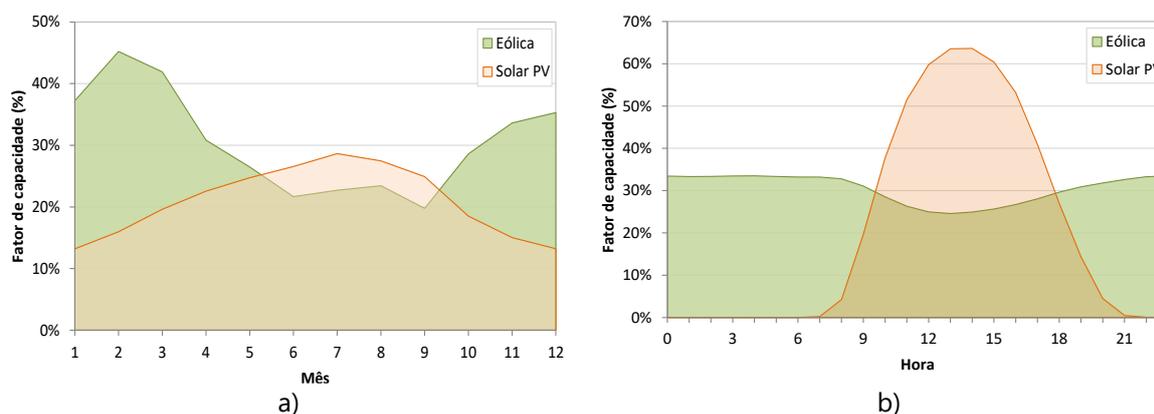


Figura 10.1 – Perfil: a) mensal e b) diário do fator de capacidade, normalizado, de geração eólica e solar PV para Portugal continental (dados 2015 a 2018). Fonte dados: REN.

A complementaridade pode ser explorada em diferentes conceitos, entre os quais, se destacam as centrais híbridas, já contempladas na legislação portuguesa (ou mesmo uma extensão deste conceito, usualmente designado por centrais virtuais⁸²).

As centrais híbridas podem comportar diferentes tecnologias de produção com base em fontes de energia renováveis e/ou tecnologias de armazenamento, não podendo, contudo exceder, em qualquer instante, a potência máxima de injeção estabelecida na atribuição de exploração das centrais. Esta solução, que permite a hibridização dos parques eólicos e solares existentes, apresenta vários benefícios, entre os quais, a minimização do custo e impacto social associado ao reforço da rede de transporte e otimização do seu uso com instalação de mais capacidade do que a potência máxima autorizada em cada ponto de injeção que, para ter, deverá ser objecto de controlo dinâmico conforme ilustrado na Figura seguinte.

⁸¹ Couto, A., Estanqueiro, A. (2020) Exploring Wind and Solar PV Generation Complementarity to Meet Electricity Demand. *Energies*, 13 (16), 4132; <https://doi.org/10.3390/en13164132>

⁸² Silva, A. (2016) Modelação e otimização do funcionamento de uma central renovável virtual. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/25758>

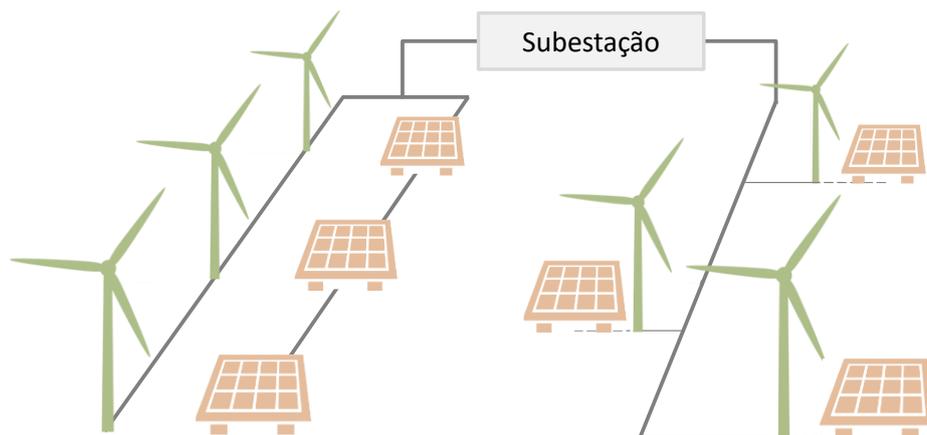


Figura 10.2 – Representação esquemática de uma central híbrida

Apesar dos claros benefícios da complementaridade entre os diferentes recursos renováveis e, conseqüentemente, entre a potência que entregam ao sistema elétrico, o potencial desta propriedade dos recursos primários renováveis é ainda praticamente inexplorado nos modelos de planeamento de sistemas de energia.

LNEG, sob o lema “Construir um futuro mais limpo e melhor”, tem como missão contribuir de forma independente para o desenvolvimento económico e melhoria da qualidade de vida, colocando o conhecimento ao serviço da sociedade.

A sua Visão é ser uma instituição de referência capaz de contribuir com excelentes soluções para uma economia descarbonizada.



 Geology and Geological Risk	 Mineral Technology	BUILDING A STRONGER AND CLEANER FUTURE	 http://www.lneg.pt	
 Resource Economics	 Geo-Information		 Geological Resources	 LNEG Estrada da Portela Bairro do Zambujal Apartado 7586, Alfragide 2610-999 Amadora Portugal
 Bioenergy and Biorefineries	 Energy in the Built Environment		 Integration of Renewable Energies in the Energy System	 +351 210 924 600 / 1
	 Materials for Energy	 Renewable Energies	 info@lneg.pt   	

