



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica e Automação



**Viabilidade Económica e Energética da inclusão de Fontes de Energia
Solar Fotovoltaica como resposta ao consumo energético da Freguesia
de Barcarena**

FÁBIO LUIS FÉLIX SIMÕES
Licenciado em Engenharia Eletrotécnica

Dissertação para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia

(Versão Definitiva)

Orientador (es):

Professora Doutora Carla Solange Pires Correia Viveiros
Professor Doutor Filipe André de Sousa Figueira Barata

Júri:

Presidente: Professor Doutor Luís Manuel dos Santos Redondo
1º Vogal: Professor Doutor Fernando Manuel Duarte Oliveira Nunes
2º Vogal: Professor Doutor Filipe André de Sousa Figueira Barata

Junho de 2020



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica e Automação



**Viabilidade Económica e Energética da inclusão de Fontes de Energia
Solar Fotovoltaica como resposta ao consumo energético da Freguesia
de Barcarena**

FÁBIO LUIS FÉLIX SIMÕES
Licenciado em Engenharia Eletrotécnica

Dissertação para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia
(*Versão Definitiva*)

Orientador (es):

Professora Doutora Carla Solange Pires Correia Viveiros
Professor Doutor Filipe André de Sousa Figueira Barata

Júri:

Presidente: Professor Doutor Luís Manuel dos Santos Redondo
1º Vogal: Professor Doutor Fernando Manuel Duarte Oliveira Nunes
2º Vogal: Professor Doutor Filipe André de Sousa Figueira Barata

Junho de 2020

Resumo

Esta tese incide sobre um estudo de viabilidade económica e energética de implementação de fontes de energia renovável na freguesia de Barcarena, de forma a sustentar o consumo de energia elétrica, tendo em conta os avanços tecnológicos e o aumento populacional previsto [1].

São analisados os consumos de energia elétrica da freguesia em estudo, bem como a distribuição dos vários tipos de produção de energia elétrica que respondem aos consumos registados. Desta forma, é possível analisar não só a implementação como a substituição de uma produção com origem nos combustíveis fósseis por uma produção com origem nas fontes de energia renovável.

É desenvolvido um estudo de viabilidade económica e energética, tendo por base os dados referentes não só ao consumo e produção energética da freguesia, como também ao potencial energético da área em estudo no que diz respeito à produção de energia solar.

É analisada a influência económica e energética da implementação das fontes de energia solar fotovoltaica na freguesia de Barcarena por intermédio de alguns casos estudo, com vista ao cumprimento das metas definidas pelo conselho de Oeiras no que diz respeito ao Plano de Ação Energia Sustentável para Oeiras (PAESO) [2].

Palavras-Chave: *Viabilidade Económica; Viabilidade Energética; Energias Renováveis; Energia Solar, Energia Elétrica; Sustentabilidade*

Abstract

This thesis focuses on an economic and energy viability study for the implementation of renewable energy sources in Barcarena, in order to sustain the electricity consumption, considering the technological advances and also the expected population growth.

The electricity consumption of Barcarena are analyzed, as well as the distribution of the different types of electricity production that respond to a given consumption. Thus, it is possible to analyze not only the application, but also the substitution of a production from fossil fuels with a production from renewable energy sources.

An economic and energy viability study are developed, according to data referring not only to electricity consumption, but also to the energy potential of the area under study regarding the solar energy consumption.

The economic and energy influence of the implementation of a solar photovoltaic system in Barcarena are analyzed through some case studies, with a view to achieving the targets set by the Oeiras council, regarding the Sustainability Energy Action Plan for Oeiras (PAESO) [2].

Keywords: Economic Viability; Energy Viability; Renewable Energies; Solar Energy; Electrical Energy; Sustainability

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a disponibilidade dos meus orientadores, os Professores Doutores Carla Viveiros e Filipe Barata, para a concretização desta Dissertação, por toda paciência e acompanhamento constante.

Em segundo lugar, agradeço à minha família, não só pela educação que me proporcionaram, mas também pelo seu exemplo de trabalho e pela compreensão que manifestaram ao longo do meu percurso académico.

Em terceiro lugar, agradeço aos meus amigos e à minha namorada Helena, pela presença constante e por todo o apoio dado, especialmente nos momentos mais difíceis desta caminhada académica.

Por último, agradeço ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, por ao longo do meu percurso académico, criar oportunidades de desenvolvimento pessoal e académico que jamais esquecerei, não só pela experiência transmitida por todo o pessoal docente e não-docente do instituto, como também de todos alunos que com o tempo se tornaram amigos para a vida, pela transmissão de valores como a entreaajuda, amizade e camaradagem, representativos deste grande instituto.

Índice

1. Introdução	1
1.1 Enquadramento e Motivação.....	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Contributos.....	3
1.4 Organização da Dissertação	4
2. Estado de Arte	5
2.1 Sustentabilidade.....	6
2.2 Perfil Energético	11
2.3 Fontes de Energia Solar	27
3. Caracterização do perfil energético e demográfico da freguesia de Barcarena	35
3.1 Perfil demográfico da freguesia de Barcarena	36
3.2 Perfil energético da freguesia de Barcarena	39
3.3 Definição dos casos de estudo	41
3.4 Metodologia	42
4. Análise e Estudo de viabilidade da inclusão de fontes de energia solar.....	44
4.1 Princípios do Estudo de Viabilidade	45
4.2 Modelo Matemático	46
4.3 Características da Freguesia de Barcarena	63
4.4 Especificações de Equipamentos	66
4.5 Parâmetros de Avaliação Económica	71
4.6 Análise Energética	73
4.7 Análise Económica.....	78
5. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros.....	83
5.1 Conclusões.....	84
5.2 Desenvolvimentos Futuros.....	86
Referências Bibliográficas	i
Anexos	I

Lista de Figuras

Figura 1 - Emissões de gases com efeito de estufa na Europa [MtonCO ₂ eq]	12
Figura 2 - Consumo de energia primária na Europa [Mtep]	13
Figura 3 - Consumo de energia final na Europa [Mtep]	14
Figura 4 - Contributo das Energia Renováveis no Consumo de Energia Final na Europa [%]	15
Figura 5 - Consumo de Energia Elétrica na Europa: Total e Doméstico [Mtep]	16
Figura 6 - Produção de Energia Elétrica na Europa: Total e Renovável [Mtep]	16
Figura 7 - Produção de Energia Elétrica na Europa: Total Renovável e Fotovoltaica [Mtep]	17
Figura 8 - Emissões de gases com efeito de estufa em Portugal [%] - valor percentual comparado com 1990 (1990 = 100%)	19
Figura 9 - Consumo de energia primária em Portugal [Mtep]	20
Figura 10 - Consumo de energia final em Portugal [Mtep]	20
Figura 11 - Contributo das Energia Renováveis no Consumo de Energia Final em Portugal [%]	21
Figura 12 - Consumo de Energia Elétrica em Portugal: Total e Doméstico [Mtep]	22
Figura 13 - Produção de Energia Elétrica em Portugal: Total e Renovável [Mtep]	23
Figura 14 - Produção de Energia Elétrica em Portugal: Total Renovável e Fotovoltaica [ktep]..	23
Figura 15 - Consumo de Energia Elétrica em Oeiras: Total e Doméstico [Mtep]	25
Figura 16 - Componentes da radiação solar incidente num coletor	33
Figura 17 - Localização da Freguesia de Barcarena	36
Figura 18 - Circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica (modelo de três parâmetros)	47
Figura 19 – Circuito elétrico equivalente do modelo de cinco parâmetros da célula fotovoltaica	56
Figura 20 - Agrupamento de módulos fotovoltaicos	59
Figura 21 - Eficiências típicas de um Inversor em função da potência AC	61
Figura 22 - Rentabilidade dos Casos de Estudo 1, 2 e 3	81
Figura 23 - Rentabilidade dos Casos de Estudo A, B e C	81

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Número de residentes de edifícios habitacionais por lugar (Censos 2011)	37
Tabela 2 - Média de Alojamentos por edifício, por lugar.....	37
Tabela 3 - Número de edifícios na freguesia de Barcarena por número de alojamentos	38
Tabela 4 - Dados do Concelho de Oeiras.....	39
Tabela 5 - Consumos de energia elétrica da freguesia (total e por habitante).....	40
Tabela 6 - Dados de Irradiância Média (8h-15h).....	64
Tabela 7 - Dados de Temperatura Média (8h-15h).....	64
Tabela 8 - Especificações Elétricas do Painel Fotovoltaico	66
Tabela 9 - Tensão e corrente máxima do painel fotovoltaico.....	67
Tabela 10 -Especificações Elétricas do Inversor.....	67
Tabela 11 - Especificações Elétricas dos Cabos.....	68
Tabela 12 - Energia Produzida por conjunto de painéis (MWh/mês).....	70
Tabela 13 - Energia Produzida por tipo de edifícios (MWh)	70
Tabela 14 - Consumo doméstico de energia elétrica total para Edifícios Unifamiliares.....	73
Tabela 15 - Consumo doméstico de energia elétrica total para Edifícios Multifamiliares	73
Tabela 16 - Consumo total de energia elétrica dos Casos de Estudo	74
Tabela 17 - Contributo das Energias Renováveis por Caso de Estudo 1, 2 e 3	75
Tabela 18 - Contributo das Energias Renováveis por Caso de Estudo A, B e C.....	76
Tabela 19 - Emissões evitadas por caso de estudo	77
Tabela 20 - Investimento Inicial por conjunto e casos de estudo.....	78
Tabela 21 - Poupança por conjunto e casos de estudo.....	80
Tabela 22 - Indicador Económico dos Casos de Estudo 1, 2 e 3	82
Tabela 23 - Indicador Económico dos Casos de Estudo A, B e C.....	82

Lista de Siglas

CO₂ – Dióxido de Carbono

ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

MPP – *Maximum Power Point* ou *Peak Power* (Potência de Pico)

MPPT - *Maximum Power Point Tracker* (Seguidor de potência máxima)

NOCT - *Nominal Operating Cell Temperature*

PAESO - Plano de Ação Energia Sustentável Oeiras

PNUA - Programa das Nações Unidas para o Ambiente

STC - *Standard Test Conditions*

TIR - Taxa Interna de Rentabilidade

VAL - Valor Atualizado Líquido

Lista de Variáveis

A - Área da célula [m^2]

q - Carga elétrica do elétron [C]

$\mu_{I_{CC}}$ - Coeficiente de temperatura da corrente de curto-circuito [A / °C];

$\mu_{V_{CA}}$ - Coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto [V / °C].

K - Constante de *Boltzman*

D - Constante utilizada para o cálculo de I_0

AC - Corrente alternada

DC - Corrente contínua

I - Corrente de carga [A]

E - Energia Produzida [kWh]

m - Fator de idealidade do díodo

ε - Tensão de Banda Proibida do semicondutor

K_T - Índice de Claridade

I_{CC} - Intensidade de corrente de curto circuito [A]

I_{CC}^r - Intensidade de corrente de curto circuito da célula [V]

I_S - Intensidade de corrente de uma fonte [A]

I_0 - Intensidade de corrente inversa de saturação do díodo [A]

I_{max}^r - Intensidade de corrente máxima da célula [A]

I_D - Intensidade de corrente unidirecional do díodo [A]

Δt - Intervalo de tempo considerado [h]

G^r - Irradiância incidente na célula [W/m^2]

G - Irradiância Solar Incidente [W/m^2]

N_S - Número de células agrupadas em série

N_P - Número de células agrupadas em paralelo

n - Número de períodos considerados

P_{AC} - Potência entregue à rede [W]

P_{max}^r - Potência máxima da célula [W]

I_{max} - Ponto de Intensidade de Corrente máxima [A]

P_{mas} - Ponto de Potência máxima [W]

V_{max} - Ponto de Tensão máxima [V]

P_{DC} - Potência de Saída da célula [W]

V_T - Potencial Térmico [V]

V_T^r - Potencial Térmico da célula [V]

G^r - Radiação incidente da célula [W/m^2]

η_{MPPT} - Eficiência do MPPT

η - Eficiência do ponto de funcionamento da célula

η_{Inv} - Eficiência do Inversor

η^r - Eficiência nas condições STC

η_{Total} - Eficiência Total

T - Temperatura absoluta [K]

θ_a - Temperatura ambiente [$^{\circ}C$];

T^r - Temperatura da célula [$^{\circ}C$]

θ - Temperatura da célula [$^{\circ}C$];

V - Tensão aos terminais da célula fotovoltaica [V]

V_{CA} - Tensão de circuito aberto [V]

V_{CA}^r - Tensão de circuito aberto da célula [V]

V_{max}^r - Tensão máxima da célula [V]

tonCO₂eq - Toneladas equivalentes de CO₂

tep -Toneladas Equivalentes de Petróleo

$P_{DC}(G, T)$ - Valor médio da potência máxima do módulo no intervalo de tempo considerado [W]

Capítulo I

1. Introdução

Resumo:

Neste capítulo é apresentada a motivação em realizar um estudo de viabilidade para a inclusão de fontes de energia renovável como resposta ao consumo da freguesia de Barcarena, os objetivos e a estrutura do trabalho.

1.1 Enquadramento e Motivação

A freguesia de Barcarena está inserida no concelho de Oeiras, um concelho que aposta em ideias inovadoras e que permitam fazer do mesmo uma referência nacional e internacional [3].

Sabendo que a preservação do meio ambiente é uma preocupação cada vez mais debatida nos centros urbanos, especialmente naqueles que têm a capacidade de concretizar investimentos inovadores [4], a realização de um estudo de viabilidade para implementação de uma solução sustentável, é por si uma iniciativa que constitui uma mais valia para o concelho de Oeiras e consequentemente para a freguesia de Barcarena.

Certamente que a sociedade atual se encontra em forte crescimento tecnológico, e estando este a acontecer a um ritmo cada vez mais acelerado, a tendência é que os consumos energéticos sejam cada vez maiores, uma vez que a energia elétrica é necessária para a grande maioria das atividades domésticas e industriais. Nesse sentido, é importante dar-se resposta ao aumento dos consumos energéticos, de forma coerente com as preocupações anteriormente referidas.

Após a realização deste estudo de viabilidade económica e energética, e tendo em conta a realidade local, acredito que esta é uma iniciativa que traz mais valias do ponto de vista económico, energético e ambiental, e, portanto, é uma iniciativa viável de ser implementada.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivos:

- Recolher e Analisar dados referentes ao consumo energético do concelho de Oeiras e da freguesia de Barcarena (caracterização energética);
- Estudar a viabilidade de incluir fontes de energia solar fotovoltaica na produção energética da freguesia de Barcarena;
- Avaliar a substituição das fontes de energia não-renovável por fontes de energia renovável, com vista ao cumprimento das metas assumidas pelo concelho de Oeiras [2];
- Analisar a freguesia de Barcarena do ponto de vista energético, tendo em conta os avanços tecnológicos.

1.3 Contributos

A validação e desenvolvimento de uma solução sustentável e benéfica para o meio ambiente em termos de produção energética da freguesia de Barcarena.

O desenvolvimento desta solução permite não só auxiliar o concelho de Oeiras a superar os objetivos definidos pela União Europeia no âmbito do pacote “Clima-Energia” até 2020 [5], como permite ainda incentivar a que outras cidades europeias desenvolvam soluções semelhantes.

Mais do que a superação dos objetivos traçados pelo concelho de Oeiras, a aposta no desenvolvimento deste tipo de soluções, colocará o concelho e a freguesia em estudo num patamar de referência no que diz respeito à sustentabilidade nacional, reforçando deste modo o carácter inovador que caracteriza o concelho.

1.4 Organização da Dissertação

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos.

No Capítulo I é apresentada a motivação e a relevância do trabalho, os seus objetivos e a organização da dissertação.

No Capítulo II é analisado o conceito de sustentabilidade à escala global, europeia, nacional e do concelho, bem como o perfil energético nacional e do concelho. Neste mesmo capítulo, são caracterizadas as fontes de energia solar, e são indicados quais os princípios do estudo de viabilidade económica e energética a efetuar.

No Capítulo III é caracterizado o perfil energético e demográfico da freguesia de Barcarena, tanto ao nível da produção como do consumo de energia elétrica.

No Capítulo IV é efetuada a análise e o estudo de viabilidade económica e energética da inclusão de fontes de energia solar da freguesia de Barcarena.

No capítulo V são apresentadas as conclusões relativas à inclusão destas fontes de energia solar na freguesia, tanto ao nível de impacto ambiental como ao nível energético.

Capítulo II

2. Estado de Arte

Resumo:

Neste capítulo é apresentado o conceito de sustentabilidade nas várias dimensões (europeia, nacional e ao nível do concelho de Oeiras), o perfil energético nacional e do concelho de Oeiras, a caracterização das fontes de energia solar e ainda os princípios de estudo de viabilidade económica e energética a ter em conta.

2.1 Sustentabilidade

Nas últimas décadas, o termo “desenvolvimento sustentável”, associado à preservação ambiental, é cada vez mais relevante no desenvolvimento dos centros urbanos à escala global.

Em 1972, em Estocolmo [6], a comunidade internacional reuniu-se pela primeira vez com o intuito de identificar as necessidades globais no que diz respeito ao ambiente e ao desenvolvimento, por intermédio de uma conferência das Nações Unidas. Após esta conferência, foi criado um Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA), e vários países criaram os seus próprios ministérios do ambiente.

Certamente que o significado do termo “desenvolvimento sustentável” é questionado por várias entidades mundiais, mas o que é transmitido é que este é um desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais, sem comprometer as necessidades futuras, e quando se fala em necessidades, não se deve basear apenas nos interesses económicos, mas também em interesses ambientais e sociais, com vista à prosperidade global.

Mais tarde, em junho de 1992, vários países reúnem-se numa nova Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento (“Cimeira da Terra”), com o intuito de transmitir que só uma transformação das atitudes e do comportamento de todos, produzirá as mudanças necessárias.

A denominada “Cimeira da Terra” constituiu um ponto de viragem ao introduzir questões relativas ao ambiente e ao desenvolvimento no debate público, de um jeito firme e alicerçado por muitos acordos internacionais.

Esta tomada de consciência à escala global por parte das entidades políticas mundiais, não só viabilizou, como incentivou a que se concretizassem várias iniciativas, não só ao nível global, como ao nível europeu, nacional e local.

2.1.1 Sustentabilidade das Cidades Europeias

Em maio de 1994, na cidade de *Aalborg* em Dinamarca, foi realizada uma Conferência Europeias sobre as Cidades Sustentáveis [7], em que as cidades europeias reconhecem a sua importância ao longo da história para o

desenvolvimento da vida social, não só na dimensão económica, como também nas dimensões culturais e patrimoniais.

Nesta conferência, as cidades europeias assumem-se como pilares das próprias sociedades e estados, mas que devido ao atual modo de vida urbano, associado à ocupação excessiva dos solos, à utilização dos meios de transporte, à produção industrial, ao consumo, entre outros, as zonas urbanas tornam-se responsáveis pela maioria dos numerosos problemas ambientais com os quais a humanidade se confronta.

As cidades europeias representadas nesta conferência, tomaram consciência de que os níveis de consumo dos países industrializados não poderiam ser alcançados por todos os povos do mundo, e muito menos pelas gerações futuras, sem destruição do capital natural, o que compromete a vida sustentável na Terra.

Deste modo, as cidades desempenham um papel essencial no processo evolutivo dos hábitos de vida, da produção, do consumo e das estruturas ambientais, e por isso, é importante implementar economias sustentáveis e medidas de sustentabilidade ambiental.

A sustentabilidade ambiental implica a manutenção do capital natural, e isso exige que a taxa de consumo de recursos renováveis não exceda a respetiva taxa de reposição. É também importante que o grau de consumo de recursos não renováveis não exceda a capacidade de desenvolvimento de recursos renováveis sustentáveis e que a taxa de emissão de poluentes não deve ser superior à capacidade de absorção e transformação por parte do ar, da água e do solo.

Tendo em conta todas estas necessidades, é importante ter em conta a realidade de cada uma das cidades e desenvolver estratégias locais para alcançar a sustentabilidade.

Do ponto de vista económico, é importante definir prioridades quanto à conservação do capital natural restante, à redução dos níveis de exploração de recursos não-renováveis e ao aumento da eficiência final de produtos, como por exemplo, através de edifícios energeticamente eficientes ou de transportes urbanos ecológicos, onde se utilizam fontes de energia renovável.

Entenda-se por eficiência energética a relação entre a quantidade de energia utilizada em uma atividade e a energia disponível para a sua realização.

A Conferência Europeia de 1994, para além da tomada de consciência às entidades participantes, viabilizou a possibilidade de estender esta responsabilidade a outras cidades europeias ou a sedes de municípios [8], com vista a recolher mais informações sobre as várias realidades locais e desenvolver soluções sustentáveis.

Deste modo, foi possível desenvolver ações de uma perspetiva europeia, como a formulação de recomendações à Comissão Europeia, e de uma perspetiva local, como a criação de Planos de Ação para a sustentabilidade.

Na sequência do trabalho desenvolvido ao longo dos anos seguintes com o intuito de promover a sustentabilidade global, mas também o combate às alterações climáticas, a União Europeia procurou desenvolver metas ambientais ambiciosas a que se deram o nome de “metas do três vintes”.

De forma a iniciar este processo, os líderes europeus decidiram então vários objetivos a serem atingidos em 2020 [5]:

- Reduzir os gases com efeito de estufa em 20% em comparação com os valores registados em 1990;
- Aumentar a eficiência energética, poupando 20% do consumo energético da União Europeia;
- Alcançar 20% na utilização de energia renováveis no total do consumo energético;
- Alcançar 10% na utilização de energias renováveis no sector dos transportes.

Este processo iniciou-se em março de 2007 e em dezembro de 2008 foram aprovados pelo Parlamento Europeu [9], os acordos alcançados com o Conselho sobre estas quatro propostas do pacote legislativo clima-energia.

No que se refere à energia proveniente de fontes renováveis, foram abrangidos os seguintes setores: eletricidade, aquecimento e arrefecimento e transportes.

Tendo em conta que o objetivo desta proposta é que a União Europeia aumente para 20% a parte das energias renováveis no consumo de energia até 2020, foram estabelecidas metas globais nacionais para cada Estado-Membro, sendo que em Portugal a meta para 2020 está fixada em 31%.

Esta meta teve em conta o ponto de partida analisado (em 2005, a quota em Portugal era já de 20,5%) e o potencial nacional em energias renováveis.

No que diz respeito ao potencial nacional em energias renováveis, é importante referir que, segundo várias análises, no ano de 2005 registou-se um aproveitamento nulo de energia solar em Portugal, o que por si demonstrava uma grande margem de evolução na produção de energia solar fotovoltaica.

2.1.2 Sustentabilidade em Portugal

Na sequência dos objetivos traçados pela União Europeia no que diz respeito ao Pacote Clima-Energia 2020, e de forma a fomentar o crescimento inteligente, sustentável e inclusivo de Portugal, em julho de 2014 foi concretizado um acordo de parceria entre o país e a comissão europeia a que se deu o nome de Portugal 2020 [10].

Este acordo reúne a atuação de 5 fundos europeus estruturais e de investimento, nos quais se definem os princípios de programação que consagram a política de desenvolvimento económico, social e territorial para promover em Portugal entre 2014 e 2020.

Entre as várias prioridades de intervenção dos fundos da União Europeia, está inserida a sustentabilidade e eficiência no uso de recursos, que assenta em três pilares estratégicos:

- Economia de baixas emissões de carbono (Eixo I);
- Adaptação às alterações climáticas e prevenção de riscos (Eixo II);
- Proteção do ambiente e eficiência de recursos (Eixo III).

De entre os três pilares estratégicos, é o Eixo I que está associado ao investimento que permite:

- Fomentar a produção e distribuição de energia proveniente de fontes renováveis;
- Apoiar a eficiência energética, a gestão inteligente da energia e a utilização das energias renováveis nas infraestruturas públicas, nomeadamente nos edifícios públicos e no setor da habitação;

- Desenvolver e implementar sistemas de distribuição inteligente que operem a níveis de baixa e média tensão;
- Promover estratégias de baixo teor de carbono para todos os tipos de territórios, nomeadamente as zonas urbanas, incluindo a promoção da mobilidade urbana multimodal sustentável de medidas de adaptação relevantes para a atenuação.

De forma a viabilizar investimentos que impulsionam o desenvolvimento sustentável, é importante ter em conta a realidade dos centros urbanos, bem como a sua capacidade de implementar as medidas solicitadas.

2.1.3 Sustentabilidade do Concelho de Oeiras

Ciente da importância das questões energéticas em contexto local e do papel crucial que as autarquias podem desempenhar no combate às alterações climáticas, o Município de Oeiras aderiu ao pacto de autarcas, submetendo à Comissão Europeia, em janeiro de 2010, o Plano de Ação Energia Sustentável para Oeiras (PAESO) [2].

Para a realização deste plano de ação, foi necessário analisar os setores de atividade consumidores de energia, bem como as tendências dos padrões energéticos do concelho nos últimos anos.

Foi também realizado um levantamento de boas práticas energéticas junto de algumas das principais empresas de Oeiras, bem como dos próprios serviços da Autarquia, para avaliação das ações que pudesse contribuir para as metas 20-20-20.

Deste modo, o PAESO representa a estratégia local em termos de sustentabilidade energética e combate às alterações climáticas, composto por medidas com um horizonte de implementação até 2020, distribuídos por 8 sectores principais, que são:

- Edifícios, equipamentos / instalações e indústrias;
- Transportes;
- Produção local de energia elétrica;
- Produção local de calor / frio;
- Planeamento e ordenamento do território;

- Compras públicas de bens e serviços;
- Trabalho com os cidadãos e atores locais;
- Outros sectores.

2.2 Perfil Energético

De forma a desenvolver-se uma solução sustentável como resposta ao consumo de energia que ocorre na freguesia em estudo, é importante conhecer seu perfil energético.

Para definir este perfil energético, é necessário analisar-se diferentes indicadores e estatísticas referentes ao sector energético.

Neste caso, teve-se em conta os seguintes indicadores e estatísticas:

- Emissões de gases com efeito de estufa;
- Consumo de Energia Primária;
- Consumo de Energia Final;
- Contribuição das energias renováveis no consumo de energia final;
- Consumo de Energia Elétrica;
- Produção de Energia Elétrica.

No que diz respeito à energia final, é importante ter em conta que esta é a energia disponibilizada nas suas várias formas (eletricidade, combustíveis, etc.) às atividades económicas e às famílias.

A energia final é a consequência das transformações ocorridas na energia primária (toda a forma de energia disponível na natureza antes de ser convertida e transformada). Como essas transformações têm sempre uma eficiência inferior à unidade, a energia primária é sempre maior que a energia final que lhe corresponde.

A análise possível destes diferentes indicadores e estatísticas referentes ao sector energético pode ser abordada em três níveis distintos: o sector energético europeu, o sector energético em Portugal e ainda o sector energético no concelho de Oeiras.

Tendo em conta que os três níveis distintos do setor energético são representados por valores igualmente distintos em termos quantitativos, optou-se por ajustar as unidades representativas dos indicadores anteriormente referidos, consoante o nível do setor em análise, com vista a facilitar a representação dos dados.

2.2.1 Energia Elétrica na Europa

Tendo em conta o desenvolvimento das metas ambientais denominadas de “metas dos três vintes”, foram analisados cada um dos indicadores e estatísticas anteriormente referidos tendo em conta os objetivos a serem atingidos até 2020.

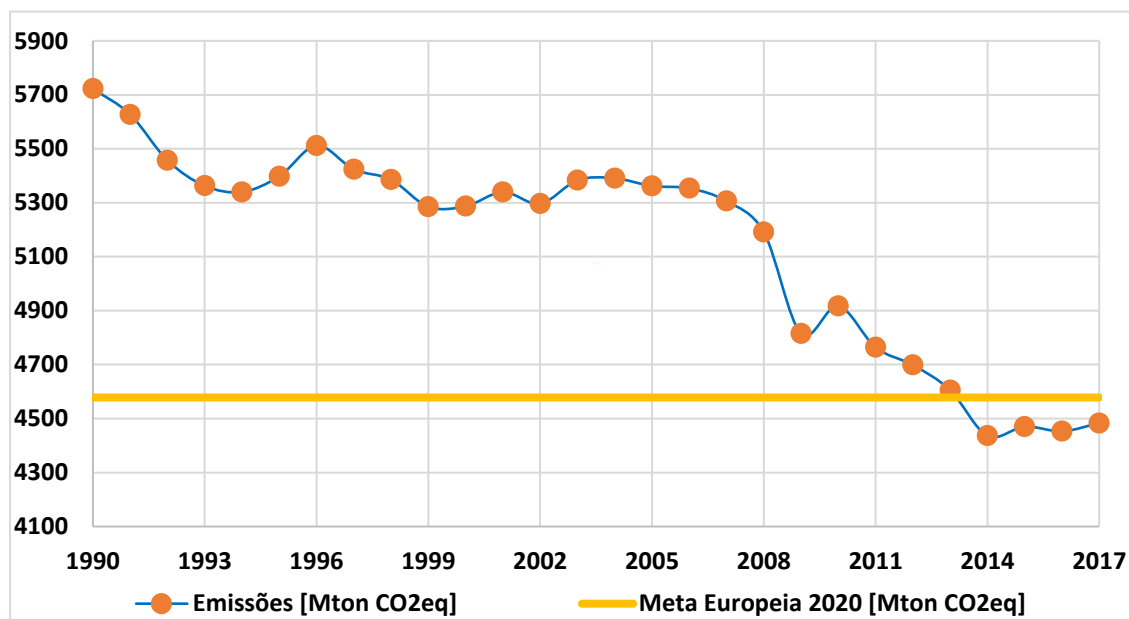


Figura 1 - Emissões de gases com efeito de estufa na Europa [MtonCO₂eq]

No que diz respeito às emissões de gases com efeito de estufa na Europa, de 1990 a 2017, pode-se verificar através da Figura 1 [11], uma tendência de diminuição do valor total de emissões na ordem dos 21%.

Houve aumentos do valor total de emissões em 1995, 1996, 2000, 2003, 2004, 2010, 2015 e 2017, no entanto, a partir do ano de 2014, foram registados valores totais de emissões inferiores ao valor estabelecido como meta europeia

no ano de 2020 (menos 20% do valor total de emissões do ano de 1990, ou seja, na ordem dos 4578,3 MtonCO₂eq).

De acordo com as referências presentes na Figura 1, as metas europeias para 2020 referentes aos consumos de energia estão estabelecidas nos 20% de poupança de energia primária ou final, tendo em conta uma previsão de consumos realizada no ano de 2007, e que tem como referência o ano de 2005.

Assumindo um crescimento económico contínuo bem como a ausência de medidas adicionais referentes à eficiência energética a partir do ano de referência (2005), estimou-se um consumo de energia primária de 1853 Mtep e um consumo de energia final de 1357 Mtep, o que faz com que as metas europeias para 2020 sejam de 1483 Mtep para o consumo de energia primária ou de 1086 Mtep para o consumo de energia final.

No que diz respeito ao consumo de energia primária, e analisando a Figura 2 [12], verifica-se uma redução progressiva do valor de consumos de 2005 a 2014, sendo que neste intervalo, apenas no ano de 2010, registou-se um aumento do valor de consumo, comparativamente ao valor registado no ano anterior.

A partir do ano de 2014, regista-se uma tendência de aumento do valor de consumo de energia primária, tendo em conta os restantes valores indicados.

Apesar de no ano de 2014 ter-se registado um valor próximo da meta europeia para 2020, até ao ano de 2017 não foi registado qualquer valor abaixo desta meta.

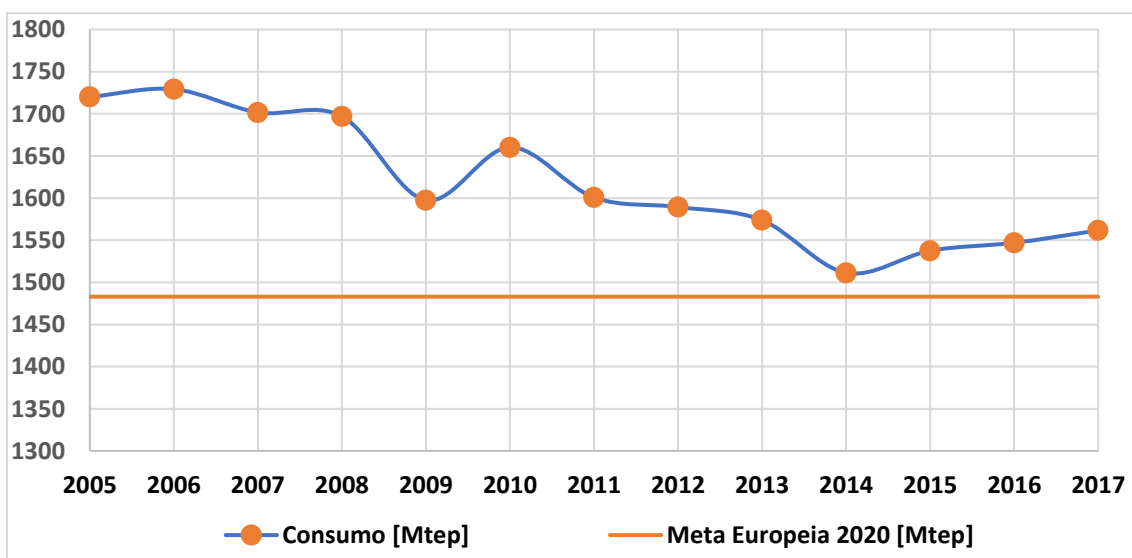


Figura 2 - Consumo de energia primária na Europa [Mtep]

No caso do consumo de energia final, e analisando a Figura 3 [13], verificou-se uma tendência de diminuição dos valores registados entre 2005 e 2017, apesar de em 2010, 2015, 2016 e 2017 ter-se verificado um aumento do valor total de consumo.

É importante verificar que no ano de 2017 registou-se um valor superior ao de 2013, o que revela uma recente e preocupante tendência de aumento do valor dos últimos anos analisados.

No que diz respeito ao cumprimento das metas europeias para o ano de 2020, apenas no ano de 2014 se registou um valor inferior ao estabelecido.

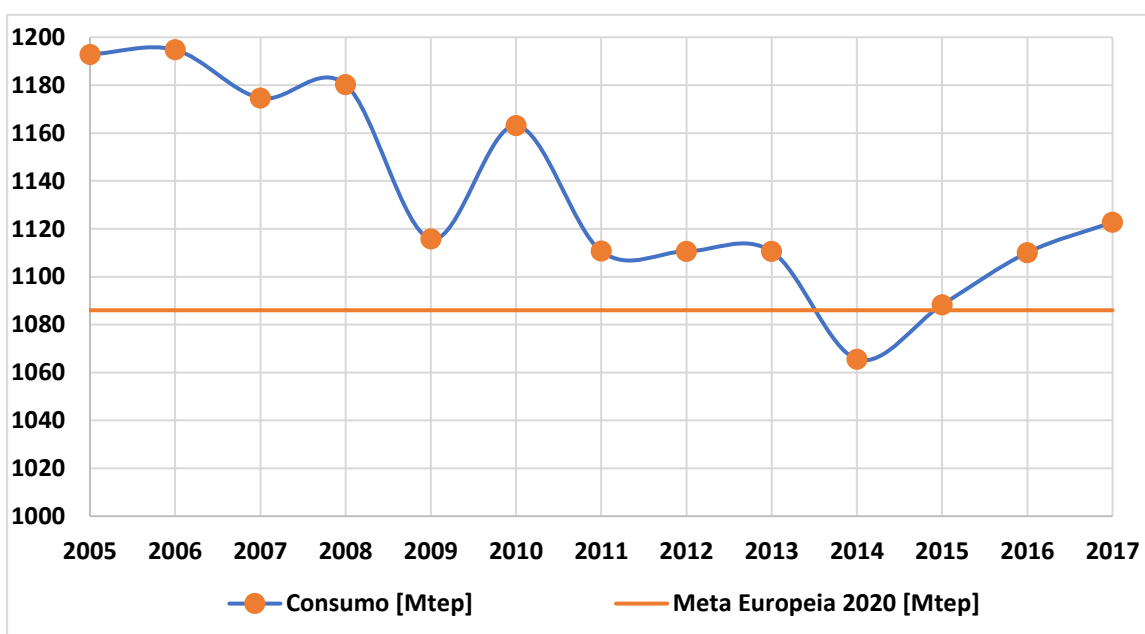


Figura 3 - Consumo de energia final na Europa [Mtep]

Para além da redução das emissões, bem como do aumento da eficiência energética, uma das metas europeias estabelecidas para 2020 é o aumento do contributo das energias renováveis para o consumo de energia final, de forma a que o mesmo seja de pelo menos 20%.

Analisando a Figura 4 [14], verificou-se um aumento constante do contributo das energias renováveis, sendo que o valor registado no ano de 2016 (aproximadamente 17%) é quase o dobro do valor registado em 2005 (aproximadamente 9%).

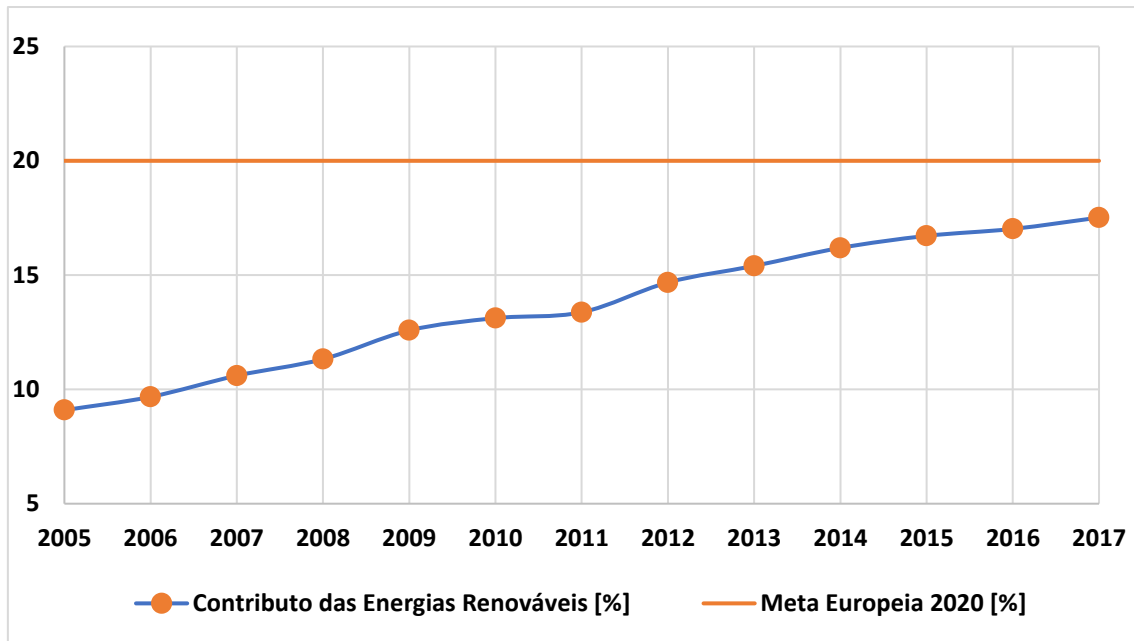


Figura 4 - Contributo das Energia Renováveis no Consumo de Energia Final na Europa [%]

Analisando-se todos os aumentos anuais do contributo das energias renováveis desde 2005, verificou-se um aumento médio anual de aproximadamente 0,7%, e tendo em conta o valor registado no ano de 2017 (aproximadamente 17,5%), conclui-se que caso o aumento registado nos anos de 2018 e de 2019 fossem idênticos ao aumento médio anual indicado, a meta europeia estabelecida para 2020 não seria cumprida, sendo que se registaria um valor de aproximadamente 19,6%.

No que diz respeito ao consumo de energia elétrica, verificou-se que o valor total registado no ano de 2005 e no ano de 2016 é praticamente idêntico, na ordem dos 249 Mtep, sendo que o valor mais alto registado neste intervalo de tempo foi em 2008 (aproximadamente 255 Mtep), e o valor mais baixo foi registado no ano de 2014 (aproximadamente 241 Mtep).

Por outro lado, foram analisados os consumos domésticos nos países da União Europeia, tendo-se verificado um consumo médio na ordem dos 70 Mtep, o que caracteriza, em média, aproximadamente 28% do consumo total de energia elétrica.

O gráfico da Figura 5 [15], permite representar as variações anteriormente referidas, e também representar a importância do consumo energia elétrica no setor doméstico, quando comparado com o consumo total de energia elétrica.

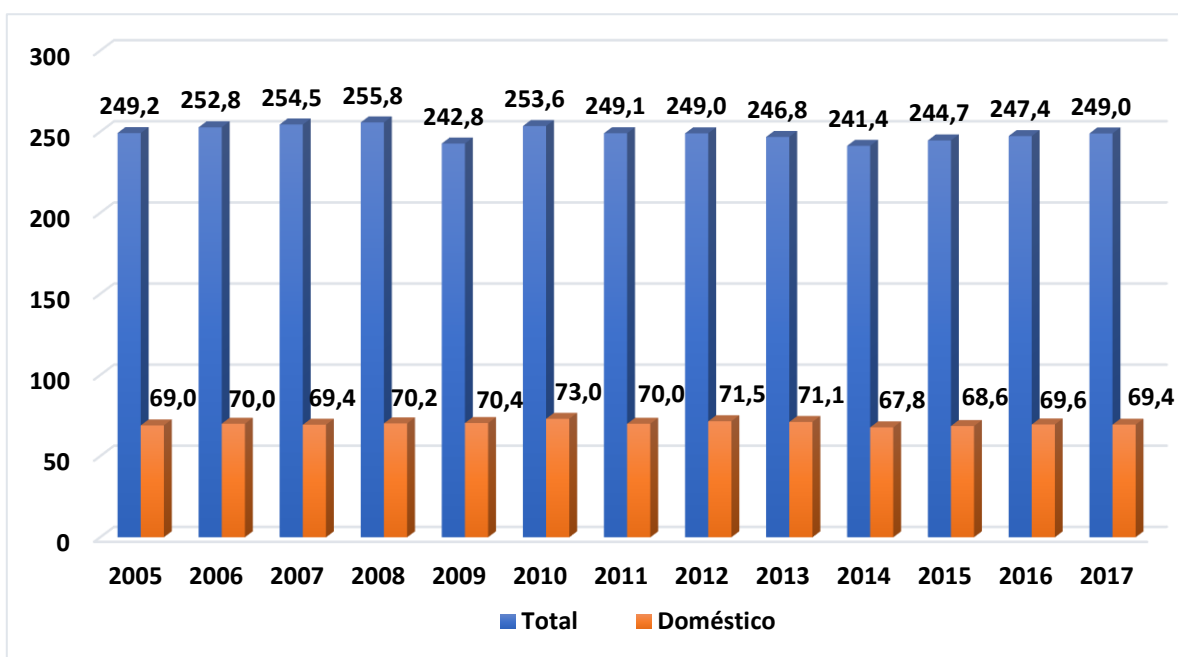


Figura 5 - Consumo de Energia Elétrica na Europa: Total e Doméstico [Mtep]

No que diz respeito à produção bruta de eletricidade, verificou-se na Figura 6 [16] que o valor total registado no ano de 2005 e no ano de 2016 é praticamente idêntico, na ordem dos 249 Mtep, sendo que o valor mais alto registado neste intervalo de tempo foi em 2008 (aproximadamente 255 Mtep), e o valor mais baixo foi registado no ano de 2014 (aproximadamente 241 Mtep).

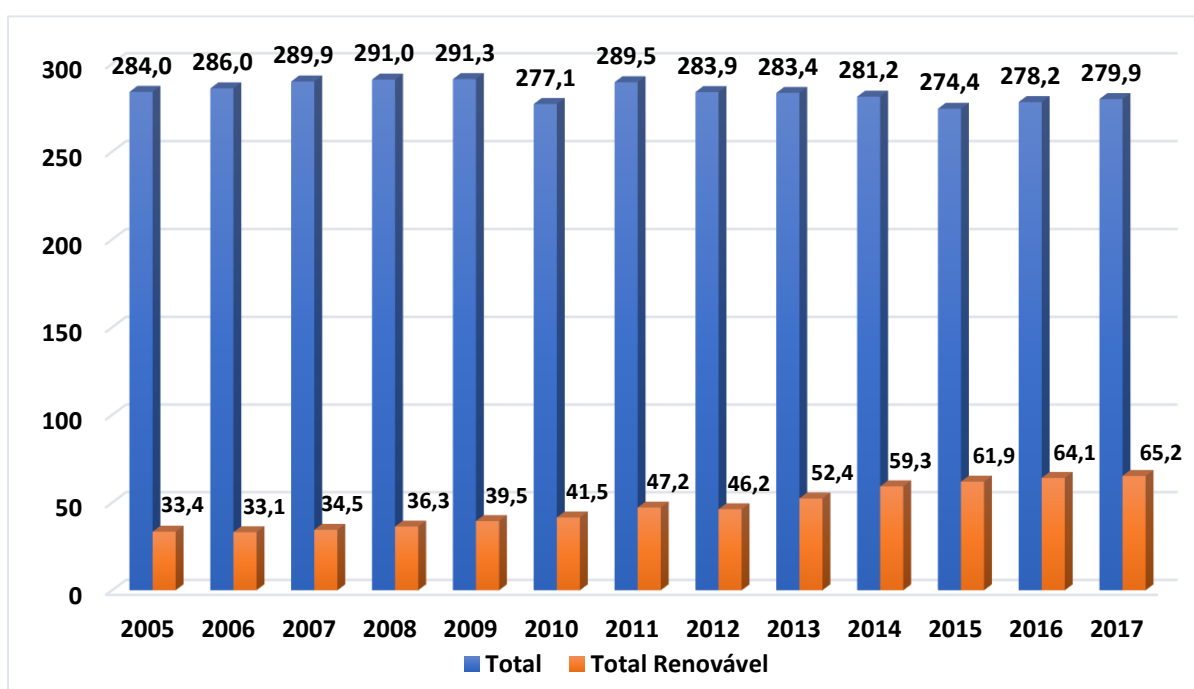


Figura 6 - Produção de Energia Elétrica na Europa: Total e Renovável [Mtep]

Tomando como referência a produção total de energia elétrica com recurso a fontes de energia renovável, verificou-se que a quantidade total produzida quase duplicou entre 2005 e 2016.

Analisando os dados recolhidos entre 2005 e 2016, para além do ano de 2011, onde se verificou a única diminuição do valor total produzido, destacam-se os anos de 2010, 2012 e de 2013, onde se verificaram os maiores aumentos de valor de produção, quando comparados com os anos anteriores. Analisando a produção de energia elétrica com recurso a fontes de energia fotovoltaica, na Figura 7 [16] verificou-se que em 2005 a sua produção era praticamente inexistente, sendo que em 2016, este tipo de produção de energia elétrica já representava quase 14% da produção total com recurso a fontes de energia renovável. Segue-se um gráfico representativo da análise concretizada no que diz respeito à produção total de energia elétrica com recurso a fontes de energia renovável, destacando igualmente a produção fotovoltaica.

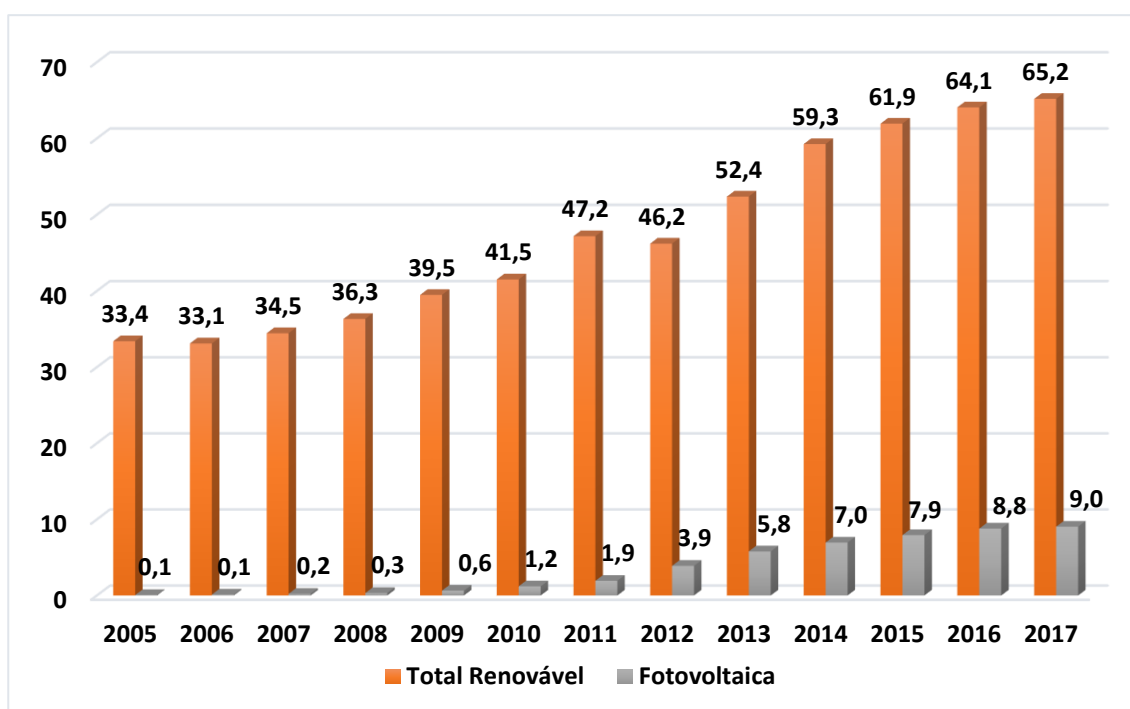


Figura 7 - Produção de Energia Elétrica na Europa: Total Renovável e Fotovoltaica [Mtep]

2.2.2 Energia Elétrica em Portugal

No âmbito da estratégia Europa 2020, para além de um crescimento inteligente (relacionado com a investigação, tecnologia, entre outros objetivos) e de um crescimento inclusivo (relacionado com o emprego, inclusão social, entre outros objetivos), Portugal estabelece como prioritário um crescimento sustentável, onde se inserem os seguintes objetivos:

- Apoiar a transição para uma economia com baixas emissões de carbono em todos os sectores;
- Promover a adaptação às alterações climáticas e a prevenção e gestão de riscos;
- Proteger o ambiente e promover a eficiência de recursos;
- Promover transportes sustentáveis e eliminar os estrangulamentos nas principais redes de infraestruturas.

No que diz respeito aos objetivos traçados para o clima e para a energia, e na sequência da análise concretizada por parte da união europeia referente aos estados-membros, Portugal estabelece algumas metas para o ano de 2020:

- Tendo em conta que as emissões de gases de efeito de estufa aumentaram 12% de 2005 a 2012, pretende-se que em 2020 o valor de emissões seja superior ao valor das emissões em 2005 em apenas 1%;
- Tal como anteriormente referido, tendo em conta o contributo das energias renováveis no consumo de energia final registado no ano de 2005 (29,5%), bem como o potencial nacional em energias renováveis, pretende-se que em 2020 o contributo seja de 31%;
- À semelhança do que ficou estabelecido por parte da união europeia a respeito da eficiência energética, e face ao consumo de energia primária registado em 2005, pretende-se um aumento da eficiência de 20%.

Face a estes objetivos, é importante analisar não só os indicadores diretamente relacionados com estes objetivos, como também é importante analisar, numa perspetiva nacional, o consumo e a produção de energia elétrica.

No que diz respeito às emissões de gases com efeito de estufa na Europa, de 1990 a 2017, em termos percentuais, na Figura 8 [17] verificou-se um aumento das emissões até ao ano de 1999, tendo-se seguido uma estabilização em torno de um valor médio de 140% até ao ano 2005, sendo que a partir do mesmo, verifica-se uma clara diminuição do valor de emissões até ao ano de 2014. Nos últimos anos analisados, verificou-se um aumento do valor das emissões face ao que foi registado em 2014.

O valor mais próximo da meta nacional para 2020 desde 2005, foi registado no ano de 2013 (quase 10% superior ao valor registado no ano de 1990, ou seja, 9% acima da meta para Portugal no ano de 2020).

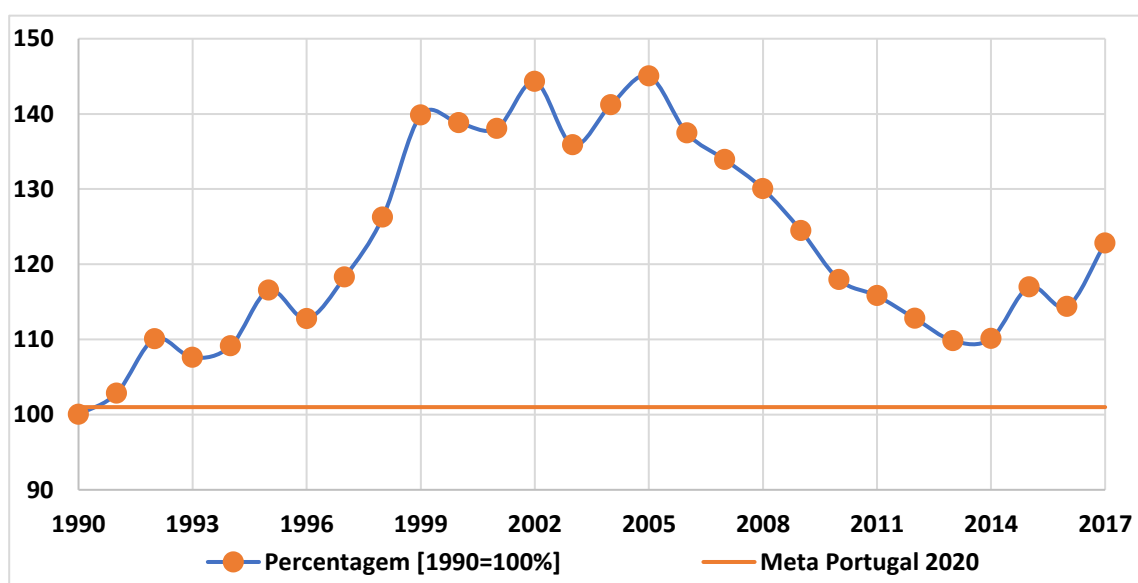


Figura 8 - Emissões de gases com efeito de estufa em Portugal [%] - valor percentual comparado com 1990 (1990 = 100%)

No que diz respeito ao consumo de energia primária, na Figura 9 [12] verificou-se uma redução progressiva do valor de consumos de 2005 a 2014, sendo que neste intervalo, apenas no ano de 2009, se registou um aumento do valor de consumo, comparativamente ao valor registado no ano anterior.

A partir do ano de 2014, regista-se uma tendência de aumento do valor de consumo de energia primária, tendo em conta os restantes valores indicados.

Entre 2011 e 2016, registaram-se valores de consumo de energia primária inferiores à meta de Portugal para 2020.

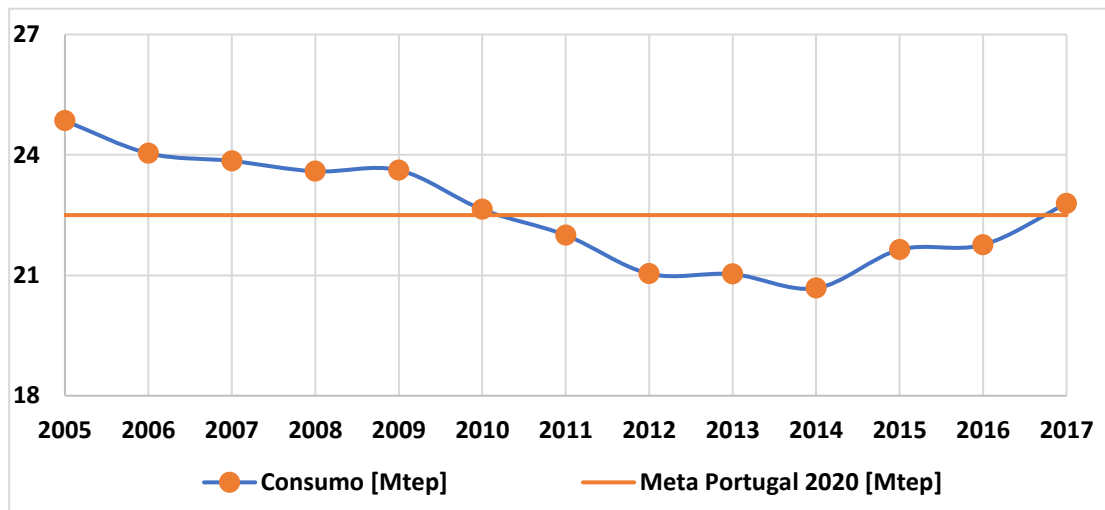


Figura 9 - Consumo de energia primária em Portugal [Mtep]

No caso do consumo de energia final, apresentado na Figura 10 [13], verificou-se uma tendência de diminuição dos valores registados entre 2005 e 2014, apesar de em 2007 ter-se verificado um aumento do valor total de consumo. É importante notar que a partir do ano de 2015, verificou-se um aumento do valor total do consumo de energia final. No entanto, desde o ano de 2011 até 2017 foram registados valores sempre abaixo da meta estabelecida para Portugal em 2020.

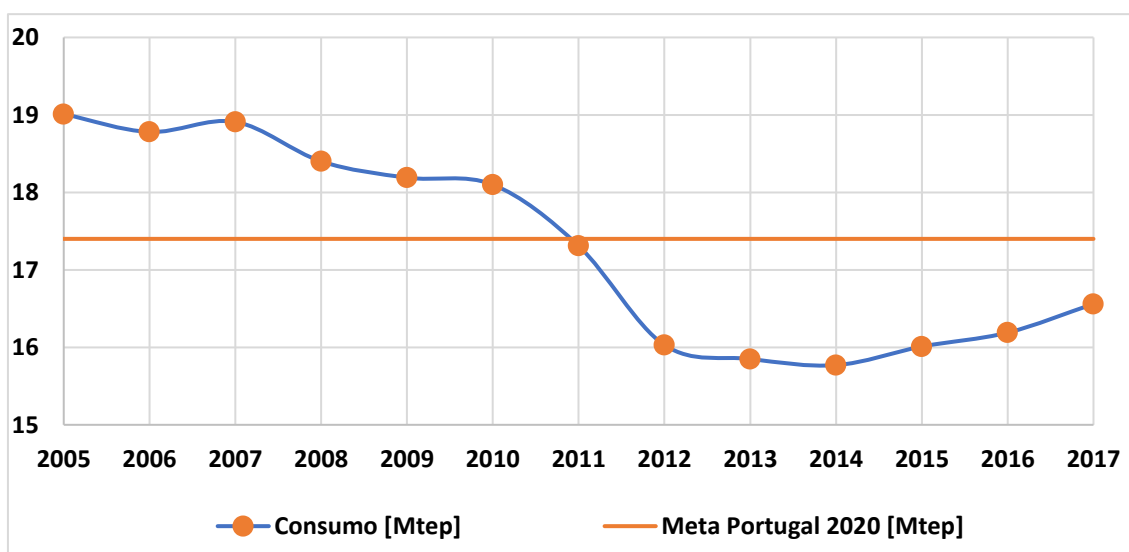


Figura 10 - Consumo de energia final em Portugal [Mtep]

No que diz respeito ao contributo das energias renováveis para o consumo de energia final a nível nacional, analisando a Figura 11 [14], verificou-se um aumento constante do contributo das energias renováveis, sendo que o valor registado no ano de 2017 (aproximadamente 28%) é aproximadamente 8,5% superior ao valor registado no ano de 2005, o que corresponde a um crescimento praticamente idêntico ao da União Europeia, em termos percentuais.

Analisando-se todos os aumentos anuais do contributo das energias renováveis desde 2005, verificou-se um aumento médio anual de aproximadamente 0,7% (tal como na União Europeia), e tendo em conta o valor registado no ano de 2017 (aproximadamente 28,1%), conclui-se que caso o aumento registado nos anos de 2018 e de 2019 fossem idênticos ao aumento médio anual indicado, a meta europeia estabelecida para 2020 não seria cumprida, sendo que se registaria um valor de aproximadamente 30,2%.

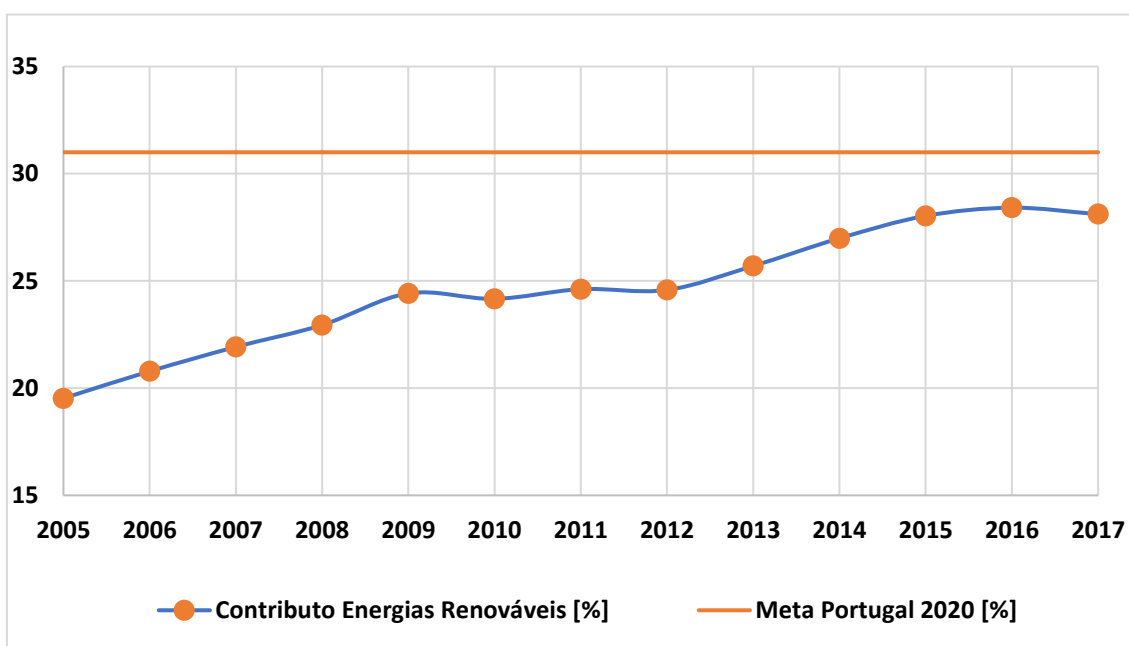


Figura 11 - Contributo das Energia Renováveis no Consumo de Energia Final em Portugal [%]

No caso do consumo de energia elétrica, na Figura 12 [16] verificou-se que o valor total registado no ano de 2005 e no ano de 2015 é praticamente idêntico, na ordem dos 4,03 Mtep, sendo que o valor mais alto registado neste intervalo de tempo foi em 2010 (aproximadamente 4,35 Mtep), e o valor mais baixo foi registado no ano de 2014 (aproximadamente 3,97 Mtep).

Por outro lado, foram analisados os consumos domésticos a nível nacional, tendo-se verificado um consumo médio na ordem dos 1,13 Mtep, o que caracteriza, em média, aproximadamente 27% do consumo total de energia elétrica, um valor que é próximo do que foi registado por parte da união europeia (28%).

Seguidamente, segue-se um gráfico que permite representar as variações anteriormente referidas, e também realçar a importância do consumo energia elétrica no setor doméstico, quando comparado com o consumo total de energia elétrica.

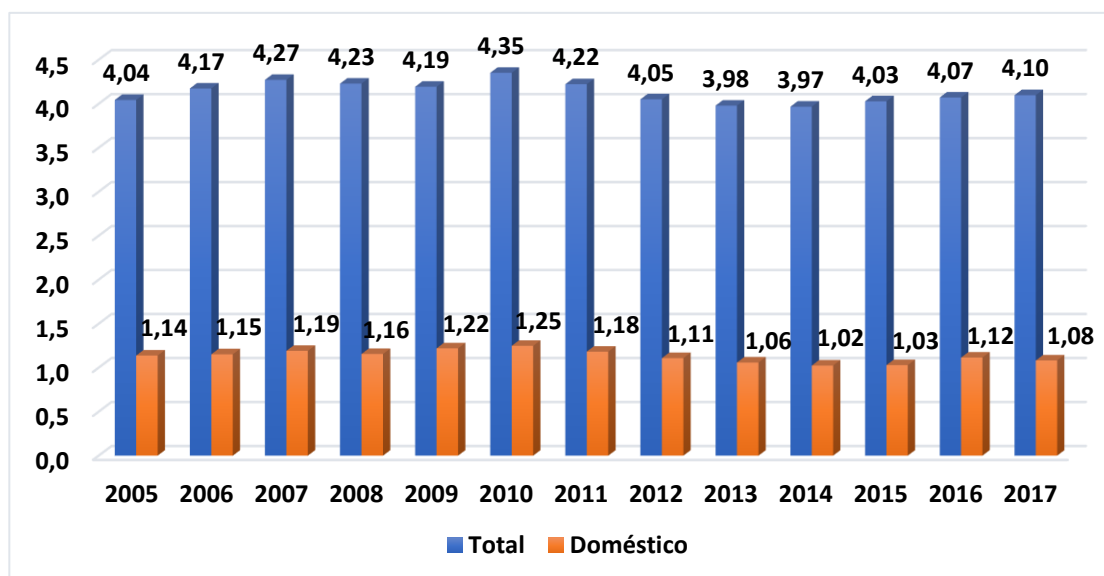


Figura 12 - Consumo de Energia Elétrica em Portugal: Total e Doméstico [Mtep]

No que diz respeito à produção de energia elétrica, verificou-se que o valor total registado no ano de 2006 e no ano de 2013 é praticamente idêntico, na ordem dos 4,01 Mtep, sendo que o valor mais alto registado neste intervalo de tempo foi em 2017 (aproximadamente 5,18 Mtep), e o valor mais baixo foi registado no ano de 2005 (aproximadamente 3,88 Mtep).

Tomando como referência a produção total de energia elétrica com recurso a fontes de energia renovável, na Figura 13 [16] verificou-se que a quantidade total sofreu muitas variações entre 2005 e 2017. Analisando os dados recolhidos entre 2005 e 2017, verificou-se uma média anual de produção na ordem dos 1,1 Mtep até 2010, e de quase o dobro entre 2010 e 2017 (aproximadamente 2,1 Mtep).

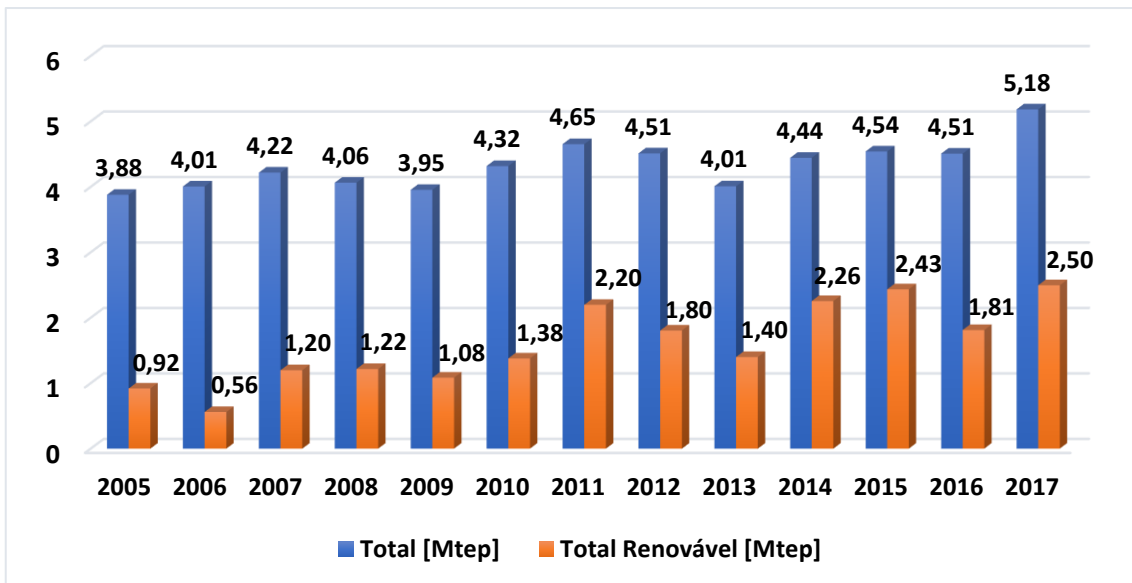


Figura 13 - Produção de Energia Elétrica em Portugal: Total e Renovável [Mtep]

Analisando a produção de energia elétrica com recurso a fontes de energia fotovoltaica, verificou-se que em 2005 e 2006 não se tem registos de produção, sendo que em 2017, este tipo de produção de energia elétrica já representa quase 3% da produção total com recurso a fontes de energia renovável, o que demonstra um aproveitamento reduzido deste tipo de fonte de energia renovável.

Segue-se a Figura 14 [16], representativa da análise concretizada no que diz respeito à produção total de energia elétrica com recurso a fontes de energia renovável, destacando igualmente a produção fotovoltaica.

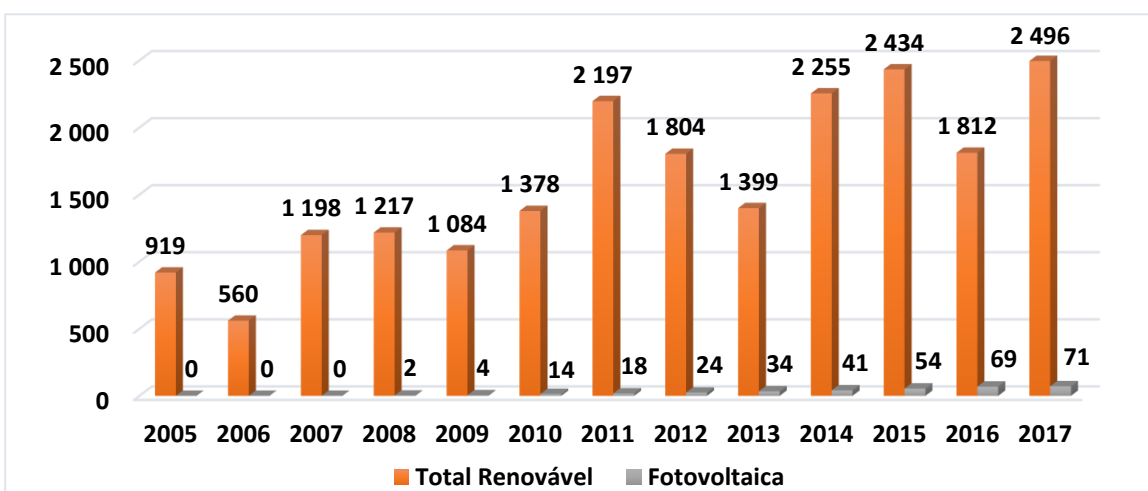


Figura 14 - Produção de Energia Elétrica em Portugal: Total Renovável e Fotovoltaica [ktep]

2.2.3 Energia Elétrica em Oeiras

Na sequência do que foi desde já analisado nos setores europeu e nacional, o concelho de Oeiras, com a adesão ao Pacto de Autarcas, assume a superação dos objetivos da União Europeia no âmbito do pacote “Clima-Energia”, no que diz respeito à redução das emissões de CO₂ em 20%, através de um aumento de 20% da eficiência energética e da quota de 20% das fontes de energia renováveis no cabaz energético da União Europeia.

No que diz respeito ao concelho de Oeiras, não existem dados concretos e específicos publicados a respeito da produção de energia elétrica anual, e por isso, tomou-se como referência os dados referentes ao consumo de energia elétrica recolhidos.

No caso do consumo de energia elétrica, verificou-se que o valor total registado aumentou desde 2005 até ao ano de 2010, em que se registou o valor mais elevado (na ordem dos 70 Mtep) sendo que a partir desse ano, registou-se uma tendência de diminuição do valor de consumo total de energia elétrica.

No ano de 2017 registou-se o valor mais baixo de consumo total, na ordem dos 56,4 Mtep, sendo que este é o valor mais recente da análise, o que representa uma redução de quase 11% comparativamente ao valor registado em 2005.

Por outro lado, foram analisados os consumos domésticos do conselho de Oeiras, tendo-se verificado um comportamento idêntico ao do consumo total e que caracteriza, em média, aproximadamente 29% do consumo total de energia elétrica, um valor que é próximo do que foi registado por parte da união europeia (28%) e a nível nacional (27%).

Seguidamente, segue-se a Figura 15 [18], que permite representar as variações anteriormente referidas, e também representar a importância do consumo energia elétrica no setor doméstico, quando comparado com o consumo total de energia elétrica.

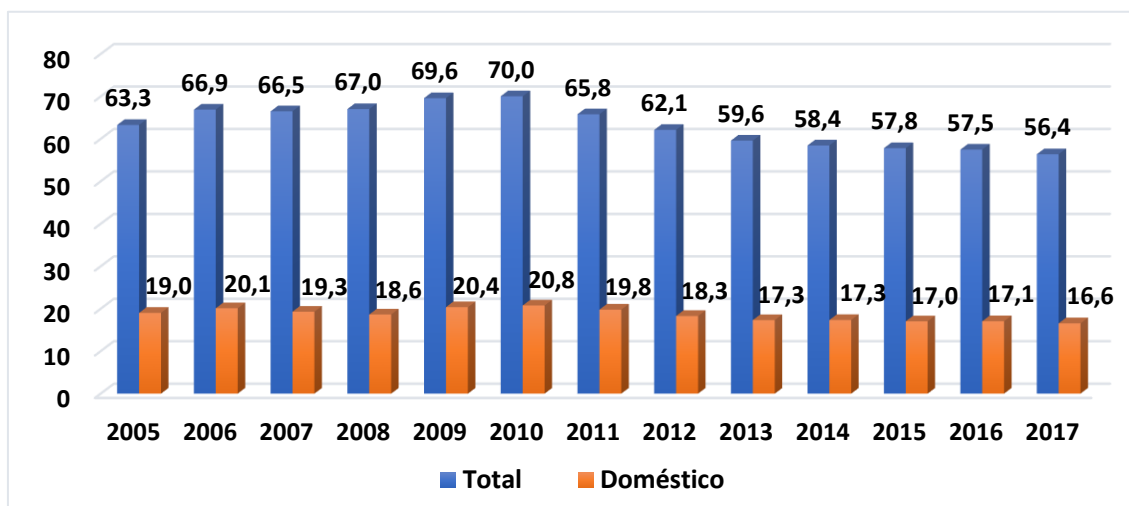


Figura 15 - Consumo de Energia Elétrica em Oeiras: Total e Doméstico [Mtep]

Tomando como referência os dados referentes ao ano de 2005, e tendo em conta que o aumento da eficiência energética pode estar associado à diminuição do consumo de energia elétrica, pode-se concluir que, de acordo com o que ficou definido no PAESO [2], a diminuição de 20% do valor total do consumo de energia elétrica até ao ano de 2020, representa aproximadamente uma diminuição de 12,7 ktep. No caso do consumo de energia elétrica de origem doméstica, 20% representam aproximadamente 3,4 ktep.

Analisando os últimos dados recolhidos da Figura 15, conclui-se ainda que no ano de 2017 esteve-se a aproximadamente 5,8 ktep de alcançar uma redução do consumo de energia elétrica total ou de aproximadamente 1,3 ktep de alcançar uma redução do consumo de energia elétrica de origem doméstica na ordem dos 20%, em comparação com os dados registados em 2005.

No que diz respeito à emissão de gases com efeito de estufa, e para efeitos de contabilização da intensidade carbónica de acordo com o estabelecido no Despacho n.º 17313/2008 [19], considera-se que o fator de emissão associado ao consumo de eletricidade é igual a 0,47 kgCO₂eq/kWh.

Do mesmo modo que foram analisados os consumos de energia elétrica, verificou-se que 20% da sua emissão total de gases com efeito de estufa, representam aproximadamente 69 ktonCO₂eq, e que do ponto de vista do consumo de energia elétrica de origem doméstica representam aproximadamente 20 ktonCO₂eq.

Analisando os dados recolhidos em 2017, verificou-se que nesse mesmo ano esteve-se a aproximadamente 31 ktonCO₂eq de alcançar uma redução das emissões referentes ao consumo de energia elétrica total ou de aproximadamente 7 ktonCO₂eq de alcançar uma redução das emissões referentes ao consumo de energia elétrica de origem doméstica na ordem dos 20%, em comparação com os dados registados em 2005.

Sendo assim, pode-se considerar que, mais do que ações de sensibilização para a redução dos consumos de energia elétrica por parte dos consumidores na sua vida quotidiana, uma aposta forte na produção de energia elétrica através de fontes de energia renovável traduzirá não só em uma diminuição das emissões de gases com efeito de estufa, como também em um aumento do contributo deste tipo de fontes na produção de energia elétrica, de modo a alcançar as metas definidas para o ano de 2020.

Analisando o concelho de Oeiras do ponto de vista das energias renováveis [2], verificou-se o seguinte:

- No que diz respeito ao aproveitamento de energia proveniente das ondas e das marés, esta é uma área tecnológica em desenvolvimento e investigação, sendo que no ano de 2010 a mesma não se encontrava com um elemento relevante para o PAESO;
- No caso da energia geotérmica e eólica, apesar destas soluções de aproveitamento estarem implementadas no concelho, constata-se que o potencial de penetração deste tipo de fontes de energia é inferior a outros tipos de fontes de energia renovável, sendo que no caso da energia eólica foi possível verificar que existem poucas localizações dentro do território do concelho que seriam compatíveis com a instalação de torres eólicas convencionais devido a sua ocupação predominantemente urbana;
- Por último, no caso da energia solar, considera-se que a mesma possui um potencial de penetração muito elevado no concelho, tendo em conta

o número de exposição solar na ordem das 3000 h/ano, uma atmosfera parcialmente transparente e suscetível de penetração de energia solar, bem como a quantidade elevada de edifícios que não possuem equipamentos solares instalados, sendo que em 2001, o número de edifícios sem soluções de aproveitamento deste recurso, eram sensivelmente 12 vezes superior ao número de edifícios com equipamentos solares instalados.

Face à presente recolha de informação, no que diz respeito ao aproveitamento de fontes de energia renovável, pode-se concluir que apesar das fontes de energia solar carecerem de uma forte aposta de aproveitamento da mesma, o aumento de produção de energia elétrica recorrendo a este tipo de fonte poderá ser uma solução relevante para o cumprimento de metas futuras estabelecidas ao nível da sustentabilidade do concelho, e conseqüentemente a nível nacional e europeu.

2.3 Fontes de Energia Solar

Tendo em conta a expansão das energias renováveis e a implementação de leis governamentais em prol da sustentabilidade mundial, uma das fontes mais utilizadas e com maior potencial de crescimento é o sol, sendo que a energia proveniente da luz e do calor do mesmo é denominada de energia solar.

2.3.1 Tipologia e Investigação

Do ponto de vista do seu aproveitamento, a energia solar divide-se em energia solar fotovoltaica e energia solar térmica.

A energia solar térmica consiste na transformação da irradiação solar direta em energia térmica.

Este tipo de energia solar é utilizado sobretudo no aquecimento de água de uso doméstico ou de processos industriais, evitando o uso de eletricidade ou de gás.

No que diz respeito à energia solar fotovoltaica, a radiação solar é convertida em energia elétrica por intermédio de semicondutores, que são configurados em elementos denominados de células fotovoltaicas.

Existem vários tipos de células de solares [20], tais como:

- **Células monocristalinas:** Células que representam a primeira geração das células fotovoltaicas. A sua eficiência energética é relativamente elevada (aproximadamente 16%, podendo subir até cerca de 23% em laboratório), mas as técnicas utilizadas na sua produção são complexas e caras, sendo necessária uma grande quantidade de energia no seu fabrico, devido à exigência de utilizar materiais em estado muito puro e com uma estrutura de cristal perfeita.
- **Células policristalinas:** Células com um custo de produção inferior por necessitarem de menos energia no seu fabrico, mas apresentam uma eficiência energética inferior (entre 11% e 13%, obtendo-se até 18% em laboratório). Esta redução de eficiência é causada pela imperfeição do cristal, devido ao sistema de fabrico.
- **Células de silício amorfo:** Estas células são as que apresentam o custo mais reduzido, mas que em contrapartida a sua eficiência energética é também a mais reduzida (aproximadamente 8% a 10%, ou 13% em laboratório). As células de silício amorfo são películas muito finas.

As células de silício monocristalino são historicamente as mais usadas e comercializadas como conversor direto de energia solar em eletricidade.

A fabricação da célula de silício começa com a extração do cristal de dióxido de silício, sendo que este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Este processo atinge um grau de pureza entre 98 e 99% o que é razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético e económico.

Este silício para funcionar como células fotovoltaicas necessita de outros dispositivos semicondutores, de um alto grau de pureza (na ordem dos 99,9%), de ter a estrutura monocristalina e baixa densidade de defeitos na rede, sendo que o processo mais utilizado para se chegar as qualificações desejadas é chamado “processo *Czochralski*”.

Neste processo, o silício é fundido juntamente com uma pequena quantidade de um “elemento químico dopante”, normalmente o boro que é do tipo p.

Com um fragmento do cristal devidamente orientado e sob um rígido controle de temperatura, vai-se extraindo do material fundido um grande cilindro de silício monocristalino levemente dopado.

Este cilindro obtido é cortado em fatias finas, sendo que após o corte e limpeza de impurezas das fatias, deve-se introduzir impurezas do tipo N de forma a obter a junção. Este processo é feito através da difusão controlada onde as fatias de silício são expostas a vapores de fósforo em um forno onde a temperatura varia entre 800 °C a 1000 °C.

Dentro da gama de células fotovoltaicas que utilizam o silício como material base, as monocristalinas são, em geral, as que apresentam as maiores eficiências. Um painel solar que use estas células solares obtidas com o processo descrito, atingem uma eficiência de até 15% podendo chegar em 18% em células feitas em laboratórios.

Uma vez que cada célula produz uma corrente contínua de intensidade relativamente fraca, procede-se à associação de várias células, sendo que o conjunto é denominado de módulo fotovoltaico. Consequentemente, o agrupamento de vários módulos fotovoltaicos, colocados na mesma estrutura de suporte, formam um painel fotovoltaico.

Quando a luz solar incide com energia suficiente nestas estruturas, produz-se uma corrente de elétrons, obtendo-se assim energia elétrica utilizável.

A obtenção de eletricidade deve-se ao efeito fotovoltaico, identificado por *Edmond Becquerel* em 1839, e que implica o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semiconductor devido à absorção de luz. Alguns investigadores como *Albert Einstein*, *Nikola Tesla*, *Michael Faraday*, *Heinrich Hertz* e *James Clerk Maxwell* proporcionaram a base teórica do efeito fotovoltaico.

2.3.2 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser operados em três formas distintas [21]:

- Ligados à rede elétrica nacional pré-existente, à qual entrega toda a energia produzida através da radiação solar existente. Para tal é necessária a existência de um conversor DC / AC (ou inversor), uma vez que este permite transformar as grandezas elétricas de contínuas em alternadas, compatíveis com a rede;
- Em sistema isolado (autónomo), alimentando diretamente as cargas, pois assim o sistema fica dimensionado para fornecer energia durante todo o ano. Em associação com os painéis fotovoltaicos, é ainda necessário a colocação de mais três equipamentos: baterias de acumuladores, regulador de carga e inversor;
- Em sistema híbrido, alimentando diretamente as cargas, em conjunto com outra fonte de energia disponível, como outros conversores de energia renovável ou a rede elétrica. Tem um funcionamento semelhante com o sistema isolado, no entanto, em vez de baterias como back-up, possui um dos sistemas acima mencionados.

A particularidade dos sistemas ligados à rede consiste no facto de ser possível o fluxo de potência entre o próprio sistema e a rede pública, sendo que no caso de haver excesso de produção dos painéis, é possível fornecer esse excesso à rede, ou se necessário, "pedir" energia à rede em caso de insuficiência de energia produzida. Em resumo, o fluxo de potência num equipamento desta natureza depende da luz solar e da necessidade do cliente.

No caso dos sistemas fotovoltaicos autónomos, estes são ideais para áreas rurais remotas e aplicações, onde outras fontes de energia são impraticáveis ou que não estão disponíveis para fornecer energia para iluminação, eletrodomésticos e outros usos. Nestes casos, é mais rentável instalar um único sistema fotovoltaico autónomo do que pagar os custos de ter a empresa de eletricidade local estendendo as linhas de energia e cabos diretamente para o local onde está instalada a carga.

As sucessivas evoluções tecnológicas e a diminuição dos custos de produção nos países industrializados [22], poderão também contribuir para a generalização deste tipo de aplicação. Na prática, os sistemas autónomos precisam de acumular energia, para compensar as diferenças existentes no tempo entre a produção de energia e a sua procura.

As baterias recarregáveis são consideradas apropriadas como acumuladores de energia, sendo que no geral, a utilização das mesmas obriga a que se torne indispensável a utilização de um regulador de carga adequado que faça a gestão do processo de carga, por forma a proteger e a garantir uma elevada fiabilidade e um maior tempo de vida útil dos acumuladores.

Assim sendo, um sistema autónomo típico consta dos seguintes componentes: gerador fotovoltaico (composto por um ou vários módulos fotovoltaicos, maioritariamente dispostos em paralelo), regulador de carga e acumulador de energia.

No caso dos sistemas ligados à rede, para além da sua interligação com a rede pública de energia, este é composto pelos seguintes componentes: gerador fotovoltaico (vários módulos fotovoltaicos dispostos em série e em paralelo, com estruturas de suporte e de montagem), caixa de junção (equipada com dispositivos de proteção e interruptor de corte principal DC), cabos AC-DC, inversor, mecanismo de proteção e aparelho de medida ou de processos industriais, evitando o uso de eletricidade ou de gás.

2.3.3 Componentes do Sistema Fotovoltaico

Para além dos componentes de interligação ou de fixação das várias partes do sistema, é importante conhecer a função de outros componentes que fazem parte de um sistema fotovoltaico [21]:

- **Módulo Solar:** é responsável pela captação e produção de energia;
- **Caixa de junção:** contém terminais, aparelhos de corte e, se necessário, fusíveis de fileira e díodos de bloqueio das fileiras, sendo que frequentemente, é também instalado um descarregador de sobretensões para desviar as sobretensões para a terra;
- **Inversor:** O inversor solar estabelece a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede AC ou a carga AC. A sua principal tarefa consiste em converter o sinal elétrico DC do gerador fotovoltaico num sinal elétrico AC, e ajustá-lo para a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado;
- **Interruptor principal DC:** Este equipamento permite isolar o inversor do gerador fotovoltaico na eventualidade da ocorrência de falhas, ou para a condução de trabalhos de manutenção e de reparação;
- **Controlador de carga:** este equipamento permite otimizar a carga nas baterias, proteger contra sobrecargas, informar acerca do estado da carga e prevenir o sistema contra correntes indesejáveis e/ou elevadas.

Cada um destes equipamentos tem de ser devidamente dimensionado de forma a permitir que o sistema fotovoltaico obtenha a máxima eficiência possível.

2.3.4 Características da Radiação Solar

De toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. A quantidade total de energia que atinge a superfície de uma determinada área é denominada Irradiação Solar Global e divide-se em três componentes, tal como pode-se observar na Figura 16 [23]:

- **Radiação direta:** que passa em linha reta (linha de vista) através da atmosfera até ao coletor;
- **Radiação difusa:** que é espalhada pelas moléculas, aerossóis, partículas e humidade presentes na atmosfera, e que pode ainda ser refletida sucessivamente entre as nuvens e o solo;
- **Radiação refletida:** no solo ou em superfícies situadas em frente ao coletor

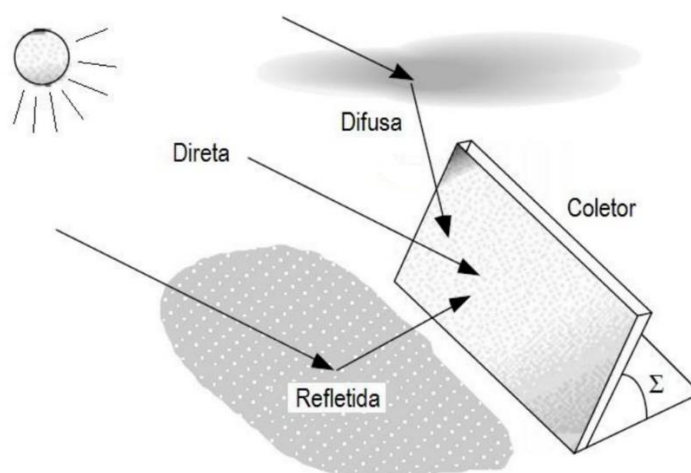


Figura 16 - Componentes da radiação solar incidente num coletor

Para a avaliação do potencial de aproveitamento da energia solar num determinado local é mais importante estimar a insolação incidente média em condições reais do que calculá-la apenas em condições de céu limpo.

A caracterização de um determinado período solar pode ser feita através de um índice de claridade (K_T), definido como a relação entre a insolação média nesse período sobre uma superfície horizontal situada no local, e a insolação média numa superfície horizontal situada fora da atmosfera.

Analisando o índice de claridade, conclui-se que o mesmo varia entre 0 e 1, sendo estes extremos teoricamente representativos de uma atmosfera totalmente transparente à radiação solar ($K_T = 1$) e de totalmente opaca ($K_T = 0$).

É usual que, para valores de K_T até 0,3 o dia encontra-se nublado (radiação maioritariamente difusa), e que para valores de K_T superiores a 0,6, o dia está com céu limpo (radiação maioritariamente direta).

2.3.5 Vantagens e Desvantagens

Certamente que a energia solar fotovoltaica tem as suas desvantagens, como os custos elevados de instalação, a necessidade de uma elevada densidade de insolação para trabalhar a um ritmo constante e produtivo, os impactos ambientais durante as fases de produção, construção e desmantelamento ou a necessidade de substituição das baterias e/ou de outro equipamento destes sistemas.

Por outro lado, estes sistemas permitem o armazenamento de eletricidade gerada por intermédio de baterias, diminuem as dependências externas em termos de importação de recursos provenientes de combustíveis fósseis, operam com pouca manutenção e ajudam a reduzir a emissão de CO_2 por serem fontes de energia livre, limpa e renovável.

Capítulo III

3. Caracterização do perfil energético e demográfico da freguesia de Barcarena

Resumo:

Neste capítulo são apresentados os perfis demográfico e energéticos da Freguesia de Barcarena e os casos de estudo da presente análise.

3.1 Perfil demográfico da freguesia de Barcarena

A freguesia de Barcarena está situada no interior do concelho de Oeiras, com 9,01 km² de área e com cerca de 13861 habitantes registados no ano de 2011, o que faz desta freguesia a que regista menor densidade populacional do concelho (1538 residentes/km² registados em 2011) [24].

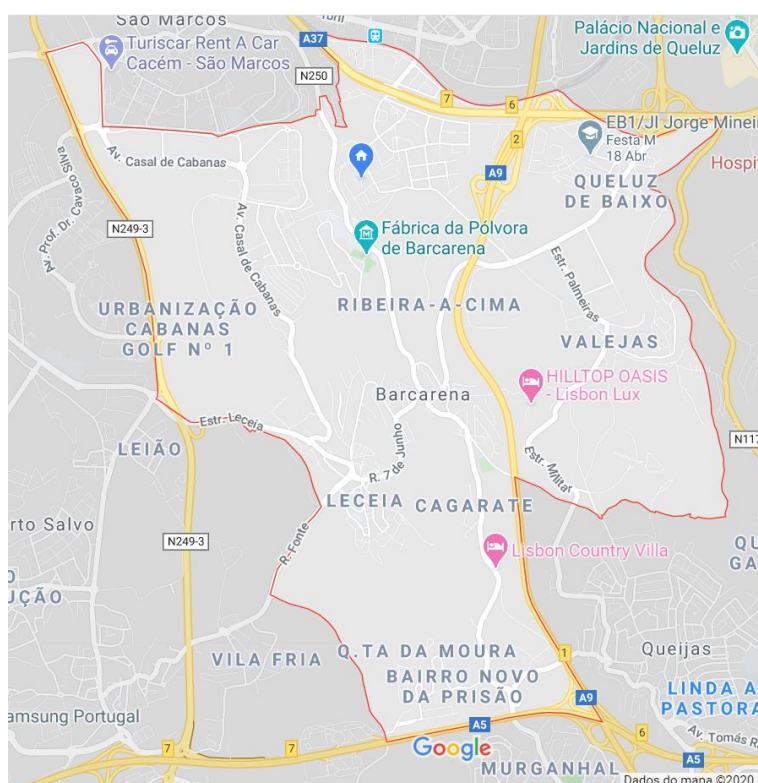


Figura 17 - Localização da Freguesia de Barcarena

A reduzida densidade populacional registada na freguesia de Barcarena representada na Figura 17, faz com que a mesma apresente concentrações populacionais dispersas entre si, sendo que na presente dissertação é possível dividir a freguesia em 7 lugares: Barcarena, Fábrica da Pólvora, Leceia, Queluz de Baixo, Quinta da Moura, Tercena e Valejas.

Os dados recolhidos nos censos de 2011 permitem apresentar de forma fidedigna a população total por lugar pela freguesia, tal como pode-se constatar na Tabela 1 [25].

Tabela 1 - Número de residentes de edifícios habitacionais por lugar (Censos 2011)

Lugares	Número de Residentes por lugar (2011)	Distribuição da população pela Freguesia (%)
Barcarena	2091	15%
Fábrica da Pólvora	833	6%
Leceia	1653	12%
Queluz de Baixo	3392	24%
Quinta da Moura	243	2%
Tercena	4364	31%
Valejas	1331	10%
Total	13907	100%

No que diz respeito ao número de residentes, o concelho de Oeiras apresentava em 2011, cerca de 172120 residentes [25], o que faz com que a freguesia de Barcarena tenha uma representação de cerca de 8% da população residente no concelho.

Devido à dispersão populacional anteriormente referida, e atendendo à configuração diferenciada dos edifícios ao longo dos vários lugares da freguesia, existem números distintos de alojamentos por cada edifício habitacional que varia entre 1 alojamento por edifício no caso da Quinta de Moura e 5 alojamentos por edifício no caso de Queluz de Baixo, tal como pode-se verificar na Tabela 2 [26].

Tabela 2 - Média de Alojamentos por edifício, por lugar

Lugares	Alojamentos por Edifício (2011)
Barcarena	2,9
Fábrica da Pólvora	1,3
Leceia	1,5
Queluz de Baixo	5
Quinta da Moura	1
Tercena	3,7
Valejas	1,9

No entanto, e após um levantamento de todos os edifícios registados na freguesia de Barcarena, identificou-se uma elevada percentagem de edifícios com apenas um alojamento, tal como pode-se observar na Tabela 3 [27].

De referir ainda que, em 2011, a freguesia de Barcarena representava uma dimensão média de famílias superior ao concelho de Oeiras (2,52 e 2,38 respetivamente), mas ainda inferior à média nacional (2,58) [28].

Tabela 3 - Número de edifícios na freguesia de Barcarena por número de alojamentos

Nº Alojamentos	Barcarena	Distribuição de Edifícios pela Freguesia (%)
1 alojamento	1666	71%
2 alojamentos	142	6%
3 alojamentos	56	2%
4 alojamentos	49	2%
5 - 9 alojamentos	297	12%
10 - 15 alojamentos	132	6%
16 ou mais alojamentos	16	1%
Total	2358	100%

O facto de a freguesia de Barcarena possuir uma elevada percentagem de edifícios com apenas um alojamento, faz com que o processo de introdução de fontes de energia solar fotovoltaica nas habitações seja mais ágil e menos burocrático, pois não necessita de decisões mais abrangentes como é o caso dos edifícios habitacionais com vários alojamentos, em que é necessária a deliberação de todos residentes do edifício.

Para além da configuração dos edifícios, e geográfica dos terrenos, Barcarena é das freguesias do concelho de Oeiras com mais áreas livres de terreno, o que traduz em parte o maior crescimento populacional registado no concelho por parte da freguesia, e conseqüentemente traduz no aumento da percentagem da população residente na mesma em comparação com a população residente no concelho.

A existência de áreas livres em uma época em que o desenvolvimento sustentável começa a tornar-se em uma prioridade global, facilita por si, a implementação de fontes de energia renovável.

Com estes dados, pode-se constatar que, apesar da freguesia de Barcarena representar, em 2011, menos de um décimo da população do concelho de Oeiras, a mesma possui características particulares que são favoráveis à implementação de soluções de produção de energia solar

fotovoltaica (secção 2.2.3), que se forem aplicadas na maioria dos edifícios habitacionais da freguesia, constituirão um impacto importante e fundamental do ponto de vista ambiental e energético no concelho de Oeiras.

Os dados apresentados no presente ponto bem como outros dados referentes ao perfil demográfico da freguesia podem ser observados no ANEXO I.

3.2 Perfil energético da freguesia de Barcarena

No que diz respeito ao perfil energético da freguesia, é importante conhecer os consumos de energia elétrica por parte dos residentes da freguesia, de forma a desenvolver soluções que permitam responder às necessidades da população, neste caso em particular, ao consumo de energia elétrica de origem doméstica.

Devido à impossibilidade da obtenção de dados concretos referentes à produção e consumo de energia elétrica, esta análise baseou-se nos dados recolhidos nos censos de 2011.

Deste modo, na Tabela 4 tem-se a indicação da dimensão média de famílias do concelho de Oeiras e da Freguesia de Barcarena, bem como o consumo de energia elétrica por habitante, total e doméstico, no concelho de Oeiras.

Tabela 4 - Dados do Concelho de Oeiras

Dados	Oeiras
Consumo de energia elétrica por habitante (kWh/ hab. / ano) [29]	4436,3
Consumo doméstico de energia elétrica por habitante (kWh/ hab. / ano) [30]	1334,1
Dimensão média das famílias clássicas (N.º) [28]	2,38

Tendo em conta a população residente do concelho de Oeiras (172120 residentes [25]), bem como os dados presentes na Tabela 4, calculou-se para o ano de 2011, um consumo total de energia elétrica na ordem dos 763 GWh e um consumo doméstico na ordem dos 229 GWh, multiplicando o número de residentes pelos valores de consumo médio por habitante apresentados.

Comparando estes valores com os dados apresentados na Figura 15 da secção 2.2.3, e tendo em conta as grandezas em causa (considerando 1 tep = 11630 kWh [31]), é possível validar os dados anteriormente referidos.

Deste modo, é possível utilizar-se os mesmos dados para a freguesia de Barcarena, à exceção da dimensão média de famílias, pois conhece-se o dado concreto da freguesia (2,52 [28]). Para a Tabela 5, considerou-se a população residente indicada na Tabela 1 (13907 habitantes [25]).

Tabela 5 - Consumos de energia elétrica da freguesia (total e por habitante)

Dados	Consumo anual por habitante (kWh)	Consumo anual da freguesia (GWh)
Consumo total de energia elétrica	4436,3	61,7
Consumo doméstico de energia elétrica	1334,1	18,6

Com recurso a outros dados recolhidos por parte dos censos de 2011, consegue-se identificar que aproximadamente 30% dos consumos de eletricidade estão associados à população que reside em habitações unifamiliares (edifícios habitacionais com apenas um alojamento) da freguesia, estimando-se que, tendo em conta o que foi referido na secção 3.1, esta população é a que se encontra em melhores condições para implementar um sistema de produção de energia solar fotovoltaica.

De acordo com o PAESO 2010 [2], e na sequência do que foi indicado na secção 2.2.3, em 2001, registava-se um total de 1615 painéis solares, correspondentes a uma área de cerca de 4750 m² de painéis distribuídos por 686 edifícios do concelho de Oeiras, o que representava um aproveitamento praticamente nulo deste recurso renovável, tendo em conta que em 2001 registavam-se 16052 edifícios habitacionais.

Com os dados recolhidos, pode-se concluir que a implementação de fontes de energia solar fotovoltaica nos edifícios habitacionais da freguesia de Barcarena tem impactos relevantes no desenvolvimento sustentável da freguesia sobretudo no objetivo definido para a redução de emissões de gases com efeito de estufa, sendo que a mesma implementação permite

consciencializar igualmente a população para à redução dos consumos de eletricidade, não só a nível doméstico como também em todas as atividades quotidianas da freguesia.

Os dados apresentados no presente ponto bem como outros dados referentes ao perfil energético da freguesia podem ser observados no ANEXO II.

3.3 Definição dos casos de estudo

Tendo em conta os dados recolhidos a respeito da freguesia, e de forma a apresentar um estudo de viabilidade energética e económica coincidente com a realidade da freguesia de Barcarena, é importante elaborar três casos de estudo.

Para cada um dos casos de estudo, considera-se que a solução ótima é a que corresponde o período de retorno de investimento inferior, no qual as poupanças acumuladas pela implementação da mesma são superiores aos custos de operação e de investimento.

No primeiro caso de estudo, são analisadas as soluções ótimas de implementação de fontes de energia solar fotovoltaica nos edifícios de habitação unifamiliar da freguesia de Barcarena.

No que diz respeito ao segundo caso de estudo, são adicionadas as soluções ótimas de implementação dos edifícios de habitação multifamiliar (com mais do que um alojamento por edifício) da freguesia de Barcarena.

Por último, no terceiro caso de estudo, para além dos edifícios de habitação presentes no segundo caso de estudo, são adicionadas as soluções ótimas de implementação dos edifícios de serviços da freguesia de Barcarena.

Para concretizar esta análise, são selecionados 100 edifícios habitacionais distribuídos pela freguesia de Barcarena (ver ANEXO III) e cerca de 21 edifícios de serviços da mesma (ver ANEXO IV).

É importante ter em conta que, devido às múltiplas configurações de edifícios existentes na freguesia, a escolha dos 100 edifícios habitacionais tem em conta a distribuição de edifícios pela freguesia em termos percentuais, a percentagem de edifícios com 1 ou mais alojamentos e ainda os vários tipos de edifícios habitacionais que existem na freguesia.

Com a definição dos três casos de estudo anteriormente referidos, pretende-se desenvolver uma solução economicamente viável para a freguesia de Barcarena, que do ponto de vista energético e ambiental tenha um forte impacto no cumprimento dos objetivos traçados pelo concelho de Oeiras para o ano de 2020.

Na eventualidade do incumprimento dos objetivos anteriormente referidos por parte dos três casos de estudo, serão desenvolvidas outras alternativas, ou seja, outros casos de estudo, que serão analisados do ponto de vista económico e energético à semelhança dos casos de estudo 1, 2 e 3.

3.4 Metodologia

Tal como está apresentado nos pontos anteriores do capítulo 3, identificou-se o número de habitantes, bem como o tipo de edifícios presentes na freguesia de Barcarena (edifícios de habitação unifamiliar, habitação multifamiliar e de serviços), assim como os dados referentes à constituição média das famílias e os dados de consumo médio por habitante, definindo deste modo o perfil demográfico e energético da mesma.

Conhecido o consumo total da freguesia, analisou-se a implementação de soluções de produção de energia solar fotovoltaica para cada um dos tipos de edifício em análise.

Para esse efeito, a Plataforma *Green Energy* [32] apresenta dados referentes não só à exposição solar de cada edifício, como apresenta a respetiva área disponível para a instalação de painéis solares fotovoltaicos, o que permite apresentar soluções de instalação, nomeadamente a quantidade de painéis a utilizar de forma a obter o melhor Payback com a maior produção possível, conhecida como solução ótima.

De seguida, analisou-se os mesmos edifícios utilizando o *Google Maps* [33] de forma a validar a área disponível para a instalação de painéis solares fotovoltaicos, e utilizou-se a ferramenta online PVGIS [34], com vista a validar os dados referentes à exposição solar.

Conhecida a relação entre os valores obtidos em cada uma das ferramentas de análise anteriormente referidas, foram estabelecidos dados médios mensais referentes à irradiância e temperatura de vários lugares da

freguesia em estudo, assim como a área média disponível para painéis solares e o número médio de painéis utilizados para a solução ótima anteriormente referida.

De seguida, foram analisados os painéis fotovoltaicos presentes nas soluções ótimas a apresentar, sendo que através dos dados recolhidos do catálogo do modelo escolhido, calculou-se a quantidade de energia produzida por um painel fotovoltaico, com recurso a metodologias de cálculo, o que por sua vez permite calcular a energia produzida por um conjunto de painéis instalados num dado edifício.

Conhecendo a energia produzida por cada conjunto de painéis, e sabendo a quantidade média de painéis necessários para cada um dos tipos de edifício anteriormente referidos (habitação unifamiliar, habitação multifamiliar e serviços), elaborou-se três casos de estudo, em que foram adicionados progressivamente os três tipos de edifícios em análise.

Para cada um dos casos de estudo, determinou-se a energia total produzida e o contributo renovável que cada caso de estudo tem no consumo total de energia elétrica da freguesia.

Do ponto de vista ambiental, calculou-se as emissões de CO₂ evitadas pela implementação de cada dos casos de estudo da freguesia, sendo que os valores calculados foram comparados com os objetivos traçados para o concelho de Oeiras no ano de 2020.

A nível económico, foram calculadas e analisadas todas as despesas inerentes à implementação de uma solução fotovoltaica no sistema de produção de eletricidade da freguesia em análise, nomeadamente o custo dos equipamentos necessários, os custos de instalação, os custos de operação e os custos de manutenção.

De seguida, foi calculada a receita de cada um dos casos de estudo, considerando apenas o custo total do consumo da tarifa evitado pela implementação de cada uma das soluções implementadas.

Por último, e tendo em conta as despesas e as receitas calculadas, analisou-se, para um período de 25 anos os seguintes indicadores económicos: VAL, TIR e Payback.

O presente estudo de viabilidade económica e energética teve como referência os dados recolhidos em [35].

Capítulo IV

4. Análise e Estudo de viabilidade da inclusão de fontes de energia solar

Resumo:

Neste capítulo é apresentada a análise e o estudo de viabilidade económica e energética da inclusão de fontes de energia solar fotovoltaica na freguesia de Barcarena

4.1 Princípios do Estudo de Viabilidade

Do ponto de vista energético e ambiental, pretende-se ir ao encontro das metas definidas pela União Europeia (Pacote Clima-Energia), a nível nacional (Portugal 2020) e ainda ao nível do concelho de Oeiras (PAESO), no que diz respeito às emissões de gases com efeito de estufa, à eficiência energética, e ainda do contributo das energias renováveis na produção e consumo de energia elétrica.

Tendo em conta que se pretende uma redução de emissões de pelo menos 20% e de um aumento da eficiência energética associado a um contributo de energia renováveis no consumo e na produção de energia de 20%, pretende-se que as medidas implementadas na freguesia de Barcarena, tenham um impacto do ponto de vista energético e ambiental coincidentes com estes objetivos, comparando os valores registados em 2005 com os valores estimados após a implementação destas medidas.

É importante referir que no caso das emissões de gases com efeito de estufa, e tal como indicado no ponto 2.2.3, considerou-se que o fator de emissão associado ao consumo de eletricidade é igual a 0,47kg CO₂eq/kWh [19].

No caso da eficiência energética, pretende-se registar um aumento no consumo de energia elétrica e conseqüentemente um aumento na produção de energia elétrica, sendo que as medidas impulsionadas pelo presente estudo de viabilidade, terão um impacto direto na produção de eletricidade sobre a forma de fontes de energia renováveis, traduzindo um aumento do contributo das mesmas no perfil energético da freguesia.

O contributo das energias renováveis, será analisado através da implementação de fontes de energia solar fotovoltaica na produção de energia da freguesia de Barcarena, tendo em conta os valores registados desde 2005, considerando que o aumento da exploração desta fonte de produção de eletricidade permite o cumprimento dos objetivos traçados pelo concelho de Oeiras, tendo em conta a sua importância do ponto de vista populacional, geográfico, energético e ambiental.

Do ponto de vista económico, analisam-se os principais indicadores de rentabilidade, tal como o Valor Atualizado Líquido (VAL), a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o respetivo tempo de retorno do investimento (*Payback*).

O VAL avalia a soma de todas as receitas e custos, atualizados a uma determinada taxa, desde o início até ao final do horizonte temporal do projeto.

A taxa interna de rentabilidade do projeto determina a taxa que torna o VAL zero para um dado horizonte temporal.

A análise é efetuada para uma taxa de atualização de 10%, que está compreendida nos intervalos apresentados em [36]), sendo esta taxa uma medida do risco inerente ao projeto, utilizada para atualizar receitas ou custos que apenas ocorrem no futuro.

De forma a realizar a análise e o estudo no presente capítulo, é necessário definir-se o modelo matemático que, através das características dos equipamentos a considerar num dado sistema fotovoltaico, permita definir a energia produzida em cada um dos casos de estudo.

Por outro lado, é importante analisar as características da freguesia de Barcarena, no que diz respeito à exposição solar e ao espaço disponível para à instalação de um sistema fotovoltaico, tendo em conta os vários tipos de edifícios de habitação e de serviços.

Definindo os custos associados à implementação destes sistemas, bem como o seu perfil de produção, é possível efetuar a análises económica e energética de cada um dos casos de estudo apresentados.

4.2 Modelo Matemático

4.2.1 Modelo de três parâmetros

No caso célula fotoelétrica, a mesma pode ser esquematizada através de um modelo matemático que a descreve como um circuito elétrico equivalente, que pode ser representado pela Figura 18 [37].

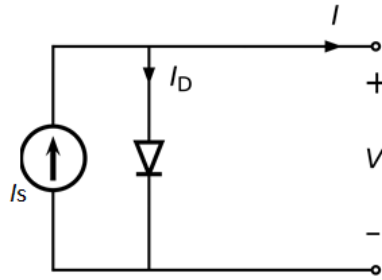


Figura 18 - Circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica (modelo de três parâmetros)

Observando a Figura 17, a fonte de corrente I_s , representa a intensidade de corrente elétrica gerada pelo feixe de radiação luminosa. Este feixe é constituído por fotoelétrons, sendo esta a corrente unidirecional e constante para uma mesma dada irradiância incidente, G .

A junção p-n funciona como se fosse um díodo que é atravessado por uma corrente unidirecional I_D , que por sua vez depende da tensão aos terminais da célula, V . A descrição e metodologia de cálculo do modelo de três parâmetros obtido pelas equações compreendidas entre (4.1) e (4.33), foi retirado da referência [37].

A intensidade de corrente que se fecha pelo díodo é:

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad [A] \quad (4.1)$$

em que:

I_0 - Intensidade de corrente inversa de saturação do díodo [A];

V - Tensão aos terminais da célula fotovoltaica [V];

m - Fator de idealidade do díodo;

V_T - Potencial Térmico [V].

Para o cálculo do potencial térmico é necessário utilizar a seguinte expressão:

$$V_T = \frac{KT}{q} \quad [V] \quad (4.2)$$

em que:

K - Constante de *Boltzman* ($K = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$);

T - Temperatura absoluta [K]

q - Carga elétrica do eletrão ($q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$).

Com estes cálculos é possível determinar a corrente que se fecha pela carga, I, sendo esta dada pela seguinte expressão:

$$I = I_S - I_D = I_S - I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad [A] \quad (4.3)$$

Existem dois pontos de operação da célula que merecem uma atenção particular: o curto-circuito exterior e o circuito aberto. Estes pontos de operação permitem retirar relações importantes entre as grandezas elétricas da célula.

No que diz respeito ao curto-circuito exterior, são estabelecidas as seguintes condições fronteira:

$$V = 0 \text{ [V]}; I_D = 0 \text{ [A]}; I = I_S = I_{CC} \text{ [A]} \quad (4.4)$$

Através destas condições é possível constatar que a intensidade da corrente de curto-circuito, ICC, é o valor máximo da intensidade de corrente da carga, como tal, é igual à produzida pelo efeito fotovoltaico. Este valor é característico de célula para célula, sendo fornecido pelo fabricante nas características da mesma, para determinadas condições de irradiância incidente e de temperatura ambiente.

No caso do circuito aberto exterior, são estabelecidas as seguintes condições fronteira:

$$I = 0 \text{ [A]}; V_{CA} = m V_T \ln \left(1 + \frac{I_S}{I_0} \right) \text{ [V]} \quad (4.5)$$

A tensão de circuito aberto, VCA, é o valor máximo de tensão aos terminais da célula, sendo que este ocorre quando esta se encontra em vazio. Tal como a intensidade da corrente de curto-circuito, o seu valor é fornecido pelo fabricante através da chapa de características da célula, para determinadas condições de irradiância incidente e de temperatura ambiente.

A intensidade da corrente inversa de saturação do díodo pode ser calculada através da seguinte expressão, de acordo com as condições fronteira referidas anteriormente nas equações (4.4) e (4.5):

$$I_0 = \frac{I_{CC}}{e^{\frac{V_{CA}}{mV_T}} - 1} [A] \quad (4.6)$$

Realizando a substituição na equação (4.3), e tendo em mente a equação (4.4) das condições fronteira para o curto-circuito exterior e considerando o seguinte:

$$e^{\frac{V_{CA}}{mV_T}} \gg 1; e^{\frac{V}{mV_T}} \gg 1 \quad (4.7)$$

Obtém-se, por último, a relação entre a intensidade de corrente e a tensão, sendo esta a seguinte:

$$I = I_{CC} \left(1 - e^{\frac{V - V_{CA}}{mV_T}} \right) [A] \quad (4.8)$$

4.2.2 Condições de Referência

Tal como referido anteriormente, a intensidade de corrente gerada por uma célula fotovoltaica depende das condições de irradiância do local e da temperatura ambiente em este se encontra. De forma a uniformizar as condições de medidas dos parâmetros característicos de cada célula FV foram definidas condições nominais de teste, *Standard Test Conditions* (STC). Estas são também chamadas de condições de referência, sendo as seguintes [37]:

- Temperatura da célula, $\theta^r = 25^\circ\text{C} = T^r = 298,16 \text{ K}$;
- Irradiância incidente na célula, $G_r = 1000 \text{ W/m}^2$;
- Distribuição espectral padrão da radiação solar, AM 1,5.

É de referir que a distribuição espectral da radiação solar incidente, tanto direta como difusa, é medida ao nível do mar, num dia de céu limpo, numa superfície perpendicular aos raios solares e inclinada, em relação à horizontal, de 37° . Estas condições refletem uma irradiância total de 1000 W/m^2 .

Em consequência com o dito anteriormente, as grandezas medidas que apresentem o índice superior r são consideradas que foram medidas em condições STC.

Uma grandeza importante, relativamente às condições de referência, é o potencial térmico, apresentado na equação (4.2). Adaptando este para as condições STC tem-se:

$$V_T^r = \frac{K T^r}{q} \quad [V] \quad (4.9)$$

Substituindo na equação 4.9 os valores das constantes anteriormente descritas nas condições STC, obtém-se um valor de 0,0257 V para o potencial térmico.

4.2.3 Potência Elétrica e Eficiência Energética

Através da equação (4.3) e para uma dada irradiância incidente e temperatura, a potência elétrica de saída é dada por [37]:

$$P = V I = V \left(I_{CC} - I_0 \left(e^{\frac{V}{m V_T}} - 1 \right) \right) \quad [W] \quad (4.10)$$

A potência máxima obtém-se através de $\delta P / \delta V = 0$. Então, igualando a zero e derivando a expressão, tem-se:

$$\frac{\delta P}{\delta V} \left[V \left(I_{CC} - I_0 \left(e^{\frac{V}{m V_T}} - 1 \right) \right) \right] = 0 \quad (4.11)$$

$$I_{CC} + I_0 \left(1 - e^{\frac{V}{m V_T}} + \frac{V}{m V_T} e^{\frac{V}{m V_T}} \right) = 0 \quad (4.12)$$

A solução da equação (4.12) é $V = V_{max}$, tensão de máxima potência e a correspondente corrente é $I = I_{max}$, corrente de máxima potência:

$$V_{max} = m V_T \ln \left(\frac{\frac{I_{CC}}{I_0} + 1}{\frac{V_{max}}{m V_T} + 1} \right) \quad [V] \quad (4.13)$$

$$I_{max} = I_{CC} - \left[I_0 \left(e^{\frac{V}{m V_T}} - 1 \right) \right] \quad [A] \quad (4.14)$$

O ponto de potência máxima é dado por:

$$P_{max} = V_{max} I_{max} [W] \quad (4.15)$$

Nas condições de referência tem-se:

$$V = V_{max}^r ; I = I_{max}^r ; P = P_{max}^r$$

Os valores de V_{CA}^r , I_{CC}^r e P_{max}^r são igualmente característicos da célula, sendo estes os dados fornecidos pelo fabricante para as condições de referência.

A potência máxima de saída obtida nas condições STC designa-se potência de pico (*Peak power* ou *Maximum Power Point* – MPP). A eficiência energética, nas condições de referência, é a relação entre a potência de pico e a potência da radiação incidente e é dada por:

$$\eta^r = \frac{P_{max}^r}{A G^r} \quad (4.16)$$

sendo:

P_{max}^r - Potência máxima (W)

G^r - Radiação incidente (W/m^2)

A - Área da célula (m^2)

Outro ponto de funcionamento da célula, é dado por:

$$\eta = \frac{P_{max}}{A G} \quad (4.17)$$

em que G é a radiação solar incidente por unidade de superfície.

4.2.4 Desenvolvimento do modelo

Tendo em conta que, normalmente, os fabricantes de células fotovoltaicas fornecem os valores de V_{CA}^r , I_{CC}^r e P_{max}^r , pode-se definir o fator de idealidade do diodo (m) e a corrente inversa de saturação, I_0^r . [37]

$$I = I_S - I_0^r \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad [A] \quad (4.18)$$

em curto-circuito:

$$I = I_S = I_{CC}^r \quad [A] \quad (4.19)$$

em circuito aberto:

$$I_0^r = \frac{I_{CC}^r}{\left(\frac{V_{CA}^r}{e^{mV_T^r}} - 1 \right)} \quad [A] \quad (4.20)$$

Utilizando as expressões indicadas e substituindo na corrente I, tem-se [37]:

$$I = I_{CC}^r - \frac{I_{CC}^r}{\left(\frac{V_{CA}^r}{e^{mV_T^r}} - 1 \right)} \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad [A] \quad (4.21)$$

$$I = I_{CC}^r \left(1 - \frac{\left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right)}{\left(\frac{V_{CA}^r}{e^{mV_T^r}} - 1 \right)} \right) \quad [A] \quad (4.22)$$

Considerando que: $e^{\frac{V}{mV_T}} \gg 1$; $e^{\frac{V_{CA}^r}{mV_T^r}} \gg 1$

Tem-se:

$$I = I_{CC}^r \left(1 - \frac{e^{\frac{V}{mV_T}}}{\frac{V_{CA}^r}{e^{mV_T^r}}} \right) \quad [A] \quad (4.23)$$

$$I = I_{CC}^r \left(1 - e^{\frac{V - V_{CA}^r}{mV_T}} \right) \quad [A] \quad (4.24)$$

Pela expressão acima indicada, pode-se observar que m, fator de idealidade, constitui um parâmetro de ajuste da curva característica corrente-tensão.

Dispondo dos valores de V_{max}^r , I_{max}^r fornecidos pelos fabricantes das células fotovoltaicas, é possível considerar três pontos de funcionamento do circuito nas condições de referência STC.

$$\text{Circuito Aberto: } 0 = I_S^r - I_0^r \left(e^{\frac{V_{CA}^r}{mV_T^r}} - 1 \right)$$

$$\text{Curto-Circuito: } I_S^r = I_{CC}^r$$

$$\text{Ponto de Potência Máxima: } I_{max}^r = I_S^r - I_0^r \left(e^{\frac{V_{max}^r}{mV_T^r}} - 1 \right)$$

Substituindo os valores de I_S^r e de I_0^r obtidos nas expressões do circuito aberto e curto-circuito, na expressão do ponto de potência máxima, tem-se:

$$I_{max}^r = I_{CC}^r \left(1 - e^{\frac{V - V_{CA}^r}{mV_T^r}} \right) \quad [A] \quad (4.25)$$

Em função do fator de idealidade:

$$m = \frac{V_{max}^r - V_{CA}^r}{V_T^r \ln \left(1 - \frac{I_{max}^r}{I_{CC}^r} \right)} \quad (4.26)$$

Assim, obtido o valor do fator de idealidade do díodo, pode-se obter o valor da corrente inversa de saturação nas condições de referência, através das equações correspondentes aos pontos de circuito aberto e curto-circuito, dado por:

$$I_0^r = \frac{I_{CC}^r}{\left(e^{\frac{V_{CA}^r}{mV_T^r}} - 1 \right)} \quad [A] \quad (4.27)$$

4.2.5 Influência da temperatura e da radiação incidente

Para se conseguir incorporar a influência, tanto da temperatura como da radiação é necessário considerar o seguinte:

- Fator de idealidade do díodo, m , é constante;
- Variação da irradiância incidente, contabilizada na corrente de curto-circuito, I_{cc} ;
- Variação da temperatura, contabilizada na corrente inversa de saturação, I_0 .

A corrente inversa de saturação do díodo pode ser descrita da seguinte expressão [37]:

$$I_0 = D T^3 e^{\frac{N_S \varepsilon}{m V_T}} [A] \quad (4.28)$$

Sendo:

D - Constante

N_S - Número de células ligadas em série, neste caso assume o valor de 1;

ε - Tensão de Banda Proibida do semiconductor, $\varepsilon = 1,12 \text{ eV}$ para o silício.

Neste caso, a tensão de banda proibida é a quantidade de energia necessária para que um elétron do átomo de silício transite para a banda de condução. Este parâmetro considerou-se relevante, pois depende da temperatura, sendo que o aumento da mesma está diretamente relacionado com o aumento do número de elétrons na banda de condução, o que explica a condução de eletricidade, quando exposto a uma diferença de potencial.

Por outro lado, o desconhecimento da constante D não é relevante uma vez que a corrente inversa de saturação do díodo é conhecida, para as condições STC, tal como é apresentado na equação (4.25) o que permite estabelecer uma relação de I_0 como função da temperatura. Esta relação é apresentada na seguinte expressão [37]:

$$I_0 = I_0^r \left(\frac{T}{T^r} \right)^3 e^{-\frac{N_S \varepsilon}{m} \left(\frac{1}{V_T^r} - \frac{1}{V_T} \right)} \quad [A] \quad (4.29)$$

Sabendo que a corrente de curto-circuito é conhecida para as condições STC, e considerando-a linear em relação à irradiância incidente, é possível escrever a corrente de curto circuito em função da irradiância incidente, ou seja:

$$I_{CC} = I_{CC}^r \frac{G}{G^r} \quad [A] \quad (4.30)$$

4.2.6 Potência de Saída

A potência de saída permite estimar a intensidade de corrente que será gerada em função da tensão de saída dos terminais da célula fotovoltaica.

Para o modelo de três parâmetros e admitindo a lei da variação linear idêntica para a intensidade de corrente de máxima potência, tem-se [37]:

$$I_{max} = I_{max}^r \frac{G}{G^r} \quad [A] \quad (4.31)$$

Esta expressão permite definir no imediato a corrente de máxima potência em função da irradiância incidente no local.

No caso da tensão, a mesma pode ser calculada a partir da equação do ponto de funcionamento de potência máxima, utilizando igualmente as equações (4.29), (4.30) e (4.31), ou seja:

$$V_{max} = m V_T \ln \left[\frac{\frac{G}{G^r} (I_{CC}^r - I_{max}^r)}{I_0^r \left(\frac{T}{T^r} \right)^3 e^{-\frac{N_S \varepsilon}{m V_T} \left(\frac{1}{V_T^r} - \frac{1}{V_T} \right)}} \right] \quad [V] \quad (4.32)$$

A potência DC de saída da célula fotovoltaica é dada pela multiplicação da equação (4.31) com a equação (4.32), ou seja:

$$P_{DC} = V_{max} I_{max} = m V_T \ln \left[\frac{\frac{G}{G^r} (I_{CC}^r - I_{max}^r)}{I_0^r \left(\frac{T}{T^r} \right)^3 e^{-\frac{N_S \varepsilon}{m V_T} \left(\frac{1}{V_T^r} - \frac{1}{V_T} \right)}} \right] I_{max}^r \frac{G}{G^r} \quad [W] \quad (4.33)$$

4.2.7 Modelo de cinco parâmetros

Nas células ditas reais, é possível observar-se uma queda de tensão no circuito até aos contactos exteriores da mesma, sendo esta representada por uma resistência, R_s . Do mesmo modo, existem correntes de fuga que podem ser representadas no modelo também através de uma resistência R_{SH} . O circuito elétrico equivalente encontra-se representado na Figura 19. A descrição e metodologia de cálculo do modelo de cinco parâmetros obtido pelas equações compreendidas entre (4.34) e (4.44), foi retirado das referências [37] e [21].

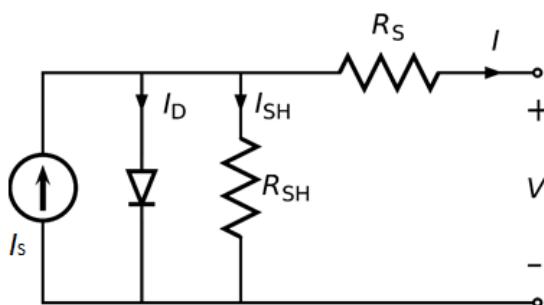


Figura 19 – Circuito elétrico equivalente do modelo de cinco parâmetros da célula fotovoltaica

Sabendo a corrente I_D que é dada pela equação (4.1), tem-se que I é dado por:

$$I = I_s - I_D - I_{SH} \quad [A] \quad (4.34)$$

$$I = I_s - I_0 \left(e^{\frac{V + R_s I}{m V_T}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{SH}} \quad [A] \quad (4.35)$$

Em condições STC, tem-se:

$$I = I_s^r - I_0^r \left(e^{\frac{V + R_s I}{m V_T^r}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{SH}} \quad [A] \quad (4.36)$$

Tendo em conta os dados que são habitualmente fornecidos pelos fabricantes nos catálogos dos painéis fotovoltaicos (V_{CA}^r , I_{CC}^r , I_{max}^r , V_{max}^r , m , R_s e R_{SH}), e tal como o modelo anteriormente apresentado, é possível estabelecer as seguintes relações:

$$I_{CC}(G, T) = \frac{G}{G^r} [I_{CC}^r + \mu_{I_{CC}} (T + T^r)] \quad [A] \quad (4.37)$$

$$V_{CA}(G, T) = V_{CA}^r + \mu_{V_{CA}} (T + T^r) + mV_T \ln\left(\frac{G}{G^r}\right) [V] \quad (4.38)$$

Sendo:

$\mu_{I_{CC}}$ - Coeficiente de temperatura da corrente de curto-circuito [A / °C];

$\mu_{V_{CA}}$ - Coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto [V / °C].

Após o cálculo dos parâmetros do modelo, é possível estimar-se a potência de saída da célula fotovoltaica.

O ponto de potência máxima pode-se escrever da seguinte forma:

$$\left. \frac{dI}{dV} \right|_{V = V_{max}} = - \frac{I_{max}}{V_{max}} \quad (4.39)$$

As incógnitas da equação (4.39) permitem calcular o P_{max} , que tal como o modelo anterior é igual a $P_{DC} = V_{max} I_{max}$.

Por último, é utilizada a equação (4.36), escrita no ponto de máxima potência para as condições de irradiância e temperatura desejadas:

$$I_{max} = I_{CC} - \frac{V_{max} + R_s I_{max} - R_s I_{CC}}{R_s} + mV_T \ln\left(\frac{G}{G^r}\right) [A] \quad (4.40)$$

4.2.8 Comparação entre os dois modelos matemáticos

Os estudos [37] indicam que existem algumas diferenças entre ambos os modelos, apesar de se verificar um bom desempenho dos mesmos para a estimativa da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos.

Nesses mesmos estudos, é possível verificar que, para irradiâncias mais baixas (até aos 600 W/m²), o modelo de 3 parâmetros apresenta melhores resultados do que o modelo de 5 parâmetros, sendo que após este valor, o modelo de 5 parâmetros apresenta melhores resultados.

Por outro lado, o modelo de 5 parâmetros apresenta um valor estimado de energia produzida mais próximo dos resultados experimentais do que o valor estimado pelo modelo de 3 parâmetros.

Isto deve-se ao facto de as altas irradiâncias contribuírem de forma mais significativa para o cálculo energético do sistema, e por isso, os erros associados

ao modelo de 5 parâmetros para as baixas irradiância, não se manifestam de maneira tão significativa como os erros do modelo de 3 parâmetros para as altas irradiâncias.

Apesar do modelo de 5 parâmetros apresentar melhores resultados, o modelo de 3 parâmetros consegue um desempenho semelhante no que diz respeito à evolução da potência injetada na rede ao longo do dia, o que revela que, apesar da sua simplicidade, este modelo é igualmente adequado ao fim a que se destina: estimar comportamentos dos painéis fotovoltaicos.

Com vista a simplificar os cálculos e a não comprometer os resultados finais devido à obtenção dos parâmetros que não são fornecidos nos catálogos dos equipamentos (R_s e R_{SH}), o modelo matemático escolhido a ser implementado será o de um diodo e de 3 parâmetros.

4.2.9 Características das células fotovoltaicas

Tendo em conta a influência da temperatura no funcionamento dos módulos fotovoltaicos, é necessário conhecer as condições ambientais do local onde serão instalados os painéis fotovoltaicos, nomeadamente a irradiância solar incidente e a temperatura ambiente do mesmo.

Os fabricantes disponibilizam a temperatura normal de funcionamento da célula, ou *Nominal Operating Cell Temperature* em inglês (NOCT), que representa a temperatura atingida pela célula em condições de funcionamento, definidas como $\theta = 20$ °C e $G = 800$ W/m².

Para calcular a temperatura da célula fotovoltaica, tendo em conta as condições ambientais do local de implementação e as características fornecidas pelo fabricante da mesma, tem-se [21]:

$$\theta = \theta_a + \frac{G (NOCT - 20)}{800} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.41)$$

Sendo:

θ_a - Temperatura ambiente [°C];

G - Irradiância Solar Incidente [W / m²]

Sabendo que a potência de uma célula fotovoltaica é insuficiente para as soluções que se pretende apresentar na presente dissertação, é necessário agrupar várias células em série e em paralelo, de modo a formar os módulos fotovoltaicos, sendo que os modelos matemáticos anteriormente apresentados podem caracterizar um módulo fotovoltaico, considerando o módulo como uma célula fotovoltaica equivalente.

Em resumo, a intensidade de corrente correspondente ao módulo é dada pelo número de células agrupadas em paralelo (N_p), e a tensão do módulo é dada pelo número de células agrupadas em série (N_s), tal como pode-se observar na Figura 20 [21]. Por sua vez, os módulos são associados em série e em paralelo para obter uma maior potência de saída, formando os painéis fotovoltaicos.

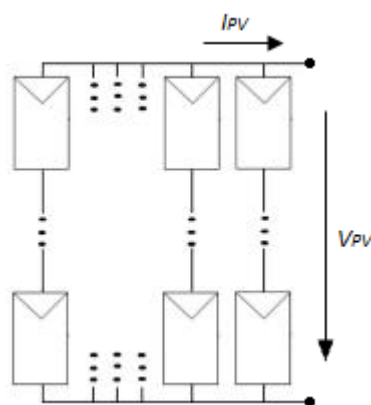


Figura 20 - Agrupamento de módulos fotovoltaicos

4.2.10 MPPT e Inversor

Em aplicações ligadas à rede elétrica nacional ou ligadas a instalações elétricas que possuam rede AC, o gerador FV entrega à instalação a máxima potência elétrica possível, dependendo da irradiância e da temperatura.

Entre o módulo e a instalação existem equipamentos de regulação e de interface, nomeadamente o seguidor de potência máxima, *Maximum Power Point Tracker* em inglês (MPPT), e o inversor. Estes equipamentos permitem otimizar as condições de geração.

A potência máxima varia com as condições ambientais e com a tensão aos terminais do módulo. É desejável que o funcionamento seja sempre à máxima potência possível, de acordo com a irradiância incidente e com a temperatura do módulo. De modo a colocar o módulo FV no ponto de operação correspondente à potência máxima é necessário utilizar um seguidor de potência máxima, ou seja, um MPPT. Este ajusta a tensão à saída do módulo FV e automaticamente impõe o valor da intensidade de corrente, uma vez que esta depende da tensão de acordo com a curva I – V do módulo FV.

Em aplicações ligadas ao sistema de energia elétrica ou caso existam aparelhos que necessitem de rede AC é necessário utilizar também um inversor de modo a transformar a energia produzida em DC pelo módulo FV em energia AC.

Estes equipamentos são bastante completos e têm no mesmo dispositivos algumas funções distintas, sendo a principal a conversão das grandezas DC em grandezas AC, com os padrões de qualidade exigidos pela rede elétrica. Têm também a função de proteção do sistema em relação a sobrecargas e sobretensões. Alguns possuem incorporados o MPPT. Algo importante, é a eficiência energética do sistema de interface, combinando o MPPT e o Inversor.

Este é dado por [37]:

$$\eta_{Total} = \eta_{MPPT} \eta_{Inv} \quad (4.42)$$

Sendo:

η_{Total} – Eficiência Energética Total;

η_{MPPT} – Eficiência Energética do MPPT;

η_{Inv} – Eficiência Energética do Inversor.

A eficiência energética do MPPT é relativamente difícil de avaliar. Os resultados reportados na literatura indicam um rendimento muito elevado, de aproximadamente 99,5 %, em regime estacionário.

O rendimento do conversor DC / AC, ou seja, do inversor, é dado por:

$$\eta_{Inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (4.43)$$

em que P_{AC} é a potência entregue à rede.

A Eficiência Energética do inversor está diretamente dependente do transformador utilizado, nomeadamente para isolamento galvânico. No entanto, já existem soluções onde é possível dispensar a utilização destes transformadores. Nos sistemas equipados com estes equipamentos, as eficiências energéticas (ou rendimentos) típicas do inversor em função da potência AC na saída do inversor estão indicados na Figura 21 [21].

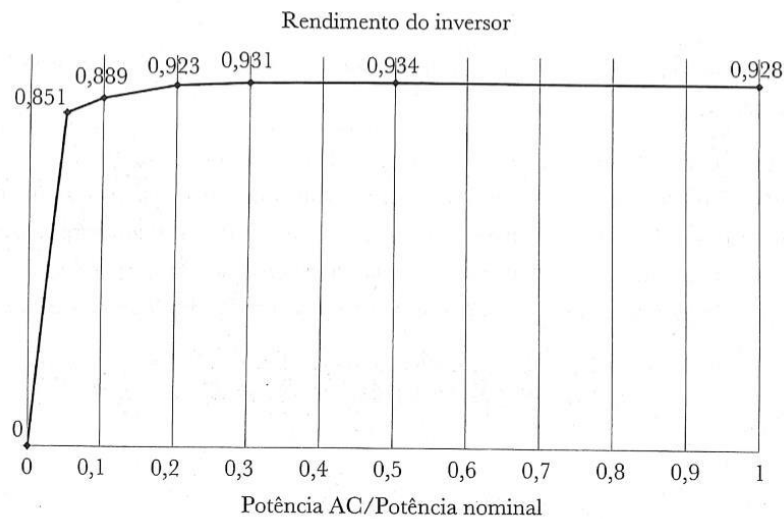


Figura 21 - Eficiências típicas de um Inversor em função da potência AC

4.2.11 Cálculo Energético

No que diz respeito ao cálculo energético, este é obtido através de valores baseados na potência determinada pelos modelos matemáticos anteriormente especificados, ou através de medição experimental. Uma estimativa da energia produzida pode ser obtida através da seguinte expressão [37]:

$$E = \eta_{Total}(P_{DC}) \sum_{i=1}^n P_{DC}(G, T)_i \Delta t_i \quad [Wh] \quad (4.44)$$

Sendo:

E – Energia Produzida [Wh];

$P_{DC}(G, T)$ – Valor médio da potência máxima do módulo no intervalo de tempo considerado [W];

n – Número de períodos considerados;

Δt – Intervalo de tempo considerado [h].

Para o cálculo da energia anual produzida é necessário que a variável n tenha o valor do número de horas existentes num ano, ou seja, 8760 horas.

As equações definidas ao longo do ponto 4.2 permite definir um modelo matemático, utilizando o modelo de três parâmetros.

Para uma determinada temperatura e irradiância incidente (T e G , respetivamente), e conhecidos os valores característicos da célula fotovoltaica nas condições STC, fornecidos pelos fabricantes das mesmas, é possível calcular-se a potência de saída através da seguinte sequência de cálculo [21]:

1. Cálculo do potencial térmico em condições STC – Eq. (4.9)
2. Cálculo do fator de idealidade do diódo – Eq. (4.26.)
3. Cálculo da intensidade de corrente de saturação do diódo em condições STC – Eq. (4.27)
4. Cálculo da intensidade da corrente de curto-circuito – Eq. (4.30)
5. Cálculo da temperatura de operação da célula – Eq. (4.41)
6. Cálculo do potencial térmico – Eq. (4.2)
7. Cálculo da intensidade de corrente de saturação do diódo – Eq. (4.29)
8. Cálculo da tensão de máxima potência – Eq. (4.13)
9. Cálculo da intensidade da corrente de máxima potência – Eq. (4.14)
10. Cálculo da potência de saída – Eq. (4.33)
11. Cálculo da Energia produzida – Eq. (4.44)

No ANEXO V e no ANEXO VII, segue um exemplo de aplicação desta sequência de cálculo.

4.3 Características da Freguesia de Barcarena

4.3.1 Exposição Solar

Tal como referido na secção 2.2.3, o concelho de Oeiras possui um potencial de penetração de energia solar muito elevado, com uma exposição solar na ordem das 3000 horas por ano.

De facto, ao analisar-se a irradiância em vários locais da freguesia de Barcarena, registou-se uma exposição solar igual ou superior a este dado, tendo em conta todas as horas em que se registaram dados irradiância, sendo que para alcançar as 3000 horas por ano, basta ter em conta as horas em que se registaram valores de irradiância superiores aos 200 W/m².

É importante referir que no presente estudo, a inclinação e a orientação consideradas para os painéis são as condições definidas como ótimas para Portugal Continental, tendo em conta vários estudos científicos em que foram realizados cálculos sobre os valores de inclinação que maximizam a energia elétrica produzida pelos mesmos [21].

Dito isto, o valor de inclinação considerado foi de 33°, com os painéis orientados para sul, sendo que este valor é inferior ao da latitude registada em qualquer ponto de Portugal Continental (entre 37° e 42°) com vista a favorecer a quantidade de radiação absorvida no Verão, que é o período mais favorável para a produção de energia solar fotovoltaica.

No ANEXO VI, é possível observar uma tabela onde constam todos os valores analisados, com os painéis colocados na orientação e inclinação de acordo com a informação anteriormente referida.

Analisando o mesmo anexo, é possível identificar que, durante as 24 horas do dia, os maiores e mais relevantes valores de irradiância registam-se num período de pelo menos 7h consecutivas, compreendido entre as 8h e as 15h.

Todos os valores de irradiância apresentados na Tabela 6 são em situação de céu limpo. No concelho de Oeiras, tal facto é uma situação, estatisticamente, muito favorável, representando, em média, cerca de 65% [38] dos dias do ano.

Tabela 6 - Dados de Irradiância Média (8h-15h)

Mês	G Média Mensal (W/m²)
Janeiro	420,6
Fevereiro	554,6
Março	713,7
Abril	865,7
Maio	914,2
Junho	957,6
Julho	943,1
Agosto	889,6
Setembro	777,8
Outubro	620,1
Novembro	510,3
Dezembro	417,1
G Média Anual	715,4

Tendo em conta o período apresentado na tabela 6, foram analisados os valores de temperatura ambiente média mensal, tal como pode-se observar na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados de Temperatura Média (8h-15h)

Mês	T Média Mensal (°C)
Janeiro	12,8
Fevereiro	13,0
Março	14,5
Abril	16,2
Maio	18,4
Junho	20,6
Julho	22,2
Agosto	22,5
Setembro	21,3
Outubro	19,5
Novembro	15,9
Dezembro	13,7
T Média Anual	17,6

Com estes dados, é possível definir um valor de temperatura e de irradiância para os cálculos que constam na secção 4.2.11.

4.3.2 Espaço Disponível para implementação de Painéis

Num sistema fotovoltaico, para determinar a potência a instalar, é importante determinar o espaço disponível para a implementação destes sistemas. Tendo em conta a diversidade dos edifícios de habitação e de serviços presentes na freguesia, foram tidas em conta as seguintes considerações:

- No que diz respeito aos edifícios de habitação, numa amostra de 100 edifícios, foram contabilizados 71 edifícios unifamiliares, tendo em conta as quantidades de edifícios na freguesia de Barcarena em termos percentuais;
- A quantidade de edifícios unifamiliares e multifamiliares escolhidos por localidade, teve em conta a distribuição total de edifícios da freguesia em termos percentuais, procurando escolher a maior variedade de edifícios de cada um dos tipos, gerando assim diferentes áreas de telhado e de número de painéis necessários para uma solução ótima;
- No que diz respeito aos edifícios de serviços, optou-se por selecionar os edifícios com atividade mais relevante para a freguesia de Barcarena.

Deste modo, foi possível verificar uma área média disponível para painéis solares fotovoltaicos na ordem dos 116 m² para as 71 habitações unifamiliares analisadas, 144 m² quando adicionadas as 29 habitações multifamiliares e de 213 m² quando adicionados os 21 edifícios de serviços.

Para os edifícios de habitação, em média, são necessários 7 painéis fotovoltaicos de 250 W_P para desenvolver uma solução ótima de produção, e com o incremento dos edifícios de serviços, o número médio de painéis utilizados diminui para 6.

Para além dos dados que são possíveis de recolher no *Google Maps* [33], no que diz respeito à área disponível para instalação de painéis fotovoltaicos, e de forma a validar os resultados obtidos, foi utilizada a Plataforma *Green Energy* [32]. Esta plataforma, através de uma carta de potencial solar de todo o concelho de Oeiras, permite a identificação rápida e georreferenciada da aptidão de um dado edifício para a instalação de um sistema solar fotovoltaico.

Integrando os dados obtidos a partir de um modelo digital de superfície de grande rigor cartográfico e dos respetivos padrões locais com os dados

referentes ao consumo estimado a partir de informação estatística levantada nos censos de 2011 sobre a população, a família e a habitação, é possível estimar o dimensionamento de uma solução solar fotovoltaica ótima, que maximize o retorno do investimento.

4.4 Especificações de Equipamentos

4.4.1 Painéis Fotovoltaicos

Tendo em conta a variedade de equipamentos disponíveis no mercado, e de forma a desenvolver soluções semelhantes às desenvolvidas e analisadas pela Plataforma *Green Energy* [32], foi considerado o modelo de painel apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Especificações Elétricas do Painel Fotovoltaico

Marca: Yingli YL250P 29b	
Potência Nominal (W_P)	250
Média de eficiência (%)	15,4
V_{max} (V)	29,8
I_{max} (A)	8,39
I_{CC} (A)	8,92
V_{CA} (V)	37,6
NOCT ($^{\circ}C$)	46
N_s	60

A potência instalada, do sistema fotovoltaico, é assim obtida através dos 250 W_P de cada painel, sendo que pelo número de painéis que se pretende instalar para cada um dos casos de estudo, é possível obter uma potência instalada de 1750 kW_P por edifício, para os casos de estudo 1 e 2, e de 1500 kW_P por edifício para o caso de estudo 3.

Através da sequência de cálculo apresentada na secção 4.2.11, é possível obter a tensão e a corrente máxima do painel fotovoltaico orientado para sul e com uma inclinação de 33° , o que permite calcular a respetiva potência máxima para sistemas fotovoltaicos com 6 ou 7 painéis fotovoltaicos instalados em série, tal como pode-se observar na Tabela 9.

Tabela 9 - Tensão e corrente máxima do painel fotovoltaico

	Nº de Painéis	V_{max} [V]	I_{max} [A]	P_{DC} [W]
	1	30,9	5,8	179,2
Caso de Estudo 1 e 2	7	216,3	5,8	1254,5
Caso de Estudo 3	6	185,4	5,8	1075,3

Os restantes cálculos necessários para a obtenção dos valores referido na Tabela 9, encontram-se no ANEXO VII.

4.4.2 MPPT e Inversor

De modo a determinar o tipo de MPPT e de inversor a utilizar para cada um dos sistemas fotovoltaicos, é necessário ter em conta o esquema de ligação dos painéis, devido ao facto destes dois equipamentos possuírem tensões e correntes máximas de entrada, bem como potência máxima de entrada suportada. Tanto as correntes como as tensões são determinadas pela quantidade de séries e de paralelos nas ligações dos painéis e consequentemente a potência de entrada associada.

É importante referir que os painéis escolhidos já possuem incorporado um MPPT cada um. Assim, não é necessário escolher um MPPT para utilizar na instalação. No entanto, é necessário considerar uma eficiência energética de 99 % para este equipamento. Os dados referentes ao inversor escolhido estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 -Especificações Elétricas do Inversor

Marca	SMA Sunny Boy 1.5	SMA Sunny Boy 2.0
Potência DC de entrada (W)	3000	4000
Tensão DC de entrada (V)	600	600
Corrente DC de entrada (A)	10	10
Potência AC à saída (W)	1500	2000
Potência aparente à saída (VA)	1500	2000
Tensão AC nominal (V)	220 V / 230 V / 240 V	220 V / 230 V / 240 V
Eficiência máxima	97,2 %	97,2 %

4.4.3 Equipamentos Auxiliares

Para a instalação dos painéis no telhado e nas fachadas dos edifícios são necessários equipamentos auxiliares, nomeadamente os suportes que fixam os painéis à estrutura, os cabos, tanto de energia como de equipotencialização dos painéis e as proteções elétricas dos painéis.

Para os suportes, pode-se considerar a marca *Sunfer*, modelo KHT915.

Muitos cabos são utilizados para satisfazer as exigências da geração de energia solar. Estes têm a finalidade de interligar o painel FV, o inversor e o transformador ou quadro de entrada de um edifício. No entanto, existem cabos que possuem a finalidade de equipotencializar os módulos FV entre si bem como toda a estrutura metálica envolvente, sem ser realizada a ligação à terra dos mesmos. Na tabela 11, é possível observar as características dos diferentes tipos de cabo utilizados para os diferentes troços necessários.

Tabela 11 - Especificações Elétricas dos Cabos

Troços	Tipo de Cabo
Equipotencialização dos módulos e da estrutura metálica	Energy RV-K FOC 1,8 kV CC - 0,6/1 kV AC (mínimo 16 mm ²)
Ligação entre módulos com caixa de ligação	Exzhellent Solar ZZ-F (AS) 1,8 kV DC – 0,6 / 1 kV AC (16 mm ²)
Ligação da instalação DC entre a caixa de ligação e o inversor e para a ligação AC entre este último e o quadro de entrada	Energy RV-K FOC 1,8 kV CC - 0,6/1 kV AC (16 mm ²)

De forma a fazer o agrupamento dos cabos, são necessárias duas caixas de ligação, uma do lado DC do inversor e outra a montante do inversor.

Segundo a norma IEC 60364-7-712 [39] é necessária a instalação de um interruptor de corte geral entre os módulos fotovoltaicos e o inversor, devido à eventualidade de ocorrência de falhas ou trabalhos de manutenção.

Este interruptor terá de ser DC e bipolar, de forma a isolar o polo negativo e o polo positivo, sendo que por razões de segurança deverá ser instalado diretamente antes do inversor. Devido à dificuldade de interromper as correntes DC este não deverá ser manobrado em carga, por razões de segurança. De forma análoga, no lado AC poder-se-á utilizar um disjuntor, mas após a caixa de

ligação. Os dados retirados dos catálogos acerca dos equipamentos referidos na presente dissertação podem ser analisados no ANEXO VIII.

4.4.4 Perfil de Produção dos Painéis

Para a definição da temperatura ambiente e da irradiância incidente a considerar no perfil de produção dos painéis, foi utilizada a ferramenta PVGIS - “*Photovoltaic Geographical Information System*” [34].

Esta ferramenta, online e gratuita, disponibilizada pela Comissão Europeia, serve como calculadora para sistemas de energia solar fotovoltaica (sistemas autónomos ou ligados à rede), sendo que a sua base de dados encontra-se disponível para a Europa, África e Ásia [40].

Esta disponibiliza mapas de radiação solar e simula a geração de eletricidade solar para um local escolhido, sendo por isso, útil no cálculo da energia mensal e anual, em kWh, de um sistema fotovoltaico, depois de definida a sua potência, inclinação e orientação dos módulos. Para além disso, serve como uma base de dados em forma de mapa para a radiação solar, podendo-se retirar a distribuição geográfica e temporal do recurso solar.

Neste caso específico, foram retirados os dados de irradiação solar de céu limpo e de temperatura média diária da freguesia de Barcarena.

Após a análise dos dados obtidos pelo PVGIS [34] e através dos cálculos efetuados segundo a metodologia descrita no ponto 4.2.11, é possível determinar a potência produzida por painel, de acordo com a sua orientação e inclinação. Com a potência produzida por cada um destes, é possível determinar a energia produzida pelo conjunto. Após a incorporação das eficiências energéticas dos inversores e do *MPPT*, é possível determinar a energia útil produzida por cada conjunto de painéis fotovoltaicos, para uma dada inclinação e orientação, sendo estas apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Energia Produzida por conjunto de painéis (MWh/mês)

Mês	1 Pannel	6 Painéis	7 Painéis
Janeiro	22,7	136,4	159,2
Fevereiro	21,7	130,4	152,1
Março	43,8	263,1	306,9
Abril	53,6	321,7	375,3
Maio	63,6	381,7	445,3
Junho	64,8	388,9	453,8
Julho	68,0	407,8	475,7
Agosto	61,4	368,4	429,8
Setembro	46,5	279,0	325,6
Outubro	36,3	217,6	253,9
Novembro	26,2	157,4	183,7
Dezembro	22,1	132,5	154,5
Total (Ano)	530,8	3184,9	3715,7

Tendo em conta, os casos de estudo anteriormente descritos, nomeadamente o número médio de painéis fotovoltaicos a instalar por cada tipo de habitação, bem como a quantidade de edifícios existentes na freguesia, para efeitos de análise, pode-se considerar os valores de produção presentes na Tabela 13.

Tabela 13 - Energia Produzida por tipo de edifícios (MWh)

Mês	Edifícios Unifamiliares	Edifícios Multifamiliares	Edifícios de Serviços
Janeiro	265,1	110,1	2,9
Fevereiro	253,4	105,3	2,7
Março	511,3	212,4	5,5
Abril	625,3	259,7	6,8
Maio	741,9	308,1	8,0
Junho	756,0	314,0	8,2
Julho	792,6	329,2	8,6
Agosto	716,1	297,4	7,7
Setembro	542,4	225,3	5,9
Outubro	423,0	175,7	4,6
Novembro	306,0	127,1	3,3
Dezembro	257,4	106,9	2,8
Total	6190,4	2571,3	66,9

No ANEXO IX são apresentados os valores mensais da produção de energia fotovoltaica, num dia típico em função da hora.

4.5 Parâmetros de Avaliação Económica

4.5.1 Definições Gerais

Tal como já foi referido nos Capítulos anteriores, este estudo tem como um dos objetivos o estudo da viabilidade económica da implementação de uma solução fotovoltaica para a freguesia de Barcarena.

Nesta avaliação económica não foram tidas em conta as amortizações. Para se iniciar a avaliação é necessário ter em atenção os seguintes pontos:

- O tempo de vida útil é definido como o tempo durante o qual se desenrola o projeto, ou seja, 25 anos;
- O Investimento é o capital necessário para o início da implementação de uma solução para um dado edifício. Este mede o montante que a os moradores de uma dada habitação ou que uma entidade para uma determinada prestação de serviço despende para a realização de um projeto de investimento. O montante deve compreender, entre outros, as despesas de aquisição e de construção, nomeadamente, as despesas de transporte, de instalação, de montagem;
- A taxa de atualização é aplicada a rendimentos futuros, ou a *cash-flows*, de modo a obter o seu valor atual atualizado. Esta taxa também é conhecida como custo de oportunidade do capital ou por taxa mínima de rentabilidade do projeto;
- O Financiamento pode ser dividido em dois tipos de capitais: os capitais próprios, pertencentes à empresa ou aos promotores do projeto; e os capitais alheios, que provêm do exterior da empresa onde é necessário o pagamento de juros;
- A energia anual produzida é função da potência instalada e do tempo equivalente de funcionamento da unidade de produção;
- A Receita Bruta é definida pelo capital recebido pelos produtos ou serviços e pode ser calculada através da equação (4.45).

$$R_B = P_V E_a \quad [€] \quad (4.45)$$

em que:

R_B - Receita Bruta [€];

P_v - Preço de Venda da Energia [€/Wh];

E_a - Energia Produzida Anualmente [Wh].

- O Resultado Líquido é definido pelo fluxo monetário que sobra da receita bruta depois de retirados todos os custos ocorridos durante o período considerado, ou seja:

$$R_L = R_B - C_{OM} - C_{Juros} \text{ [€]} \quad (4.46)$$

em que:

R_L - Receita Líquida [€];

C_{OM} - Custos de Operação e de Manutenção [€];

C_{Juros} - Juros [€]

4.5.2 Cash-Flow, VAL, TIR e Payback

O *Cash-Flow* representa o saldo entre as entradas e as saídas de capital de uma dada solução, neste caso fotovoltaica, durante um determinado período. Este é calculado através da elaboração de um Mapa de Fluxos de Tesouraria.

Tal como referido na secção 4.1, o VAL define-se como sendo a diferença entre os valores atualizados das entradas e saídas de dinheiro durante o período de vida útil da instalação.

Entende-se por valor atual o valor no presente de um determinado montante a obter no futuro.

$$VAL = \sum_{a=1}^{T_{vu}} \frac{CF^a}{(1+i)^a} - I_0 \text{ [€]} \quad (4.47)$$

em que:

a – Ano do investimento;

T_{vu} - Tempo de vida útil do projeto [ano];

CF^a - Cash-flow do ano [€];

i – Taxa de atualização;

I_0 - Investimento Inicial.

A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) representa a rentabilidade gerada pelo investimento, ou seja, é a taxa que o investidor obtém, em média a cada ano, sobre os capitais que estão investidos. Representa a taxa que torna o VAL igual a zero, ou seja:

$$0 = \sum_{a=1}^{T_{vu}} \frac{CF^a}{(1+i)^a} - I_0 \quad (4.48)$$

Por último, o Período de Retorno do Investimento, comumente conhecido como *Payback*, é, como o nome indica, o período necessário para a recuperação do investimento. Este é um critério de avaliação de soluções que permite visualizar quantos anos é necessário até a mesma começar a gerar lucro, recuperando assim o capital investido.

4.6 Análise Energética

4.6.1 Casos de Estudo

Tendo em conta a caracterização dos casos de estudo apresentada no ponto 3.3, as Tabelas 14 e 15 apresentam os dados de consumo doméstico para cada um dos tipos de edifício de habitação presentes nos três casos de estudo.

Tabela 14 - Consumo doméstico de energia elétrica total para Edifícios Unifamiliare

Edifícios Unifamiliare			
Nº médio de pessoas p/ família	Consumo anual médio doméstico de energia elétrica por habitante (kWh/ hab.)	Nº de Edifícios Tipo	Consumo doméstico de energia elétrica Total (GWh)
2,52	1334,1	1666	5,6

Tabela 15 - Consumo doméstico de energia elétrica total para Edifícios Multifamiliare

Edifícios Multifamiliare				
Nº médio de pessoas p/ família	Consumo anual médio doméstico de energia elétrica por habitante (kWh/ hab.)	Nº Médio de Alojamentos p/ Edifício Tipo	Nº de Edifícios Tipo	Consumo doméstico de energia elétrica Total p/edifício (GWh)
2,52	1334,1	5,6	692	12,9

No que diz respeito aos Edifícios de Serviços, considerou-se o seguinte:

- Segundo os dados recolhidos em [2], o consumo doméstico de energia elétrica representa aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica, sendo que esta representação varia menos de 3% entre os anos de 2005 e de 2017, tal como pode-se observar na Figura 15 (Ex: Do ano de 2011, registou-se 30,1% de consumo doméstico em relação ao consumo total). Pode-se por isso considerar que os restantes setores não sofreram alterações relevantes em termos de representação dos consumos de energia elétrica total;
- Através dos dados recolhidos (matriz energética de [2]), é possível verificar também que o setor dos serviços representa cerca de aproximadamente 52% e tendo em conta as variações anteriormente referidas, para facilitar os cálculos, pode-se considerar que este setor representa metade do consumo de energia elétrica, ou seja 50%;
- Tendo em conta o consumo de energia elétrica por habitante dado por [29] (4436,3 kWh), pode-se considerar que, em média, cada habitante consome por ano cerca de 2218,15 kWh no setor dos serviços.
- Considerando-se este valor para todos os residentes da freguesia (segundo o número de habitantes considerados na tabela 5), pode-se considerar um consumo total de aproximadamente 30,7 GWh no setor dos serviços.

Depois de definidos os três tipos de edifício, a Tabela 16 apresenta os valores totais de energia elétrica consumida para cada um dos casos de estudo, relembrando que no caso de estudo 2 são incluídos os consumos de energia elétrica do caso de estudo 1, e que no caso de estudo 3 são incluídos os consumos de energia elétrica dos casos de estudo anteriores.

Tabela 16 - Consumo total de energia elétrica dos Casos de Estudo

Caso de Estudo 1 - Edifícios Unifamiliares (GWh)	Caso de Estudo 2 -Edifícios Unifamiliares + Edifícios Multifamiliares (GWh)	Caso de Estudo 3 -Edifícios Unifamiliares + Edifícios Multifamiliares + Serviços (GWh)
5,6	18,6	54,9

4.6.2 Contributo das Energias Renováveis

Para aferir o contributo das energias renováveis para cada um dos casos de estudo, é necessário recorrer aos dados da Tabela 13, comparando os dados de produção com os dados de consumo indicados na Tabela 16.

Na tabela 17, é possível observar os contributos da implementação de 7 painéis solares fotovoltaicos em cada um dos edifícios de habitação unifamiliar e multifamiliar, bem como a implementação de 6 painéis solares fotovoltaicos em 21 edifícios de serviços da freguesia de Barcarena em resposta ao consumo total de eletricidade por parte dos conjuntos de edifícios considerados em cada caso de estudo.

Tabela 17 - Contributo das Energias Renováveis por Caso de Estudo 1, 2 e 3

	Caso de Estudo 1 - Edifícios Unifamiliars	Caso de Estudo 2 - Edifícios Unifamiliars + Edifícios Multifamiliars	Caso de Estudo 3 - Edifícios Unifamiliars + Edifícios Multifamiliars + Serviços
Energia Consumida do conjunto (GWh)	5,6	18,6	54,9
Energia Produzida do conjunto (GWh)	6,2	8,8	8,8
Contributo Renovável do conjunto (%)	110,5%	47,2%	16,1%

Tendo em conta o valor do consumo total de energia elétrica da freguesia que consta na Tabela 5 (61,7 GWh), pode-se considerar que, a solução apresentada no caso de estudo 3, representa aproximadamente 14% do consumo total de energia elétrica da freguesia.

Com vista ao cumprimento dos objetivos para 2020 [2] e de acordo com o que foi estabelecido no ponto 3.3 aquando a definição dos casos de estudo, pode-se implementar uma solução diferente para todos os edifícios presentes nos mesmos. Na Plataforma *Green Energy* [32], é possível analisar-se a solução de maior autonomia de rede para cada um dos edifícios.

Esta solução é a que permite uma maior produção fotovoltaica, respeitando um período de retorno máximo de 15 anos.

Esta solução corresponde, em média, à instalação de 22 painéis solares fotovoltaicos por edifício no caso de estudo 2, e de 21 painéis solares fotovoltaicos por edifício nos casos de estudo 1 e 3.

Na Tabela 18, seguem os contributos renováveis da implementação das soluções a seguir indicadas, tendo em conta o consumo total de energia elétrica da freguesia:

- Caso de Estudo A – Instalação de 21 painéis solares fotovoltaicos em todos os edifícios de habitação unifamiliar, bem como de 7 painéis em todos os edifícios de habitação multifamiliar e de 6 painéis nos edifícios de serviços considerados;
- Caso de Estudo B – Instalação de 7 painéis solares fotovoltaicos em todos os edifícios de habitação unifamiliar, bem como de 22 painéis em todos os edifícios de habitação multifamiliar e de 6 painéis nos edifícios de serviços considerados;
- Caso de Estudo C – Instalação de 7 painéis solares fotovoltaicos em todos os edifícios de habitação unifamiliar, bem como de 7 painéis em todos os edifícios de habitação multifamiliar e de 21 painéis nos edifícios de serviços considerados;

Tabela 18 - Contributo das Energias Renováveis por Caso de Estudo A, B e C

	Caso de Estudo A	Caso de Estudo B	Caso de Estudo C
Energia Elétrica Total Consumida na Freguesia (GWh)	61,7		
Energia Produzida por cada conjunto (GWh)	21,2	14,3	9,0
Contributo Renovável (%)	34,4%	23,2%	14,6%

Deste modo, foi possível desenvolver duas soluções que cumprem com um dos objetivos da presente dissertação, nomeadamente o contributo renovável de pelo menos 20% do consumo de energia elétrica da freguesia.

4.6.3 Emissões

Por último, a redução das emissões de gases com efeito de estufa é outro objetivo a cumprir, sendo que de acordo com o indicado na secção 2.2.3, entre 2005 e 2020, é necessário reduzir cerca de 69 ktonCO₂eq, o que representa 20% da emissão total de gases com efeito de estufa no concelho de Oeiras.

Distribuindo-se de forma equitativa este valor de emissões pelos 172120 habitantes do concelho de Oeiras, pode-se considerar que a freguesia de Barcarena precisa de reduzir cerca de aproximadamente 5,6 ktonCO₂eq até 2020. Na Tabela 19, seguem os valores de emissões evitados por cada um dos casos de estudo anteriormente referidos, tendo em conta a conversão indicada em [19].

Tabela 19 - Emissões evitadas por caso de estudo

Casos de Estudo	Energia Produzida (GWh)	Emissões evitadas (ktonCO ₂ eq)	Contributo para o cumprimento do objetivo (100% = 5,6 ktonCO ₂ eq)
1	6,2	2,9	51,9 %
2	8,8	4,1	73,5 %
3	8,8	4,1	74,1 %
A	21,2	10,0	178,0 %
B	14,3	6,7	120,3 %
C	9,0	4,2	75,5 %

Apesar de todos os casos de estudo apresentarem um impacto relevante na redução das emissões da freguesia, evitando pelo menos 51% das emissões que permitem cumprir o objetivo anteriormente referido, mais uma vez verificou-se que apenas os casos de estudo A e B apresentam valores de emissões evitadas acima do mesmo.

É importante referir que, os casos de estudo A, B e C apresentam um impacto igualmente relevante na redução das emissões proposta para o concelho de Oeiras até ao ano de 2020 (cerca de 14% para o caso de estudo A, 10% para o caso de estudo B e de 6% para o caso de estudo C de 69 ktonCO₂eq).

4.7 Análise Económica

4.7.1 Custos

Os custos totais dizem respeito não só ao investimento inicial, mas também aos custos de manutenção do sistema. É importante ter em conta os custos dos equipamentos escolhidos são diferentes para cada fornecedor.

No ANEXO X, são apresentados os custos considerados por equipamento para cada um dos conjuntos de painéis anteriormente apresentados, sendo que o custo associado à instalação de cada conjunto está incrementado no custo dos painéis fotovoltaicos.

Na Tabela 20, seguem os custos por cada conjunto de painéis (6,7,21 e 22 unidades por conjunto), bem como os custos para a implementação de cada um dos casos de estudo anteriormente referidos.

Tabela 20 - Investimento Inicial por conjunto e casos de estudo

	Custos [k€]
6 Painéis	2,7
7 Painéis	3,1
21 Painéis	8,4
22 Painéis	9,4
Caso de Estudo 1	$5,1 \times 10^3$
Caso de Estudo 2	$7,2 \times 10^3$
Caso de Estudo 3	$7,3 \times 10^3$
Caso de Estudo A	$16,3 \times 10^3$
Caso de Estudo B	$11,7 \times 10^3$
Caso de Estudo C	$7,4 \times 10^3$

Para os custos de Manutenção e Operação anuais assume-se 1 % do valor total de instalação, por ano [37]. Assim obtém-se um valor compreendido entre os 51,2 k€ e os 162,6 k€ de custos de Operação e Manutenção, consoante o caso de estudo a considerar.

4.7.2 Receitas

Embora o âmbito desta Dissertação não se prenda com o estudo do tarifário da Energia Elétrica em Portugal este é indispensável para o estudo da viabilidade económica da instalação em estudo, nomeadamente relativamente aos proveitos da mesma. Deste modo, é realizada uma pequena reflexão sobre este tema.

A energia elétrica é um bem essencial, estando sujeita às obrigações de serviço público. Destas obrigações destacam-se a segurança, e a proteção dos consumidores, nomeadamente quanto a tarifas e preços do serviço.

O Sistema Tarifário e a metodologia de cálculo das tarifas, definidas no Regulamento Tarifário, devem promover de forma transparente a eficiência e justiça das tarifas, sem esquecer o equilíbrio económico e financeiro, a qualidade do fornecimento da energia e a estabilidade da evolução tarifária.

Assim sendo, a tarifa total, paga pelos consumidores de energia elétrica, é constituída por duas parcelas que somadas constituem o valor da tarifa a pagar. Uma delas é representante da tarifa paga pela energia consumida, dada pelo mercado, e outra de acesso às redes, regulada pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). Esta última ainda se divide em duas, uma variável, em função da energia consumida, e outra mensal, dada pela potência contratada.

Para o presente estudo de viabilidade económica, foi considerado que todos os consumidores de energia elétrica da freguesia de Barcarena são clientes da empresa EDP Comercial, sabendo que este é considerado o principal operador no mercado livre de eletricidade, segundo [41].

Para calcular a poupança, considerou-se apenas o preço do consumo da tarifa simples, para uma potência contratada de 6,9 kVA, indicado em [42].

Na Tabela 21 segue a poupança estimada por conjunto e para cada um dos casos de estudo anteriormente referidos, tendo em conta a respetiva energia produzida. Para este cálculo foi considerado um tempo de vida útil do conjunto de 25 anos, bem como uma taxa de depreciação dos painéis de 1% ao ano.

Tabela 21 - Poupança por conjunto e casos de estudo

	Energia Produzida (MWh)	Tarifa [€]	Poupança [k€] (1º Ano)	Poupança [k€] (25 Anos)
6 Painéis	3,2	0,1511	0,5	11,1
7 Painéis	3,7		0,6	12,9
21 Painéis	11,1		1,7	38,7
22 Painéis	11,7		1,8	40,6
Caso de Estudo 1	$6,2 \times 10^3$		$0,9 \times 10^3$	$21,5 \times 10^3$
Caso de Estudo 2	$8,8 \times 10^3$		$1,3 \times 10^3$	$30,4 \times 10^3$
Caso de Estudo 3	$8,8 \times 10^3$		$1,3 \times 10^3$	$30,7 \times 10^3$
Caso de Estudo A	$21,2 \times 10^3$		$3,2 \times 10^3$	$73,7 \times 10^3$
Caso de Estudo B	$14,3 \times 10^3$		$2,2 \times 10^3$	$49,8 \times 10^3$
Caso de Estudo C	$8,9 \times 10^3$		$1,4 \times 10^3$	$31,3 \times 10^3$

Mais uma vez, é possível verificar que os casos de estudo A e B, são os que apresentam valores de poupança superiores aos restantes casos.

4.7.3 Rentabilidade

A Rentabilidade da instalação é avaliada através do *Cash-Flow*. Este, tal como já referido anteriormente, representa o saldo entre as entradas e saídas de capital, neste caso, dos consumos de energia elétrica dos edifícios.

Para o seu cálculo foi elaborado um Mapa de Fluxos de Tesouraria, onde constam os valores referentes à poupança na tarifa da energia, o investimento inicial e os custos de manutenção (considerados constantes ao longo dos 25 anos de vida útil da instalação).

O resultado deste Mapa foi convertido em gráfico, sendo apresentado na Figura 21, os valores referentes aos Casos de Estudo 1, 2 e 3, e na Figura 22, os valores referentes aos Casos de Estudo A, B e C.

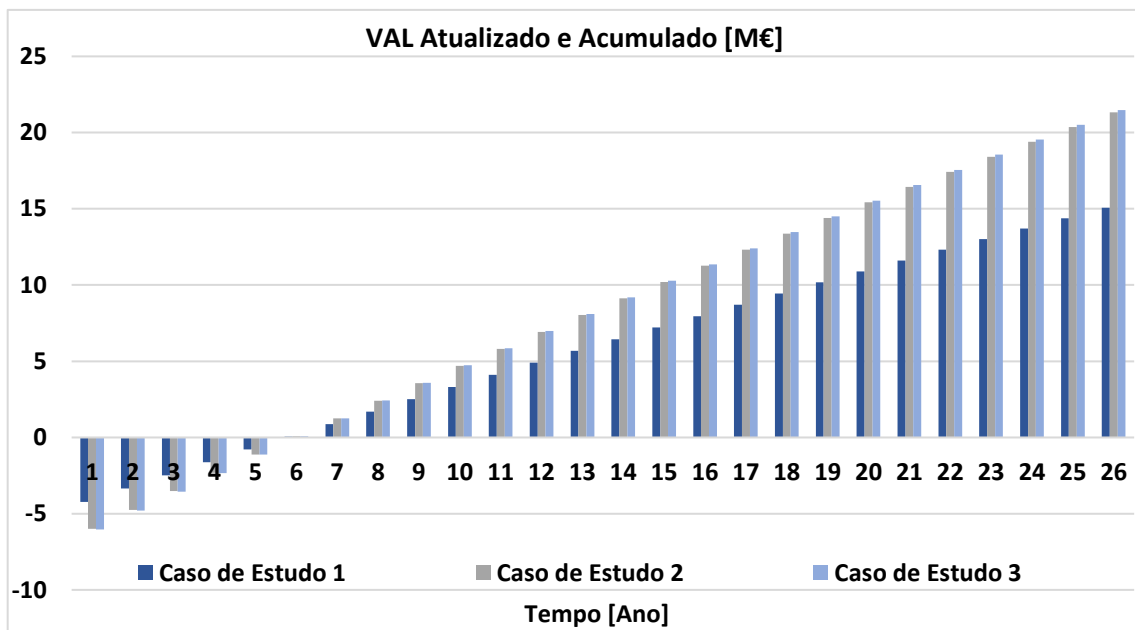


Figura 22 - Rentabilidade dos Casos de Estudo 1, 2 e 3

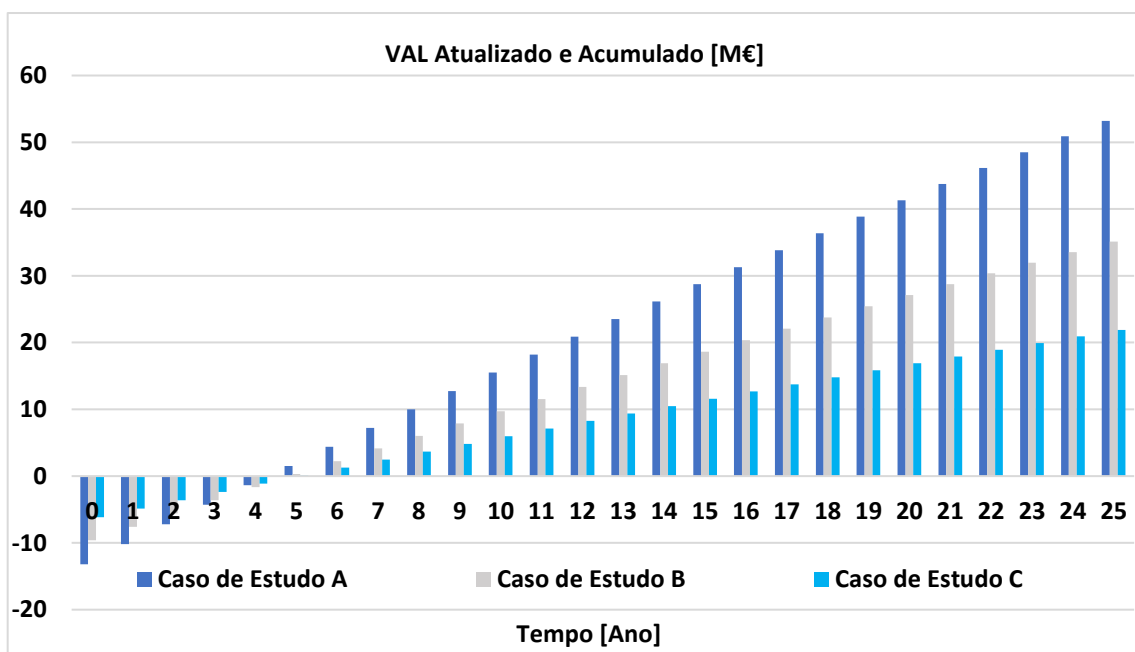


Figura 23 - Rentabilidade dos Casos de Estudo A, B e C

4.7.4 Avaliação 25 Anos

Através do Mapa de Fluxos de Tesouraria, realizado para o cálculo da rentabilidade do caso de estudo A, é possível retirar outras conclusões para além do *Cash-Flow*. Tal é o caso dos indicadores económicos, VAL, TIR e *Payback*. Estes indicadores, já referenciados no ponto 4.5.2, têm como principal função, avaliar a viabilidade de um determinado caso de estudo.

Assim sendo, os valores obtidos para estes indicadores económicos, ao final dos 25 anos de vida estão representados na Tabela 22 para os casos de estudo 1, 2 e 3, e na Tabela 23, para os casos de estudo A, B e C.

Tabela 22 - Indicador Económico dos Casos de Estudo 1, 2 e 3

Casos de Estudo	VAL	TIR [%]	Payback [Anos]
1	19,5 M€	18,6 %	5,1
2	27,6 M€	18,6 %	5,1
3	27,8 M€	18,6 %	5,2

Tabela 23 - Indicador Económico dos Casos de Estudo A, B e C

Casos de Estudo	VAL	TIR [%]	Payback [Anos]
A	80,6 M€	20,9 %	4,2
B	47,2 M€	19,0 %	4,9
C	28,5 M€	18,6 %	5,2

Capítulo V

5. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Resumo:

Neste capítulo são apresentadas as conclusões retiradas do estudo de viabilidade realizado e descrito no presente documento e indicados possíveis desenvolvimentos futuros para os casos de estudo apresentados.

5.1 Conclusões

A realização de um perfil de produção e de consumo da freguesia acaba por não ser tão bem conseguido, tendo em conta que os dados utilizados se referem aos Censos de 2011, o que coloca uma certa imprecisão na análise.

No entanto, a presente dissertação permitiu desenvolver duas soluções de instalação de painéis fotovoltaicos na freguesia de Barcarena que permitem cumprir os objetivos propostos para 2020 no que diz respeito à redução de emissões e do respetivo contributo renovável, nomeadamente o caso de estudo A e B.

No que diz respeito ao caso de estudo A, verificou-se um contributo renovável na ordem dos 34 % em relação ao valor total de energia consumida, que se traduz em uma redução de emissões de gases com efeito de estufa cerca de aproximadamente 78% acima do objetivo estabelecido para a freguesia de Barcarena, e que representa 14% da redução estabelecida para o concelho de Oeiras para 2020, tendo como referência os dados recolhidos em 2005.

Tendo em conta os mesmos parâmetros do estudo de viabilidade, no caso de estudo B, verificou-se um contributo renovável na ordem dos 23% que se traduz em uma redução de emissões de gases com efeito de estufa cerca de aproximadamente 20% acima do objetivo estabelecido para a freguesia de Barcarena, que consequentemente representa 10% na redução estabelecida para o concelho de Oeiras para 2020.

Apesar de todos os casos de estudo apresentarem um impacto relevante na redução das emissões da freguesia, evitando pelo menos 51% das emissões que permitem cumprir o objetivo anteriormente referido, mais uma vez verificou-se que apenas os casos de estudo A e B apresentam valores de emissões evitadas acima do mesmo.

Com os dados recolhidos dos casos de estudo A e B, pode-se concluir que a substituição das atuais soluções de produção de energia elétrica, pelas soluções desenvolvidas na presente dissertação, terá um impacto relevante na

freguesia de Barcarena e conseqüentemente no concelho de Oeiras, sobretudo no que diz respeito à redução das emissões de gases com efeito de estufa.

Para além dos dados recolhidos pelos casos de estudo, no que diz respeito ao perfil energético do concelho de Oeiras, e conseqüentemente da freguesia de Barcarena, identificou-se um aproveitamento reduzido da energia solar, razão pela qual se torna importante concretizar estudos de viabilidade na presente área geográfica, com o intuito de aferir a quantidade de energia que pode ser produzida.

Por último, é importante ter em conta que as necessidades de consumo de energia elétrica tendem para um aumento que tem de ser colmatado pela produção de energia elétrica com fontes de energia renovável, de forma a garantir a sustentabilidade energética da freguesia de Barcarena e conseqüentemente do concelho de Oeiras.

Este aumento das necessidades de consumo está associado, por exemplo, ao aumento expectável da utilização de energia elétrica de origem doméstica, associado aos avanços tecnológicos dos equipamentos utilizados habitualmente em edifícios de habitação.

Outro exemplo que justifica o aumento previsto do consumo de energia elétrica é o aumento expectável da necessidade de abastecimento de veículos elétricos, que pode ser igualmente colmatado pelo aumento de produção de energia elétrica com recurso a fontes de energia renovável, nomeadamente fontes de energia solar fotovoltaica.

No entanto, tendo em conta o aumento de população residente que se tem verificado na freguesia, o conseqüente aumento de edifícios de habitação, bem como a realização de soluções que abrangem mais edifícios de serviços, permitirá desenvolver soluções de produção de energia fotovoltaica com um impacto energético, económico e ambiental mais relevante.

5.2 Desenvolvimentos Futuros

De acordo com os resultados obtidos com o estudo realizado nesta Dissertação, é possível validar a viabilidade de desenvolver soluções que permitem responder ao consumo de energia elétrica da freguesia de Barcarena.

Deste modo, o primeiro passo é elaborar estudos de viabilidade económica e energética específicos dos edifícios de serviços existentes na freguesia de Barcarena, de forma de implementar soluções de produção que incentivem a população local, através de exemplos concretos.

O Orçamento de 2020 do concelho de Oeiras atribuí 354525 € ao aumento da eficiência energética, no qual se insere o aumento da produção de energia fotovoltaica, sendo que este valor pode ser utilizado para a concretização do passo anteriormente referido.

O próximo passo será incentivar a população residente em edifícios de habitação unifamiliar a implementar soluções de produção fotovoltaica, e por último a população residente em edifícios de multifamiliares, sendo necessário continuar a desenvolver vários estudos de viabilidade, de forma a otimizar o processo de análise e de escolha de uma solução de produção fotovoltaica economicamente viável e eficiência do ponto de vista energético, para um dado edifício, tendo em conta a população residente.

Referências Bibliográficas

- [1] Município de Oeiras, “Oeiras Factos e Números (Edição Especial, Edição do Município de Oeiras),” 2013.
- [2] Câmara Municipal de Oeiras (DAE/GDM), “Plano de Acção Energia Sustentável Oeiras,” 2010.
- [3] Câmara Municipal de Oeiras, “Oeiras Valley,” [Online]. Available: <https://www.oeirasvalley.com/apresentacao/>.
- [4] Câmara Municipal de Oeiras, “Sustentabilidade,” [Online]. Available: <http://www.cm-oeiras.pt/pt/investir/sustentabilidade>.
- [5] Parlamento Europeu, “Pacote clima-energia "três vintes" até 2020,” 17 Dezembro 2008. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20081208BKG44004+0+DOC+XML+V0//PT> .
- [6] Agência Europeia do Ambiente, “O Caminho para a sustentabilidade global,” 9 Fevereiro 2017. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/pt/sinais-da-aea/sinais-2012/artigos/o-caminho-para-a-sustentabilidade-global/> .
- [7] “Charter of European Cities & Towns Towards Sustainability,” 27 Maio 1994. [Online].
- [8] “Participants of the European Sustainable Cities & Towns Campaign - Signatory local authorities of the Aalborg Charter,” [Online].
- [9] Agência Portuguesa do Ambiente, “Política Climática UE 2020,” [Online]. Available: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=506#>.
- [10] Agência para o Desenvolvimento e Coesão, “Portugal 2020: Objetivos, Desafios e Operacionalização,” [Online]. Available: https://www.portugal2020.pt/sites/default/files/portugal2020objetivos_desafios_19dez_14.pdf.
- [11] European Environment Agency, “EEA greenhouse gas - data viewer,” [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>.
- [12] Eurostat, “Primary energy consumption [T2020_33],” [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ind_eff&lang=en .
- [13] Eurostat, “Final energy consumption [T2020_34],” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/T2020_34/default/table.

- [14] Eurostat, “Share of renewable energy in gross final energy consumption [T2020_31],” [Online]. Available:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/T2020_31/default/table .
- [15] Eurostat, “Supply, transformation and consumption of electricity [nrg_cb_e],” [Online]. Available:
https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_cb_e&lang=en .
- [16] PORDATA, “Produção bruta de electricidade: total e por alguns tipos de fonte energética,” [Online]. Available:
<https://www.pordata.pt/Europa/Produ%C3%A7%C3%A3o+bruta+de+electricidade+total+e+por+alguns+tipos+de+fonte+energ%C3%A9tica-1394>.
- [17] Eurostat, “Greenhouse gas emissions, base year 1990 [T2020_30],” [Online]. Available:
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_30/default/table?lang=en.
- [18] DGEG, “Energia Eléctrica - Consumos por Concelho - Por Sector de Actividade,” [Online]. Available: <http://www.dgeg.gov.pt/?cn=6891700270717120AAAAAAAA>.
- [19] Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), “Despacho n.º 17313/2008”.
- [20] Portal Energia (Energias Renováveis), “Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares,” 28 Novembro 2017. [Online]. Available:
<https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>.
- [21] A. C. Monteiro, “Aplicação de painéis solares em edifícios públicos para autoconsumo fotovoltaico (Dissertação),” ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018.
- [22] Portal Energia (Energias Renováveis), “Energia Fotovoltaica – Manual sobre tecnologias, projecto e instalação,” 2004.
- [23] F. Nunes, Fontes de Energia Renovável, ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015.
- [24] Wikipedia, “Barcarena (Oeiras),” [Online]. Available:
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Barcarena_\(Oeiras\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Barcarena_(Oeiras)) .
- [25] Município de Oeiras, “População Total (Nº) (2011),” [Online]. Available:
<http://geoportal.cm-oeiras.pt/ver/mapas/estatisticos>.
- [26] Município de Oeiras, “Alojamentos por Edifício (Nº) (2011),” [Online]. Available:
<http://geoportal.cm-oeiras.pt/ver/mapas/estatisticos>.
- [27] INE, “Edifícios (N.º) por Localização geográfica (à data dos Censos 2011), Dimensão de pisos, Tipo de utilização e Escalão de dimensão de alojamentos; Decenal - INE, Recenseamento da população e habitação - Censos 2011,” [Online]. Available:
https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_indicador&contexto=ind&indOcorrCod=0006245&selTab=tab10.

- [28] INE, “Dimensão média das famílias clássicas (N.º) por Local de residência (à data dos Censos 2011); Decenal - INE, Recenseamento da população e habitação - Censos 2011,” [Online].
- [29] INE, “Consumo de energia elétrica por habitante (kWh/ hab.) por Local de residência (NUTS - 2013); Anual,” [Online].
- [30] INE, “Consumo doméstico de energia elétrica por habitante (kWh/ hab.) por Local de residência (NUTS - 2013); Anual,” [Online].
- [31] “Fatores de Conversão,” [Online]. Available: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_fatoresdeconversao_indice.pdf.
- [32] Plataforma Green Energy, [Online]. Available: <https://potencial solar.municipia.pt/>.
- [33] Google Maps, [Online]. Available: <https://www.google.pt/maps/place/Barcarena/@38.7333186,-9.3178081,13z/data=!3m1!4m5!3m4!1s0xd1ece834a7a3e91:0x500ebbde49047f0!8m2!3d38.7330247!4d-9.2803442>.
- [34] PVGIS, “Photovoltaic Geographical Information System,” [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>.
- [35] A. K. & V. Shrivastava, “Viability of grid-Connected Solar PV System For a Village of Rajasthan,” 2017. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8279175>.
- [36] P. Manteiga, “Estudo da integração de sistemas fotovoltaicos de um edifício de balanço energético nulo (NZEB),” Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2019.
- [37] R. Castro, “Uma introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica,” IST Press, 2012, Capítulo 8, pp. 356 - 416.
- [38] Weather Spark, “Condições meteorológicas características de Oeiras,” [Online]. Available: <https://pt.weatherspark.com/m/32014/7/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-caracter%C3%ADsticas-de-Oeiras-Portugal-em-julho#Sections-Clouds>.
- [39] IEC 60364-7-712, ““Low voltage electrical installations - Part 7-712: Requirements for special installations or locations - Solar photovoltaic (PV) power supply systems””.
- [40] R. M. R. V. d. Ovelha, “Projeto, Dimensionamento e Instalação de Solução Fotovoltaica numa moradia offgrid,” 2017, p. 16 e 17.
- [41] ERSE, “Eletricidade: Mercado livre cresceu 2,8% em 2019 para 5,2 milhões de clientes,” 27 Janeiro 2020. [Online]. Available: <https://www.erse.pt/comunicacao/destaques/eletricidade-mercado-livre-cresceu-2-8-em-2019-para-5-2-milhoes-de-clientes/>.
- [42] EDP Comercial, “Tarifários,” [Online]. Available: <https://www.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/>.

- [43] Conselho da União Europeia, “Alterações climáticas: UE a cumprir o Acordo de Paris,” [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/pt/infographics/greenhouse-gas-reduction/>.

Anexos

Resumo:

Neste tópico são apresentados, não só os cálculos como também os documentos de consulta que possuam elevada relevância para a realização da Dissertação.

Dentro destes documentos encontram-se, entre outros, os modelos construídos bem com os cálculos de energia produzida através dos painéis fotovoltaicos e os catálogos dos equipamentos escolhidos.

Índice dos Anexos

ANEXO I - Dados do Perfil Demográfico da Freguesia de Barcarena	II
ANEXO II - Dados do Perfil Energético da Freguesia de Barcarena.....	II
ANEXO III - Lista dos Edifícios Habitacionais distribuídos pela Freguesia de Barcarena.....	II
ANEXO IV - Lista dos Edifícios de Serviços distribuídos pela Freguesia de Barcarena	II
ANEXO V - Exemplo de Aplicação da Sequência de Cálculo.....	II
ANEXO VI - Valores de Temperatura e de Irradiância analisados.....	II
ANEXO VII - Cálculos Necessários para os Casos de Estudo 1, 2 e 3	II
ANEXO VIII - Dados retirados dos Catálogos dos Equipamentos	II
ANEXO IX - Valores Mensais da Produção de Energia Fotovoltaica.....	II
ANEXO X - Custos dos Equipamentos.....	II

**ANEXO I - Dados do Perfil
Demográfico da Freguesia de
Barcarena**

Lugares	Alojamentos por Edifício (Nº) (2011)	Total de Edifícios (Nº) (2011)	Percentagem de Distribuição de Edifícios pela Freguesia (%)	População Total (Nº) (2011)
Barcarena	2,9	334	14%	2091
Fábrica da Pólvora	1,3	262	11%	833
Leceia	1,5	481	20%	1653
Queluz de Baixo	5	326	14%	3392
Quinta da Moura	1	83	4%	243
Tercena	3,7	575	24%	4364
Valejas	1,9	301	13%	1331
Total / Média	2,47	2362	100%	13907

População residente (N.º) nos alojamentos familiares clássicos de residência habitual						
Nº Pessoas	Alojamentos com 1 família		Alojamentos com 2 famílias		Alojamentos com 3 ou mais famílias	
	Oeiras	Barcarena	Oeiras	Barcarena	Oeiras	Barcarena
1	18851	1126	0	0	0	0
2	47504	3474	326	8	0	0
3	43551	4107	261	9	96	6
4	38904	3500	236	40	88	0
5	12440	900	245	5	45	0
6	4356	288	138	18	42	0
7	1631	84	98	0	42	0
8	672	16	96	16	32	0
9 ou mais	604	29	51	0	12	0
Total	168513	13524	1451	96	357	6

Nº de Edifícios por Nº de Alojamentos (2011)			
Nº Alojamentos	Oeiras	Barcarena	Percentagem de Distribuição de Edifícios pela Freguesia (%)
1 alojamento	9804	1666	71%
2 alojamentos	1550	142	6%
3 alojamentos	507	56	2%
4 alojamentos	485	49	2%
5 - 9 alojamentos	3035	297	13%
10 - 15 alojamentos	1809	132	6%
16 ou mais alojamentos	1053	16	1%
Total	18243	2358	

Lugar	População
Algés	22273
Barcarena	13861
Carnaxide	25911
Caxias	9007
Cruz Quebrada - Dafundo	6393
Linda-a-Velha	19999
Oeiras e S. Julião da Barra	33827
Paço de Arcos	15315
Porto Salvo	15157
Queijas	10377
Total	172120

ANEXO II - Dados do Perfil Energético da Freguesia de Barcarena

Dados	Oeiras	Barcarena	Observações
Consumo de energia elétrica por habitante (kWh/ hab./ ano)	4436,3	-	Considerar igual a Oeiras
Consumo doméstico de energia elétrica por habitante (kWh/ hab./ ano)	1334,1	-	Considerar igual a Oeiras
Dimensão média das famílias clássicas (N.º)	2,38	2,52	Portugal: 2,58

Dados	População	Consumo Eletricidade Anual (GWh)	Consumo Doméstico Anual (GWh)
Oeiras	172120	763,6	229,6
Barcarena	13907	61,7	18,6

Matriz Energética (PAESO 2010)		
Dados	Consumo	Percentagem do Consumo Total
Consumo Energia Elétrica Total [kWh]	798628	100%
Consumo Energia Elétrica Doméstica [kWh]	233793	29%
Consumo Energia Elétrica Serviços [kWh]	418864	52%

Dados	Consumo	Percentagem do Consumo Total
Consumo de energia elétrica por habitante (kWh/ hab./ ano)	4436,3	100%
Consumo doméstico de energia elétrica por habitante (kWh/ hab./ ano)	1334,1	30%
Consumo de energia elétrica por habitante nos Serviços (kWh/ hab./ ano)	2218,2	50%

**ANEXO III - Lista dos Edifícios
Habitacionais distribuídos pela
Freguesia de Barcarena**

Lugar	Edifício N° (Azul - Edifícios de Habitação Unifamiliar / Restante - Edifícios de Habitação Multifamiliar)	Área Disponível para Painéis Solares [m ²]	Painéis Utilizados (Solução Ótima)	Painéis Utilizados (Solução de Maior Autonomia de Rede)	Potencial do Telhado (kWh/m ² /ano)
TERCENA	1	192	4	24	1366
	2	374	13	66	1345
	3	100	5	19	1356
	4	225	4	18	1320
	5	101	5	18	1395
	6	109	3	19	1511
	7	144	5	15	1418
	8	115	4	20	1358
	9	111	4	17	1423
	10	142	4	19	1395
	11	131	5	20	1272
	12	145	5	18	1421
	13	95	5	18	1413
	14	123	4	21	1310
	15	99	5	19	1325
	16	128	6	21	1228
	17	164	5	19	1316
	18	194	5	16	1435
	19	127	5	21	1276
	20	145	5	19	1370
	21	165	5	20	1362
	22	81	5	16	1349
	23	165	17	37	1330
	24	119	5	22	1292

Lugar	Edifício N° Azul - Edifícios de Habitação Unifamiliar / Restante - Edifícios de Habitação Multifamiliar)	Área Disponível para Painéis Solares [m ²]	Painéis Utilizados (Solução Ótima)	Painéis Utilizados (Solução de Maior Autonomia de Rede)	Potencial do Telhado (kWh/m ² /ano)
BARCARENA	25	87	16	24	1394
	26	105	4	15	1295
	27	175	5	14	1256
	28	89	20	28	1437
	29	146	3	20	1307
	30	204	5	19	1247
	31	92	14	24	1347
	32	104	14	25	1231
	33	106	6	20	1339
	34	435	14	70	1457
	35	122	20	32	1550
	36	79	3	13	1248
	37	122	5	14	1318
	38	82	5	16	1498

Lugar	Edifício Nº (Azul - Edifícios de Habitação Unifamiliar / Restante - Edifícios de Habitação Multifamiliar)	Área Disponível para Painéis Solares [m²]	Painéis Utilizados (Solução Ótima)	Painéis Utilizados (Solução de Maior Autonomia de Rede)	Potencial do Telhado (kWh/m²/ano)
FÁBRICA DA PÓLVORA	39	336	13	60	1350
	40	175	11	34	1408
	41	106	16	27	1337
	42	102	13	25	1318
	43	393	5	18	1329
	44	116	4	14	1214
	45	175	5	20	1335
	46	104	16	27	1329
	47	103	3	18	1373
	48	99	14	25	1173
49	81	15	23	1312	

Lugar	Edifício Nº (Azul - Edifícios de Habitação Unifamiliar / Restante - Edifícios de Habitação Multifamiliar)	Área Disponível para Painéis Solares [m²]	Painéis Utilizados (Solução Ótima)	Painéis Utilizados (Solução de Maior Autonomia de Rede)	Potencial do Telhado (kWh/m²/ano)
LECEIA	50	101	5	17	1367
	51	104	5	17	1362
	52	250	4	18	1405
	53	158	4	16	1438
	54	143	4	24	1307
	55	148	5	20	1292
	56	170	4	18	1429
	57	89	4	14	1128
	58	152	4	18	1284
	59	87	20	27	1410
	60	87	5	17	1394
	61	142	5	25	1368
	62	159	5	19	1498
	63	168	5	20	1463
	64	222	4	14	1279
	65	114	5	21	1273
	66	105	3	16	1431
	67	108	5	18	1476
68	142	5	25	1368	
69	105	5	19	1388	

Lugar	Edifício Nº (Azul - Edifícios de Habitação Unifamiliar / Restante - Edifícios de Habitação Multifamiliar)	Área Disponível para Painéis Solares [m²]	Painéis Utilizados (Solução Ótima)	Painéis Utilizados (Solução de Maior Autonomia de Rede)	Potencial do Telhado (kWh/m²/ano)
QUINTA DA MOURA	70	193	5	27	1408
	71	216	17	44	1479
	72	267	4	17	1320
	73	200	17	42	1533

Lugar	Edifício Nº (Azul - Edifícios de Habitação Unifamiliar / Restante - Edifícios de Habitação Multifamiliar)	Área Disponível para Painéis Solares [m ²]	Painéis Utilizados (Solução Ótima)	Painéis Utilizados (Solução de Maior Autonomia de Rede)	Potencial do Telhado (kWh/m ² /ano)
VALEJAS	74	177	4	18	1379
	75	160	4	18	1476
	76	80	5	16	1250
	77	49	3	10	1602
	78	79	5	16	1413
	79	88	5	17	1178
	80	97	5	18	1410
	81	90	5	17	1219
	82	72	4	14	1241
	83	99	4	18	1122
	84	98	5	18	1135
	85	244	4	18	1338
	86	174	4	18	1417

Lugar	Edifício Nº (Azul - Edifícios de Habitação Unifamiliar / Restante - Edifícios de Habitação Multifamiliar)	Área Disponível para Painéis Solares [m ²]	Painéis Utilizados (Solução Ótima)	Painéis Utilizados (Solução de Maior Autonomia de Rede)	Potencial do Telhado (kWh/m ² /ano)
QUELUZ DE BAIXO	87	198	16	41	1299
	88	353	4	18	1436
	89	239	4	18	1334
	90	248	4	15	1390
	91	116	5	21	1273
	92	104	18	28	1307
	93	101	4	18	1409
	94	108	5	20	1364
	95	52	5	12	1389
	96	98	6	19	1293
	97	82	4	15	1204
	98	82	4	15	1355
	99	89	4	16	1357
	100	159	5	20	1345

	Disponíveis [m ²]	Nº Painéis (Ótima)	Nº Painéis (Maior Autonomia)	Potencial [kWh/m ² /ano]
Média Total	144	7	22	1350

**ANEXO IV - Lista dos Edifícios de
Serviços distribuídos pela Freguesia
de Barcarena**

Lugar	Serviço	Área Disponível para Painéis Solares [m ²]	Painéis Utilizados (Solução Ótima)	Painéis Utilizados (Solução de Maior Autonomia de Rede)	Potencial do Telhado (kWh/m ² /ano)
QUINTA DA MOURA	Oeiras International School (Edifício 1)	1658	4	17	1451
	Clube de Campo - Quinta da Moura	241	4	17	1300
QUELUZ DE BAIXO	Grupo Recreativo e Desportivo "Os Fixes"	202	5	21	1411
	EB1/JI Jorge Mineiro	1010	5	22	1385
LECEIA	EB1Visconde de Leceia	388	5	20	1360
	Sociedade de Educação e Recreio - Os Unidos de Leceia	511	5	24	1515
	Academia Equestre João Cardiga	1125	5	23	1417
TERCENA	Grupo Recreativo Tercena	395	4	17	1342
	EB1 Santo António de Tercena (Edifício 1)	580	3	13	1427
	EB1 Santo António de Tercena (Edifício 2)	312	4	18	1326
FÁBRICA DA PÓLVORA	Universidade Atlântica (Edifício 1)	434	5	21	1437
	Universidade Atlântica (Edifício 2)	463	5	19	1269
	Universidade Atlântica (Edifício 3)	246	5	20	1333
	Museu da Pólvora Negra	356	4	22	1161
VALEJAS	Valejas Atlético Clube	288	4	19	1400
	EB1/JI São Bento Valejas	749	4	21	1352
BARCARENA	Junta de Freguesia de Barcarena	193	5	19	1462
	Oeiras International School (Edifício 2)	378	5	20	1219
	Bombeiros Voluntários de Barcarena	1011	5	23	1357
	Grupo Desportivo de Barcarena	293	4	11	1190
	Crematório de Barcarena	490	5	21	1308

ANEXO V - Exemplo de Aplicação da Sequência de Cálculo

Exemplo de Cálculo

Planta do telhado do edifício escolhido com as medições do edifício e com um esboço da colocação dos painéis (azul)



Carta do Potencial Solar do Edifício (painéis colocados na zona de maior potencial do edifício)



Considerando as seguintes características dos painéis escolhidos:

Características do Painel Fotovoltaico	
Potência Nominal (Wp)	250
Média de eficiência (%)	15,4
V_{max} (V)	29,8
I_{max} (A)	8,39
I_{CC} (A)	8,92
V_{CA} (V)	37,6
NOCT (°C)	46
N_s	60

Considerando os seguintes dados de temperatura de irradiação:

Características Temperatura + Irradiação	
T (°C)	17,6
G (W/m ²)	715,4

Tem-se:

Energia produzida	1091,5 kWh/ano/m ²
--------------------------	-------------------------------

Para Painéis com as dimensões 1,53 x 0,95 m, tem-se $A = 1,45 \text{ m}^2$, logo

Nº de Painéis	Área do Painel	Total produzido pela solução
7	1,5 m ²	$11,1 \times 10^3 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$

Para 7 Painéis instalados em série, tem-se:

Nº de Painéis	V_{max} [V]	I_{max} [A]	P_{DC} [W]	P_{WP} Total
7	216,1	5,8	1256,3	1750 Wp

Por isso, para este conjunto de painéis é necessário instalar um inversor com uma potência de pico superior a P_{WP} (Ex: 2 kW)

ANEXO VI - Valores de Temperatura e de Irradiância analisados

Irradiância (G) - Inclinação: 33° - Orientação: Sul - Céu Limpo [W/m²]												
H	G _{Jan}	G _{Fev}	G _{Mar}	G _{Abr}	G _{Mai}	G _{Jun}	G _{Jul}	G _{Ago}	G _{Set}	G _{Out}	G _{Nov}	G _{Dez}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	26,6	44,4	25,5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	84,9	167,6	202,7	166,2	105,6	41,3	0	0	0
7	0	24,5	125,4	275,4	360,2	397,3	359,4	296,9	220,2	130,4	42,6	0
8	101,3	179,6	320,5	483,0	555,9	591,2	556,9	501,1	422,9	317,1	222,5	130,4
9	260,1	360,1	510,2	668,2	726,5	759,6	731,3	683,1	604,9	489,5	393,4	292,8
10	398,7	512,2	662,0	809,7	854,6	886,7	865,3	823,1	742,7	618,7	522,5	422,9
11	490,5	613,4	759,3	895,4	930,2	962,9	948,5	909,6	823,5	690,3	594,4	500,8
12	523,6	653,0	793,7	919,2	948,3	983,5	975,6	936,5	841,2	698,0	602	517,4
13	494,4	627,6	762,6	879,6	907,8	947,1	944,9	902,2	794,7	641,2	544,8	471,1
14	406,2	539,3	668,4	779,1	811,1	855,9	858,1	808,8	687,1	524,8	428,0	366,8
15	269,9	397,1	519,1	625,3	665,2	716,1	721,1	662,9	527,4	360,7	264,8	217,6
16	111,1	219,9	339,7	431,9	482,4	538,7	544,7	476,9	332,2	173,3	84,6	49,9
17	0	45,9	134,6	223,8	283,8	341,6	346,5	272,1	133,1	18,6	0	0
18	0	0	0	44,1	103,6	153,0	154,9	86,2	0	0	0	0
19	0	0	0	0,9	0	19,9	19,2	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total/Dia	3055,7	4172,5	5595,4	7120,9	7823,8	8400,8	8217,9	7464,9	6171,0	4662,7	3699,5	2969,6
Nº Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Total/Mês	9,5 × 10⁴	11,7 × 10⁴	17,4 × 10⁴	21,4 × 10⁴	24,3 × 10⁴	25,2 × 10⁴	25,5 × 10⁴	23,1 × 10⁴	18,5 × 10⁴	14,5 × 10⁴	11,1 × 10⁴	9,2 × 10⁴

Temperatura (T) - Inclinação: 33° - Orientação: Sul - Céu Limpo [°C]												
H	T _{Jan}	T _{Fev}	T _{Mar}	T _{Abr}	T _{Mai}	T _{Jun}	T _{Jul}	T _{Ago}	T _{Set}	T _{Out}	T _{Nov}	T _{Dez}
0	12,0	11,7	12,6	14,0	15,7	17,8	18,9	19,4	18,9	17,9	14,8	12,8
1	11,9	11,6	12,4	13,9	15,5	17,6	18,8	19,2	18,8	17,7	14,7	12,6
2	11,8	11,4	12,3	13,8	15,4	17,5	18,6	19,1	18,7	17,6	14,5	12,5
3	11,6	11,3	12,1	13,6	15,3	17,3	18,5	18,9	18,6	17,4	14,4	12,3
4	11,5	11,1	11,9	13,5	15,2	17,3	18,4	18,8	18,4	17,3	14,3	12,2
5	11,3	10,9	11,8	13,3	15,1	17,2	18,4	18,7	18,3	17,2	14,1	12,0
6	11,1	10,8	11,7	13,2	14,9	17,2	18,3	18,6	18,2	17,0	13,9	11,9
7	11,1	10,9	12,0	13,8	15,8	17,9	19,1	19,4	18,8	17,4	14,1	11,9
8	11,1	11,1	12,4	14,4	16,6	18,8	19,9	20,3	19,3	17,7	14,3	11,9
9	11,2	11,2	12,8	14,9	17,4	19,6	20,8	21,1	19,9	18,1	14,4	11,9
10	11,7	11,9	13,4	15,5	17,8	20,1	21,4	21,7	20,5	18,7	14,9	12,6
11	12,3	12,6	14,1	16,0	18,3	20,5	22,0	22,3	21,2	19,2	15,6	13,2
12	12,9	13,3	14,8	16,5	18,7	20,9	22,6	22,9	21,8	19,8	16,1	13,8
13	13,2	13,5	14,9	16,6	18,8	21,0	22,7	23,0	21,8	19,1	16,3	14,1
14	13,6	13,8	15,2	16,7	18,9	21,0	22,7	23,0	21,8	20,0	16,5	14,4
15	13,9	14,0	15,3	16,8	18,9	21,1	22,8	23,1	21,8	20,1	16,7	14,8
16	13,6	13,8	15,1	16,5	18,7	20,8	22,4	22,7	21,5	19,8	16,4	14,4
17	13,3	13,5	14,8	16,2	18,4	20,5	22,0	22,3	21,1	19,4	16,0	14,1
18	12,9	13,2	14,5	15,9	18,1	20,2	21,7	21,9	20,8	19,0	15,7	13,8
19	12,7	12,8	14,1	15,4	17,5	19,6	20,9	21,3	20,3	18,7	15,4	13,6
20	12,5	12,4	13,6	14,9	16,9	19,1	20,3	20,6	19,8	18,4	15,2	13,3
21	12,2	12,1	13,1	14,5	16,4	18,5	19,6	19,9	19,3	18,1	14,9	13,1
22	12,1	11,9	12,9	14,4	16,2	18,3	19,4	19,8	19,2	18,0	14,9	12,9
23	12,1	11,9	12,8	14,2	15,9	18,0	19,1	19,6	19,1	17,9	14,8	12,8

**ANEXO VII - Cálculos Necessários para
os Casos de Estudo 1, 2 e 3**

Para:

Características do Painel Fotovoltaico	
Potência Nominal (Wp)	250
Média de eficiência (%)	15,4
V_{max} (V)	29,8
I_{max} (A)	8,39
I_{CC} (A)	8,92
V_{CA} (V)	37,6
NOCT (°C)	46
N_s	60
Quantidade	1

Características Temperatura	
T (°C)	17,6
G (W/m ²)	715,4

Temos:

1. Cálculo do potencial térmico em condições STC

$$V_T^r = \frac{K T^r}{q} \quad [V]$$

K	$1,4 \times 10^{-23}$	q	$1,6 \times 10^{-19}$
T_r	298,2	V_T^r	$2,6 \times 10^{-2}$

2. Cálculo do fator de idealidade do díodo

$$m = \frac{V_{max}^r - V_{CA}^r}{V_T^r \ln\left(1 - \frac{I_{max}^r}{I_{CC}^r}\right)}$$

V_{max}^r	29,8	I_{max}^r	8,4
V_{CA}^r	37,6	I_{CC}^r	8,9
V_T^r	$2,6 \times 10^{-2}$	m	107,4

3. Cálculo da intensidade de corrente de saturação do díodo em condições STC

$$I_0^r = \frac{I_{CC}^r}{\left(e^{\frac{V_{CA}^r}{m V_T^r}} - 1\right)} \quad [A]$$

V_{max}^r	29,8	m	107,4
V_{CA}^r	37,6	I_{CC}^r	8,9
V_T^r	$2,6 \times 10^{-2}$	I₀^r	$1,1 \times 10^{-5}$

4. Cálculo da intensidade da corrente de curto-circuito

$$I_{CC} = I_{CC}^r \frac{G}{G^r} \quad [A]$$

I_{CC}^r	8,9	G	1000
G	715,4	I_{CC}	6,4

5. Cálculo da temperatura de operação da célula

$$\theta = \theta_a + \frac{G (NOCT - 20)}{800} \quad [°C]$$

θ_a	17,6	NOCT	46
G	715,4	θ	40,9

6. Cálculo do potencial térmico

$$V_T = \frac{KT}{q} \text{ [V]}$$

K	$1,4 \times 10^{-23}$	q	$1,6 \times 10^{-19}$
T	314,0	V_T	$2,7 \times 10^{-2}$

7. Cálculo da intensidade de corrente de saturação do díodo

$$I_0 = I_0^r \left(\frac{T}{T^r} \right)^3 e^{-\frac{N_S \varepsilon}{m} \left(\frac{1}{V_T^r} - \frac{1}{V_T} \right)} \text{ [A]}$$

I₀^r	$1,1 \times 10^{-5}$	N_S	60	V_T^r	$2,6 \times 10^{-2}$
T	314,0	ε	1,12	m	107,4
T_r	298,2	V_T	$2,7 \times 10^{-2}$	I₀	$1,4 \times 10^{-5}$

8. Cálculo da tensão de máxima potência

$$V_{max} = m V_T \ln \left(\frac{\frac{I_{CC}}{I_0} + 1}{\frac{V_{max}}{m V_T} + 1} \right) \text{ [V]}$$

m	107,4	I₀	$1,4 \times 10^{-5}$
V_T	$2,7 \times 10^{-2}$	V_{max}^r	29,8
I_{CC}	6,4	V_{max}	30,9

9. Cálculo da intensidade da corrente de máxima potência

$$I_{max} = I_{CC} - \left[I_0 \left(e^{\frac{V}{m V_T}} - 1 \right) \right] \text{ [A]}$$

I_{CC}	6,4	m	107,4
I₀	$1,4 \times 10^{-5}$	V_T	$2,7 \times 10^{-2}$
V_{max}	30,9	I_{max}	5,8

10. Cálculo da potência de saída (P_{DC})

$$P_{max} = V_{max} I_{max} \text{ [W]}$$

V_{max}	30,9
I_{max}	5,8
P_{max} (P_{DC})	179,5

11. Cálculo da Energia produzida

$$E = \eta_{total} (P_{DC}) \sum_{i=1}^n P_{DC}(G, T)_i \Delta t_i \text{ [Wh]}$$

η_{inv}	0,9	n	8760
η_{total}	0,9	Δt	1
P_{DC} (pu)	0,7	E	1091,5

	Nº de Painéis	V_{max} [V]	I_{max} [A]	P_{DC} [W]
	1	30,9	5,8	179,5
Caso de Estudo 1 e 2	7	216,1	5,8	1256,3
Caso de Estudo 3	6	185,2	5,8	1076,8

	Nº de Painéis	Área p/ Painel [m²]	Área Total [m²]	Energia Total Produzida [kWh/ano]
	1		1,5	$1,6 \times 10^3$
Caso de Estudo 1 e 2	7	1,5	10,2	$11,1 \times 10^3$
Caso de Estudo 3	6		8,7	$9,5 \times 10^3$

**ANEXO VIII - Dados retirados dos
Catálogos dos Equipamentos**

Inversores

SUNNY BOY 1.5 / 2.0 / 2.5
with SMA SMART CONNECTED



- | | | | |
|--|--|---|--|
| Compact <ul style="list-style-type: none"> • Compact installation due to low weight of 9.2 kg • Compact design means minimum space requirements | Easy to Use <ul style="list-style-type: none"> • 100% plug and play installation • Free online monitoring via Sunny Portal • Automated service thanks to SMA Smart Connected | High Yields <ul style="list-style-type: none"> • Use of surplus energy through dynamic active power limitation • Shade management with OptiTrack Global Peak | Combinable <ul style="list-style-type: none"> • Wide input voltage range • Intelligent energy management and storage solutions can be added anytime • Can be combined with T144 components for module optimization |
|--|--|---|--|

SUNNY BOY 1.5 / 2.0 / 2.5
The new standard for small PV systems

Technical Data	Sunny Boy 1.5	Sunny Boy 2.0	Sunny Boy 2.5
Input (DC)			
Max. PV array power	3000 Wp	4000 Wp	5000 Wp
Max. input voltage	600 V	600 V	600 V
MPP voltage range	160 V to 500 V	210 V to 500 V	260 V to 500 V
Rated input voltage	360 V		
Min. input voltage / initial input voltage	50 V / 80 V		
Max. input current per string	10 A		
Max. short-circuit current per string	18 A		
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	1 / 1		
Output (AC)			
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	1500 W	2000 W	2500 W
Max. apparent power AC	1500 VA	2000 VA	2500 VA
Nominal AC voltage	220 V / 230 V / 240 V		
Nominal AC voltage range	180 V to 280 V		
AC grid frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz to +5 Hz		
Rated grid frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V		
Max. output current	7 A	9 A	11 A
Power factor of rated power	1		
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited to 0.8 underexcited		
Feeding phases / connection phases	1 / 1		
Efficiency			
Max. efficiency / Euro-eta	97.2 % / 96.1 %	97.2 % / 96.4 %	97.2 % / 96.7 %
Protective Devices			
DC side disconnection point	●		
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●		
DC reverse polarity protection / AC short circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -		
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●		
Protection class (according to IEC 62103) / surge category (according to IEC 60664-1)	I / III		
Reverse current protection	Not required		
General Data			
Dimensions (W / H / D)	460 / 357 / 122 mm [18.1 / 14.1 / 4.8 inches]		
Weight	9.2 kg (20.3 lbs)		
Operating temperature range	-40 °C to +60 °C [-40 °F to +140 °F]		
Noise emission, typical	< 25 dB		
Self-consumption (at night)	2.0 W		
Topology	Transformerless		
Cooling concept	Convection		
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65		
Climatic category (as per IEC 60721-3-4)	4K4H		
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %		
Features			
DC connection / AC connection	SUNCLIX / connector		
Display via smartphone, tablet, laptop	●		
Interfaces: WLAN / Ethernet	● / ●		
Communication protocols	Modbus (SMA, Sunspec), Webconnect		
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○ / ○		
Certificates and permits (more available upon request)	AS4777, C10/11, CE, CE10-21, DIN EN 62109-1/IEC 62109-1, DIN EN 62109-2/IEC 62109-2, EN50438, G83/2, IEC61727, IEC62116, NBR16149, NEN-EN50438, NRS0972-1, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, VFR2014		
Country availability of SMA Smart Connected	AU, AT, BE, CH, DE, ES, FR, IT, IL, NL, UK		
Type designation	S8 1.5-1VL-40	S82.0-1VL-40	S82.5-1VL-40



- | | | | |
|---|---|--|--|
| Economical <ul style="list-style-type: none"> • Maximum efficiency of 98.3 % • Peak management with OptiTop Global Peak • Active temperature management with OptiCool | Flexible <ul style="list-style-type: none"> • DC input voltage of up to 1,000 V • Integrated grid management features • Reactive power supply • Multifunctional system design with OptiFit | Communicative <ul style="list-style-type: none"> • SMA Webconnect • Sunny Remote communication • SMA and SunSpec Modbus communication • Single security configuration • Multifunction relay comes standard | Easy-to-Use <ul style="list-style-type: none"> • Three-phase feed-in • Cable connection without tools • SUNCLIX DC plug-in system • Integrated ESS (Electronics Solar Switch) • Easy-rail mounting |
|---|---|--|--|

SUNNY TRIPOWER 5000TL - 12000TL
The Three-Phase Inverter - Not Only for Your Home...

Technical Data	Sunny Tripower 5000TL	Sunny Tripower 6000TL
Input (DC)		
Max. generator power	9000 Wp	9000 Wp
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	245 V to 800 V/580 V	295 V to 800 V/580 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Max. short-circuit current input A / input B	17 A / 15 A	17 A / 15 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A-2; B-2	2 / A-2; B-2
Output (AC)		
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	5000 W	6000 W
Max. AC apparent power	5000 VA	6000 VA
Nominal AC voltage	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Nominal AC voltage range	160 to 280 V	160 to 280 V
AC grid frequency / range	50 Hz; 60 Hz / -5 Hz to +5 Hz	50 Hz; 60 Hz / -5 Hz to +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	7.3 A	8.7 A
Power factor at rated power	1	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited to 0.8 underexcited	0.8 overexcited to 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
Efficiency		
Max. efficiency / European efficiency	98 % / 97.1 %	98 % / 97.4 %
Protective devices		
DC disconnected device	•	•
Ground fault monitoring / grid monitoring	• / •	• / •
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	• / • / -	• / • / -
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	•	•
Protection class (according to IEC 62103)/overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
General data		
Dimensions (W / H / D)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)
Weight	37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)
Noise emission (typical)	40 dB(A)	40 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / OptiCool	Transformerless / OptiCool
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	100 %
Features		
DC connection / AC connection	SUNCLIX / spring-cage terminal	SUNCLIX / spring-cage terminal
Display	Graphic	Graphic
Interface: RS485, Modbus, Speedwire / Webconnect	○ / ● / ●	○ / ● / ●
Multifunction relay / Power Control Module	● / ○	● / ○
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○
Certificates and permits (more available on request)	AS 4777.2:2015, CE, CB 0-21:2016, C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438, G59/3, GB3/2, IEC 61727/MEA1, IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, FCC, PFD5, RD 661/2007, RD 1699-2011, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE0126-1-1, VDE ARN 4105, VFR 2013, VFR 2014	
Type designation	STP 5000TL-20	STP 6000TL-20

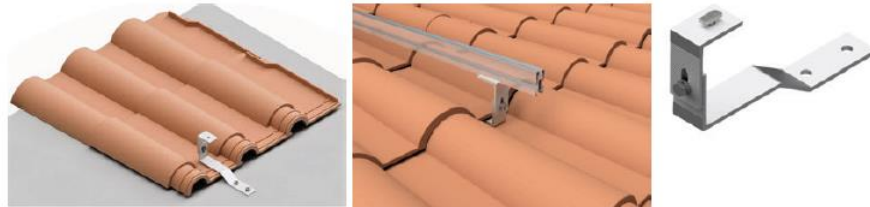
Estruturas de Suporte Metálico

08

KHT915

Soporte coplanar continuo con salvatejas para cubierta de teja

Válido para:
 - Todo tipo de cubiertas de teja, excepto cubiertas de pizarra.
 - Anclaje a hormigón.
 - Para módulos de 60 y 72 células (1650/2000x1000) de 33 a 50 mm de espesor
 - Disposición de los módulos en vertical



Cabos

EXZHELLENT® SOLAR

1.8 kV CC

General Cable

exZhelent SOLAR

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ELÉTRICAS:

Seção Nominal mm ²	Cor da Cobertura	Diâmetro Externo Nominal mm	Peso Aproximado kg/km	Raio Mín. de Curvatura mm	Resistência Elétrica C.C. Máx. do Condutor a 20 °C Ω/km	Ampacidade (I) A	Queda de Tensão (P) em C.C. V/Akm
1,5	■ ■ ■	5,4	35	22	13,7	25	38,17
2,5	■ ■ ■	5,9	45	24	8,21	34	22,87
4	■ ■ ■	6,6	60	26	5,09	45	14,18
6	■ ■ ■	7,4	80	30	3,39	57	9,445
10	■ ■ ■	8,8	120	35	1,95	79	5,433
16	■ ■ ■	10,1	180	40	1,24	105	3,455
25	■ ■ ■	12,5	300	50	0,795	140	2,215
35	■ ■ ■	14,0	395	56	0,565	174	1,574
50	■ ■ ■	16,3	555	65	0,393	219	1,095
70	■ ■ ■	18,7	790	75	0,277	273	0,7717
95	■ ■ ■	20,8	1.030	83	0,210	328	0,5851
120	■ ■ ■	23,0	1.250	92	0,164	385	0,4569
150	■ ■ ■	25,7	1.550	129	0,132	443	0,3678
185	■ ■ ■	28,7	1.910	144	0,108	506	0,3009
240	■ ■ ■	32,3	2.450	162	0,0817	606	0,2276
300	■ ■ ■	35,6	3.050	178	0,0654	700	0,1822
400	■ ■ ■	40,6	4.050	203	0,0495	842	0,1379

Caixa DC



PV DC 1IN SPD CG 1,000 V

PV DC 1IN SPD WM4 1,000 V



Technical data

Enclosures		
Dimensions (HxWxD)	190 x 164 x 106 mm	190 x 164 x 106 mm
Attachment method	Direct wall mounting with mounting lugs	Direct wall mounting with mounting lugs
Degree of protection (according to EN 60529)	IP66	IP66
Electrical properties		
Max. open circuit DC voltage	1,000 V DC	1,000 V DC
Max. DC short circuit current per input	30 A DC	30 A DC
DC breaking and making capacity (according to EN 60947-3)	-	-
Earthing (DC)	Floating positive and negative	Floating positive and negative
Surge protection DC side	PU II 2+1 1,000 V/40 kA, without auxiliary contact	PU II 2+1 1,000 V/40 kA, without auxiliary contact
Surge protection AC side	-	-
Surge protection RS-485 side (string monitoring)	-	-
Inputs		
Number of DC inputs (plus and minus = one input)	1	1
Connection DC input cables (+) to	WDU 10 (1.5 - 16 mm ²)	-
Connection DC input cables (-) to	WDU 10 (1.5 - 16 mm ²)	-
Entrance DC input cables through	M16 cable gland, IP67, Ø: 5-10 mm	WM4 connector
Fuses	neither fuse-links nor fuse-holders	neither fuse-links nor fuse-holders
Location of fuses	-	-
Outputs		
Number of DC outputs (plus and minus = one output)	1	1
Connection DC output cables to	WDU 10 (1.5 - 16 mm ²)	-
Exit DC output cables through	M16 cable gland, IP67, Ø: 5-10 mm	WM4 connector
Switch-disconnector with auxiliary contact	-	-
Connection aux. contact of switch-disconnector to	-	-
Connection aux. contact of surge protector to	-	-
String monitoring		
Monitoring of input current, voltage and temperature	-	-
Type of monitoring	-	-
Power supply	-	-
Norms and standards		
	EN 61439-2, Protection class II	EN 61439-2, Protection class II

Note

Ordering data

Type	Qty.	Order No.	Type	Qty.	Order No.
PV DC 1IN SPD CG 1,000 V	1	7504a11010	PV DC 1IN SPD WM4 1,000 V	1	7504a11001

Note

Caixa AC

PV AC 1IN SW 230/25/30mA SPD CG



190 x 164 x 106 mm
Direct wall mounting with mounting lugs
IP66
230 V AC
25 A AC
RCBO: In=25A, 1P+N, Type A, curve C, I _{Δn} =30mA (EN 61009-1)
RCBO
TN-S, TN-C-S, TT & IT (EN 60364)
PU II 1+1 260 V/40 kA, without auxiliary contact
1 x single phase (L, N, PE)
WDU 10 (1.5 - 16 mm ²)
M20 cable gland, IP67, Ø: 10-14 mm
1 x single phase (L, N, PE)
AC modular device (< 25 mm ²)
M25 cable gland, IP67, Ø: 13-16 mm
EN 61439-2, Protection class II

PV AC 1IN SW 230/32/30mA SPD CG



190 x 164 x 106 mm
Direct wall mounting with mounting lugs
IP66
230 V AC
32 A AC
RCBO: In=32A, 1P+N, Type A, curve C, I _{Δn} =30mA (EN 61009-1)
RCBO
TN-S, TN-C-S, TT & IT (EN 60364)
PU II 1+1 260 V/40 kA, without auxiliary contact
1 x single phase (L, N, PE)
WDU 10 (1.5 - 16 mm ²)
M20 cable gland, IP67, Ø: 10-14 mm
1 x single phase (L, N, PE)
AC modular device (< 25 mm ²)
M25 cable gland, IP67, Ø: 13-16 mm
EN 61439-2, Protection class II

PV AC 1IN SW 230/16/300mA SPD CG



190 x 164 x 106 mm
Direct wall mounting with mounting lugs
IP66
230 V AC
16 A AC
RCBO: In=16A, 1P+N, Type A, curve C, I _{Δn} =300mA (EN 61009-1)
RCBO
TN-S, TN-C-S, TT & IT (EN 60364)
PU II 1+1 260 V/40 kA, without auxiliary contact
1 x single phase (L, N, PE)
WDU 10 (1.5 - 16 mm ²)
M20 cable gland, IP67, Ø: 10-14 mm
1 x single phase (L, N, PE)
AC modular device (< 25 mm ²)
M25 cable gland, IP67, Ø: 13-16 mm
EN 61439-2, Protection class II

Type	Qty.	Order No.
PV AC 1IN SW 230/25/30mA SPD CG	1	7504a12005

Type	Qty.	Order No.
PV AC 1IN SW 230/32/30mA SPD CG	1	7504a12000

Type	Qty.	Order No.
PV AC 1IN SW 230/16/300mA SPD CG	1	7504a12002

Interruptor DC

Ficha técnica
SB432PV

:hager



SB432PV

Interruptor 4P 32A 1000V DC

Características técnicas

Arquitetura

Tipo de comando	Punho de polegar curto
Tipo de caixa	Fixo incorporado
Nº de pólos	4 P

Funções

Função inversor	não
Função interruptor de "paragem de emergência"	não

Comandos e indicadores

Comando motorizado integrado	não
------------------------------	-----

Principais características eléctricas

Frequência de funcionamento	50/60 Hz
Tensão alternada estipulada de utilização	1000 V

Voltagem

Tensão estipulada de isolamento	1000 V
Tensão estipulada de resistência ao choque	8000 V
Tensão estipulada de utilização em DC	1000 V

Corrente eléctrica

Corrente estipulada em AC22 em categoria A	32 A
--	------

Potência

Potência dissipada por pólo	1,7 W
Potência total dissipada em IN	6,9 W

Resistência

Nº de manobras mecânicas	10000
--------------------------	-------

Dimensões

Profundidade produto instalado	72 mm
Altura produto instalado	85 mm

Instalação, montagem

Binário de aperto	2,9Nm
-------------------	-------

Ligação

Secção de ligação em cabo rígido	16 mm ²
Secção de ligação em cabo flexível	10 mm ²
Tipo de ligação	Borne com parafusos

Disjuntor AC

Ficha técnica
NBN320

:hager



NBN320

Disjuntor 3P 20A B 10/15kA 3M

Características técnicas

Arquitectura

Posição do neutro	Sem neutro
Número de polos protegidos	3
Nº de pólos	3 P
Tipo de pólos	3 P
Modo de fixação	Caixa DIN
Curva	B

Compatibilidade

Compatível com montagem sobre perfil DIN	sim
--	-----

Conectividade

Alinhamento dos bornes inferiores para aparelhos modulares	Terminais alinhados
Alinhamento dos bornes superiores para aparelhos modulares	Terminal alinhado

Principais características eléctricas

Tipo de tensão de alimentação	AC
Tensão alternada estipulada de utilização	400 V

Voltagem

Tensão estipulada de isolamento	500 V
Tensão estipulada de resistência ao choque	6000 V

Corrente eléctrica

Pdc limite em c.a. 400V (EN 60947-2)	15 kA
Poder de corte estipulado 230V 50Hz	10 kA
Poder de corte estipulado 400V 50Hz	10 kA
Poder de corte asignado Icn a 240V AC de acordo com IEC 60898-1	10 kA
Poder de corte asignado Icn a 415V AC de acordo com IEC 60898-1	10 kA
Poder de corte de serviço conforme EN60898	7,5 kA
Pdc limite em c.a. 230V (EN 60947-2)	30 kA
Pdc último em c.a. 240V (NF EN 60947-2)	30 kA
Pdc último em c.a. 415V (NF EN 60947-2)	15 kA
Valor nível min./máx de funcionamento magnético em alternada	3/5 In
Valor do nível min./máx. de funcionamento magnético em DC	4/7 In
Valor nível min./máx de funcionamento térmico em alternada	1,13/1,45 In
Valor do nível min./máx. de funcionamento térmico em DC	1,13/1,45 In

ANEXO IX - Valores Mensais da Produção de Energia Fotovoltaica

Energia Total (MWh) - Inclinação: 33° - Orientação: Sul - Irradiância - Céu Limpo - 1 Painel												
H	E _{Jun}	E _{Jul}	E _{Ago}	E _{Sep}	E _{Out}	E _{Nov}	E _{Dez}	E _{Jan}	E _{Fev}	E _{Mar}	E _{Abr}	E _{Mai}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	2,9	19,0	42,7	59,2	64,0	59,2	47,9	33,3	19,4	5,6	0
8	15,2	25,4	52,1	79,2	96,3	100,6	97,3	86,3	68,8	51,4	33,8	19,9
9	41,8	53,5	86,8	114,6	131,4	135,0	133,9	123,8	103,6	83,6	63,1	47,3
10	66,2	78,7	116,7	143,5	159,4	162,6	164,0	154,7	131,9	109,4	86,6	70,6
11	83,1	96,5	137,0	162,1	176,8	180,0	183,7	174,8	149,4	124,5	100,3	85,1
12	89,4	99,2	144,5	167,5	181,3	185,1	190,6	181,6	153,7	126,4	101,9	88,3
13	83,9	83,6	138,0	159,0	172,0	176,8	183,3	173,6	143,6	114,5	91,0	79,6
14	67,5	59,5	118,5	137,7	150,4	156,5	163,2	152,2	120,9	90,9	69,4	60,3
15	43,2	31,2	88,9	106,7	119,1	126,6	132,7	120,3	89,0	59,5	40,8	34,1
16	16,5	5,7	55,4	70,1	82,4	90,9	95,6	82,1	52,7	26,4	11,7	6,8
17	0	0	20,2	34,0	45,5	54,2	57,1	43,6	19,1	2,2	0	0
18	0	0	0	5,7	15,0	22,3	23,3	12,2	0	0	0	0
19	0	0	0	0,1	0	2,3	2,3	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total/Dia	506,7	536,2	977,1	1234,8	1417,8	1492,9	1514,7	1368,4	1071,1	808,4	604,3	492,0
NºDias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Total / Mês (kWh)	15,7	15,0	30,3	37,0	44,0	44,8	47,0	42,4	32,1	25,1	18,1	15,3
Total / Ano (kWh)	366,7											

ANEXO X - Custos dos Equipamentos

Equipamento			Preço (€)
Painel	Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL250P 29b (250Wp) (+Instalação)	Neosolar	212,50
Inversor 3	Sunny Tripower 6000TL-20 6KW SMA	Autosolar	1387,44
Inversor 2	SMA Sunny Boy 2.0kW VL-40	Autosolar	716,40
Inversor 1	SMA Sunny Boy 1.5kW VL-40	Autosolar	592,80
Estrutura 1	Estructura Cubierta Tejas 7 ud KHT915	Autosolar	219,77
Estrutura 2	Estructura Cubierta Tejas 6 ud KHT915	Autosolar	184,55
Cabos	https://www.generalcable.com/eu/pt/products-solutions/renewable-energy/solar-cable	General Cable	31,90
Caixa DC	7504811010	Weidmuller	150
Caixa AC	7504812005	Weidmuller	185
Interruptor DC	SB432PV - Interruptor 4P 32A 1000V DC	Hager	185
Disjuntor AC	NBN 320 - Disjuntor 3P 20A B 10/15kA 3M	Hager	95

Caso de Estudo 1 e 2 (7 Painéis FV em Série) por conjunto				
Equipamento	Descrição e Marca	Preço (€)	Quantidade	Total (€)
Painel + Instalação	Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL250P 29b (250Wp)	212,50	7	1487,50
Inversor	SMA Sunny Boy 2.0kW VL-40	716,40	1	716,40
Estrutura	Estructura Cubierta Tejas 7 ud KHT915	219,77	1	219,77
Cabos	General Cable	31,90	1	31,90
Caixa DC	7504811010	150	1	150
Caixa AC	7504812005	185	1	185
Interruptor DC	SB432PV - Interruptor 4P 32A 1000V DC	185	1	185
Disjuntor AC	NBN 320 - Disjuntor 3P 20A B 10/15kA 3M	95	1	95
Total da Instalação				3070,57

Caso de Estudo 3 (6 Painéis FV em Série) por conjunto				
Equipamento	Descrição e Marca	Preço (€)	Quantidade	Total (€)
Painel + Instalação	Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL250P 29b (250Wp)	212,5	6	1275
Inversor	SMA Sunny Boy 1.5kW VL-40	592,8	1	592,8
Estrutura	Estructura Cubierta Tejas 6 ud KHT915	184,55	1	184,55
Cabos	General Cable	31,9	1	31,9
Caixa DC	7504811010	150	1	150
Caixa AC	7504812005	185	1	185
Interruptor DC	SB432PV - Interruptor 4P 32A 1000V DC	185	1	185
Disjuntor AC	NBN 320 - Disjuntor 3P 20A B 10/15kA 3M	95	1	95
Total da Instalação				2699,25

Caso de Estudo 21P (7 Painéis FV em Série X 3) por conjunto				
Equipamento	Descrição e Marca	Preço (€)	Quantidade	Total (€)
Painel + Instalação	Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL250P 29b (250Wp)	212,5	21	4462,5
Inversor	Sunny Tripower 6000TL-20 6KW SMA	1387,44	1	1387,44
Estrutura	Estructura Cubierta Tejas 7 ud KHT915	659,31	1	659,31
Cabos	General Cable	31,9	3	95,7
Caixa DC	7504811010	150	3	450
Caixa AC	7504812005	185	3	555
Interruptor DC	SB432PV - Interruptor 4P 32A 1000V DC	185	3	555
Disjuntor AC	NBN 320 - Disjuntor 3P 20A B 10/15kA 3M	95	3	285
Total da Instalação				8449,95

Caso de Estudo 22P (6 Painéis FV em Série X 4) por conjunto				
Equipamento	Descrição e Marca	Preço (€)	Quantidade	Total (€)
Painel + Instalação	Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL250P 29b (250Wp)	212,50	22	4675
Inversor	Sunny Tripower 6000TL-20 6KW SMA	1387,44	1	1387,44
Estrutura	Estructura Cubierta Tejas 6 ud KHT915	738,20	1	738,20
Cabos	General Cable	31,90	4	127,60
Caixa DC	7504811010	150	4	600
Caixa AC	7504812005	185	4	740
Interruptor DC	SB432PV - Interruptor 4P 32A 1000V DC	185	4	740
Disjuntor AC	NBN 320 - Disjuntor 3P 20A B 10/15kA 3M	95	4	380
Total da Instalação				9388,24