

## RELATÓRIO DO PROJETO VERÃO COM CIÊNCIA Ci2



ALUNO: JOÃO CRUZ, N.º 23153

ORIENTAÇÃO:

- CARLOS FERREIRA
- MANUEL BARROS

MÊS: setembro



## ÍNDICE

Lista de Símbolos .....	5
Introdução .....	9
Painéis solares fotovoltaicos .....	10
Situação fotovoltaica em Portugal.....	10
Dificuldades relativas ao desenvolvimento fotovoltaico .....	11
Funcionamento dos painéis solares fotovoltaicos.....	11
Painéis solares fotovoltaicos orientáveis .....	13
Melhores horas para produzir energia .....	16
Horas de sol pico (HSP) .....	16
Dimensionamento energético .....	17
Dimensionamento técnico .....	19
Dimensionamento dos cabos e proteções .....	22
Ligações à terra e equipotenciais .....	25
Proteções contra descargas atmosféricas.....	25
Normas e boas práticas na instalação dos painéis fotovoltaicos .....	26
Estudo do local de instalação .....	26
Perspetivas futuras para o setor fotovoltaico .....	29
Implementação do sistema solar fotovoltaico no projeto do DragonFly .....	29
Modelo de engate ferroviário Scharfemberg.....	31
Tecnologia Wireless .....	31
Dimensionamento do projeto .....	33
Estudo económico .....	35
Conclusão .....	36
Referências .....	37



## Lista de Símbolos

$P_{fv}$ : potência do sistema fotovoltaico (W)

$P_{invDC}$ : potência DC do inversor (W)

$H_{sr}$ : nascer do sol

$H_{ss}$ : pôr do sol

$E_{pv}$ : energia que o sistema deverá produzir (J)

$\eta_{bat}$ : eficiência da bateria

$\eta_{reg}$ : eficiência do regulador de carga

$P_p$ : potência de pico (W)

$E_d$ : quantidade de energia que pode ser obtida entre os vários tipos de sistemas fotovoltaicos (J)

$DoD$ : profundidade de descarga

$\eta_{inv}$ : eficiência do inversor

$\eta_{cabos}$ : eficiência dos cabos

$\eta_{sistema}$ : eficiência do sistema

$PSH$ : horas solares de pico (h)

$P_{pv}$ : potência do painel fotovoltaico (W)

$N_s$ : n.º de painéis em série

$N_p$ : n.º de strings em paralelo

$V_{dc}$ : tensão em corrente contínua (V)

$V_{mmp}$ : tensão no ponto de potência máxima do painel a considerar (V)

$P_m$ : potência nominal do painel escolhido (W)

$N$ : n.º total de módulos

$C_m$ : capacidade de armazenamento

$N_{p,bat}/N_{s,bat}$ : n.º de baterias

$C_b$ : capacidade unitária de cada bateria escolhida para o banco de armazenamento

$N_{bat}$ : n.º total de baterias

$I_{in}$ : corrente de entrada (A)

$P$ : potência de perdas (W)

$R$ : resistência dos cabos ( $\Omega$ )

$I_s$ : corrente nominal do gerador (A)

$I_{cabo}$ : corrente que o cabo deve ser capaz de transportar (A)

$I_{cc}^{PV}$ : corrente de curto-circuito do gerador (A)

$I_z$ : corrente máxima admissível (A)

$ScaboDC$ : secção do cabo DC (mm)

$LcaboDC$ : comprimento do cabo DC

$I_n$ : corrente nominal do gerador (A)

$PF$ : fator de perdas (1 ou 2% se se tratar de tensões reduzidas)

$P_{pv}$ : potência nominal do gerador (W)

$P_m$ : potência de perdas (W)

$K$ : condutividade elétrica do condutor

$P_{dc}$ : potência de perdas no cabo DC (W)

$P_{fileira}$ : potência da fileira nas condições de referência (W)

$U_{mpp}$ : tensão para o MPP (V)

$ScaboAC$ : secção respeitante ao cabo AC (mm<sup>2</sup>)

$LcaboAC$ : comprimento do cabo AC (m)

$I_{nAC}$ : corrente nominal AC (A)

$\cos\varphi$ : fator de potência do inversor

$U_{ns}$ : tensão nominal simples (V)

$U_{nc}$ : tensão nominal composta (V)

$P_{ac}$ : potência de perdas no cabo AC (W)

$Y$ : ângulo de azimute ( $^\circ$ )

$\alpha$ : ângulo de elevação ( $^\circ$ )

$b$ : altura do módulo (m)

$d$ : distância entre fileiras (m)

$L$ : altura do módulo fotovoltaico (m)

$\alpha 1$ : ângulo de inclinação dos módulos (°)

$\beta 1$ : ângulo de altura mínima do sol (°)





## Introdução

Este projeto teve como objetivo a análise de base de um sistema de alimentação autónoma para satisfazer os requisitos dos projectos DragonFly Base Station + SmarterCW. No DragonFly teve-se em consideração ainda o acoplamento para transferência de energia para drones aéreos. Esta alimentação autónoma teve como princípio a implementação de uma estrutura flutuante com painéis solares fotovoltaicos responsáveis pela alimentação do DragonFly Base Station e possíveis drones. Os drones ficam alimentados através de carregamento Wireless, já o DragonFly Base Station consegue ser alimentado através de um acoplamento entre a base e o DragonFly. Este acoplamento teve por base o sistema do engate ferroviário Scharfenberg.

## Painéis solares fotovoltaicos

Denomina-se fotovoltaico ao tipo de painel solar usado para produzir energia elétrica em corrente contínua (DC) a partir da luz solar. É essa característica que o distingue de um painel solar térmico, cuja função é transformar energia solar em energia térmica, por exemplo, para aquecimento de água. Em sistemas isolados muitas vezes, por questões de simplicidade, utilizam-se redes diretamente em DC, sem inversor (conversor para corrente alternada).

O principal componente de um painel solar fotovoltaico é o silício. Este é o componente base das células solares: células muito finas, constituídas por silício, que recebem a luz solar, e pistas coletoras da eletricidade. Cada célula produz uma tensão relativamente reduzida, cerca de 0.5V em corrente contínua. As células são ligadas, habitualmente, entre si em conjuntos de 60 ou 72 num módulo solar, com pistas condutoras de alumínio. Esses módulos formam um painel solar [1].

## Situação fotovoltaica em Portugal

Portugal é um dos países da união europeia que mais e melhores recursos solares apresenta, pois é onde estes têm a possibilidade de melhor aproveitamento. O nível médio de insolação em Portugal situa-se entre as 2200 e as 3000 horas, o que é superior comparando com outros países da UE. Por exemplo, a Alemanha tem valores bastante inferiores a Portugal, apenas 1200 a 1700 horas de insolação. Outra vantagem em Portugal, em relação aos restantes países da EU, é que é um dos países que maior índice de radiação solar recebe por unidade de superfície.

Na figura seguinte (1) encontra-se o território português assinalado consoante as horas de insolação anuais, à esquerda, e a energia incidente no plano horizontal, à direita, respetivamente.

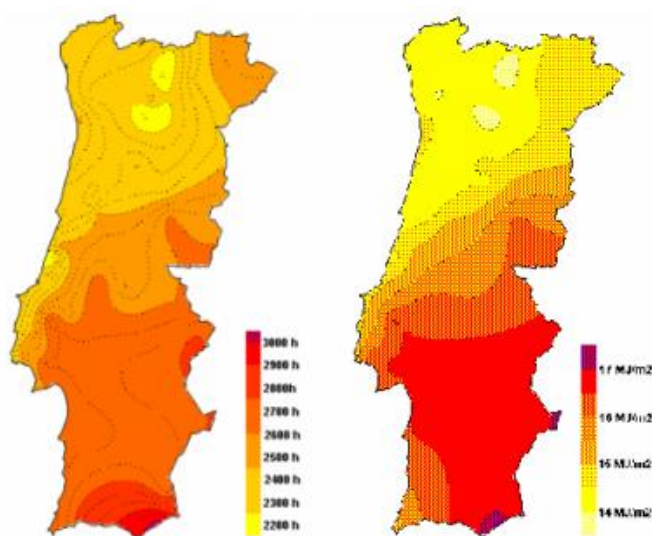


Figura 1- Número de horas de insolação, à esquerda, e a energia incidente no plano horizontal, à direita, respetivamente. [22]

Os benefícios que Portugal pode obter com a exploração de energia fotovoltaica são:

- Ecológicos e ambientais;
- Energéticos;
- Arquiteturais;
- Socioeconómicos.

### Dificuldades relativas ao desenvolvimento fotovoltaico

Tendo em conta o que se passa a nível internacional, consegue-se perceber que o apoio à investigação e desenvolvimento das energias renováveis é muito baixo em Portugal. Verificando dados do Eurostat referentes a 2008, percebe-se que apenas 0.01% do PIB nacional tem como destino o incentivo ao desenvolvimento das energias renováveis.

Importantes aspetos que atrasam o desenvolvimento e aprimoramento da energia solar fotovoltaica e que devem ser corrigidos são:

- Baixa visibilidade pública da energia fotovoltaica;
- Custos elevados;
- Baixa incorporação da indústria nacional;
- Baixa criação de emprego qualificado;
- Baixo efeito multiplicador.

### Funcionamento dos painéis solares fotovoltaicos

- Primeiramente, existe incidência da luz solar nas células solares. Esta luz é formada por fotões, que possuem energia e criam tensão elétrica ao incidir nos painéis. Ao entrarem em "contato" com os painéis, os fotões transferem a sua energia para os eletrões presentes nos átomos de silício forçando a sua deslocação. As propriedades do silício permitem assegurar a circulação da energia.

Dois tipos diferentes de silício na mesma célula obtêm este efeito: de um lado, uma estrutura de silício com eletrões em demasia, do outro, uma estrutura com falta de eletrões. Ao receberem o impulso dos fotões, os eletrões deslocam-se da primeira para a segunda estrutura. As propriedades isolantes do silício mantêm este desequilíbrio constante.

Os painéis solares fotovoltaicos caracterizam-se pela sua potência de pico (kWp, quando recebem a radiação solar perpendicularmente).

A potência de pico de um elemento fotovoltaico é a potência elétrica máxima que ele pode gerar nas seguintes condições de medição:

- Temperatura: 20 graus Celsius;
- Irradiância recebida:  $1000\text{W/m}^2$ ;
- Massa de ar: 1,5.

Massa de ar: Volumes da atmosfera que geralmente possuem as mesmas características de pressão, temperatura e humidade.

Irradiância: é a potência por unidade de área de radiação eletromagnética incidente numa superfície.

A potência máxima garante que a fonte de alimentação possa lidar com os picos de carga e proteger a fonte de alimentação, evitando assim que os picos tenham efeitos nefastos sobre a fonte, que pode estar dimensionada com certos objetivos.

A potência máxima difere de uma fonte para outra e geralmente é especificada nas folhas de dados da fonte de alimentação.

Uma fonte de alimentação de alta tensão poderá fornecer energia suficiente para alimentar todos os componentes e realizar as funções pretendidas da carga ou do circuito. No entanto, uma fonte de alimentação com exatamente 100% da capacidade de carga pode não ser suficiente devido a perdas e outros fatores que podem afetar a carga.

### Componentes do Sistema Fotovoltaico:

- Painéis fotovoltaicos;
- Inversor;
- Baterias;
- Regulador de carga.

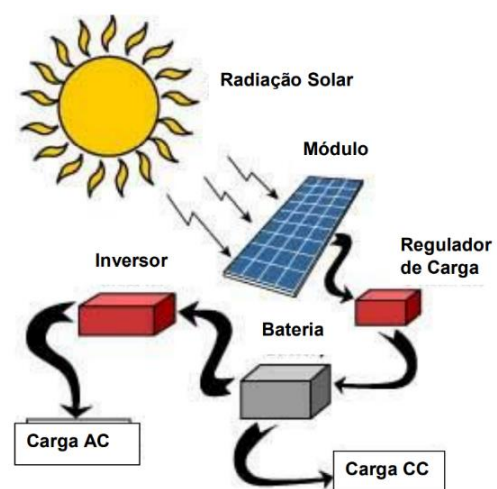


Figura 2 – Conjunto típico de um sistema fotovoltaico isolado da rede.

Na figura 2 encontra-se representado um conjunto típico de um sistema fotovoltaico isolado da rede com cargas AC e DC.

Descrição de cada componente:

- Regulador de carga: O regulador de carga funciona como elo de ligação entre os módulos fotovoltaicos, o banco de baterias e a carga de consumo. Este controla o armazenamento de energia das baterias, evitando a sua sobrecarga, através da análise da tensão.
- Baterias: Para caraterizar uma bateria, é necessário ter em conta alguns fatores, entre eles a sua tensão, densidade e energia específica, rendimento energético, capacidade, auto descarga, ciclos de vida e profundidade de descarga.
- Inversor: Utilizados para realizar a ligação entre o gerador fotovoltaico e a carga AC dos equipamentos ou a rede. Têm o objetivo de converter o sinal elétrico DC proveniente do gerador fotovoltaico num sinal AC, sendo que, ajusta o sinal para a frequência e nível de tensão adequados.

Nota: A bateria pode não existir, no caso em que o sistema esteja ligado à rede.

O intervalo definido para dimensionar a potência de um inversor é tipicamente o definido pela equação 1:

$$0.7 * P_{fv} < P_{invDC} < 1.2 * P_{fv}. \quad [1]$$

A tensão do sistema, ou seja, do inversor, a tensão máxima possível para a saída, corresponde ao somatório dos níveis de tensão de todos os painéis que estejam ligados em série.

### Painéis solares fotovoltaicos orientáveis

Designados por V3Solar, produzidos numa empresa sediada na Califórnia responsável pelo desenvolvimento e produção de painéis solares giratórios, funcionam de forma inteligente. Este tipo de painéis pode combinar células fotovoltaicas com lentes e rotação mecânica por forma a captar o máximo de energia solar.

Unidades e grandezas relativas aos painéis solares fotovoltaicos:

- KiloWatt (kW) – 1kW equivale a 1000W.
- kilowatt-hora (kWh) – A unidade kWh está relacionada com a energia que é produzida pelo sistema solar.

Por exemplo, relativamente ao consumo, uma lâmpada de 25W ligada durante 4 horas por dia terá um consumo de 100Wh ( $25W \times 4h = 100Wh$ ). A unidade de medida kWh é aquela em que se apresenta, por exemplo, o consumo mensal de energia elétrica numa habitação. Para saber quanto a lâmpada em questão consumirá durante um mês, multiplica-se o valor diário de 100Wh  $\times 30$  dias = 3000Wh, ou sejam 3kWh.

- Quilowatt-pico (kWp) – Foi anteriormente referido que as unidades habitualmente utilizadas nos sistemas elétricos são o kW (potência) e kWh (energia). Esta unidade (Wp) é comumente utilizada para indicar a potência de pico (peak) dos painéis fotovoltaicos. Cada painel solar possui uma potência nominal, que irá variar conforme as condições a que os painéis solares foram submetidos, sendo fácil de entender que um painel solar fornece diferentes quantidades de energia ao longo do dia e obviamente do estado do tempo: num dia de sol, esta será máxima perto do meio-dia, e mínima no início da manhã e final da tarde. Assim, por uma questão de normalização, que permite a classificação e comparação entre equipamentos, são definidas potências de pico, em condições de teste.
- Produção específica (kWh/kWp.ano) – A produção específica é a quantidade de energia produzida por cada kWp de potência dos painéis solares ao longo de um ano. Em Portugal os valores típicos podem variar de 1200kWh/kWp.ano a mais de 1800 kWh/kWp.ano, sendo o seu valor, função de vários fatores, nomeadamente: localização, dados meteorológicos, orientação dos painéis e seleção do tipo de painel [3].

De modo que seja feita a máxima captação de radiação incidente, o ângulo de inclinação de um sistema de energia solar é um dos parâmetros importantes a ter em consideração. Este ângulo depende da variação anual, mensal e diária da posição relativa sol-terra.

Com o objetivo de determinar qual o melhor ângulo de inclinação, que corresponde ao ângulo em que o sol ao meio-dia solar incide perpendicularmente no plano dos módulos – foi feito um estudo matemático/geométrico simples, com os seguintes passos:

- Escolha do local de estudo. O local escolhido foi Lisboa, com a latitude correspondente de 38.57°;
- Cálculo da declinação solar, de todos os dias de um ano;

- Cálculo do ângulo de altitude solar,  $\alpha$ , para cada dia do ano (equação 2) [3]:

$$\sin \alpha = \sin L \sin \delta s + \cos L \cos \delta s \cos h s \quad [2]$$

em que  $hs=0$ , uma vez que os cálculos foram realizados para o meio-dia solar, porque a produção é máxima quando o sol está ao meio-dia solar;

Para calcular a declinação, usa-se a equação 3 [3].

$$\delta s(^{\circ}) = 23.45^{\circ} \sin \left[ \frac{360 * (284 + n)}{365} \right] \quad [3]$$

onde  $n$  corresponde ao dia do ano, começando em  $n=1$  e acabando em 365.

- Determinação do ângulo de inclinação ótimo para cada dia.

De modo a perceber e visualizar melhor o efeito da inclinação na produção de energia, pode-se observar na figura 3 um exemplo da produção de um painel antes e depois do ajuste da inclinação do painel para o valor mais favorável.

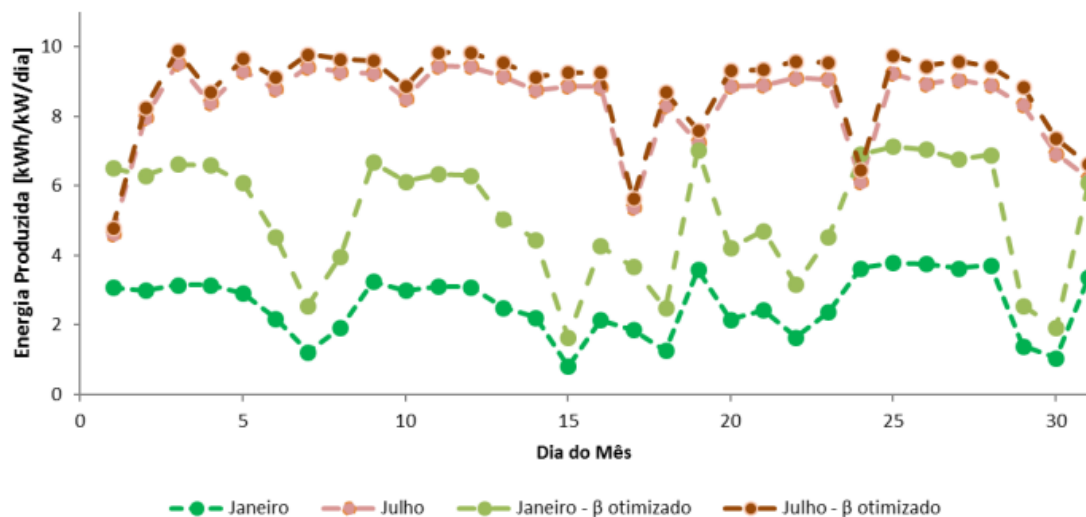


Figura 3- Energia produzida por dia em função do mês e da inclinação dos painéis.



## Melhores horas para produzir energia

A produção de energia é maior durante as alturas do dia em que há mais luz solar (12h – 16h) e nos meses do ano em que o céu está maioritariamente descoberto.

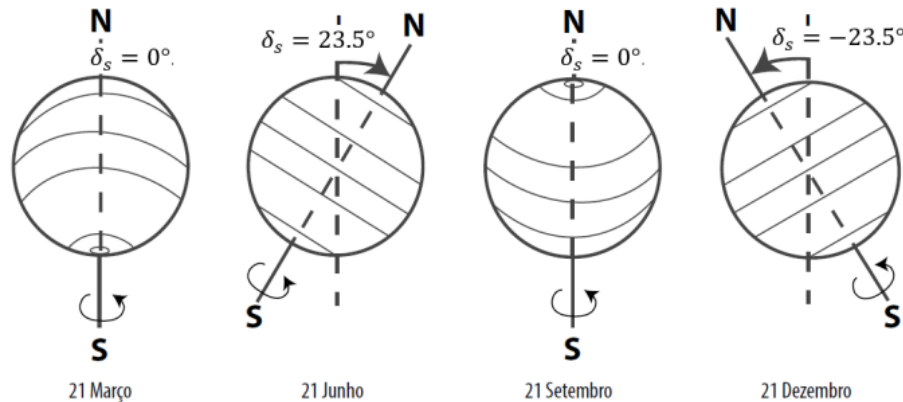


Figura 4 – Variação da declinação solar ao longo do ano. [3]

A declinação solar ao longo do ano corresponde, assim, ao valor associado à latitude, a qual a radiação solar incide diretamente segundo um eixo vertical (figura 3) ao meio-dia solar para um certo dia.

O ângulo zénite solar (figura 5),  $z$ , é o ângulo entre o plano vertical e a linha do sol e pode ser calculado de acordo com a equação 4:

$$z(^{\circ}) = 90^{\circ} - \alpha \quad [4]$$

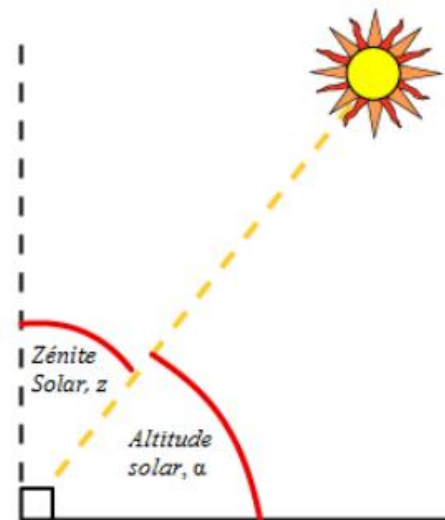


Figura 5 - Representação do Zénite Solar e Altitude Solar. [3]

Para um dado dia do ano e um dado local, pode-se calcular as horas solares e os correspondentes ângulos horários solares, do nascer do sol,  $h_{sr}$ , e do pôr do sol,  $h_{ss}$ .

## Horas de sol pico (HSP)

As horas de sol pico estão compreendidas entre duas a três horas, antes e depois do meio-dia solar.



Nota: Deve-se ter em conta que as nuvens influenciam a irradiância direta, fazendo com que mesmo ao meio-dia solar, se possa captar menos energia, que num início da manhã ou final da tarde sem nuvens.

## Dimensionamento energético

De modo a quantificar a quantidade de energia (em kWh) que se deverá produzir/acumular no sistema em causa, torna-se interessante fazer o seu dimensionamento energético.

Conhecendo a carga consumida pelo Dragonfly é possível calcular essencialmente, os seguintes pontos, para cada um dos intervalos estudados, no caso de um sistema autossuficiente:

- Determinar qual o consumo a alimentar;
- Quanta energia deverá produzir o sistema PV por dia, de forma a colmatar o consumo;
- Potência de pico a instalar;
- Dimensionamento energético do banco de baterias.

Na figura 6 consegue-se observar de forma esquematizada dos intervenientes no dimensionamento energético.

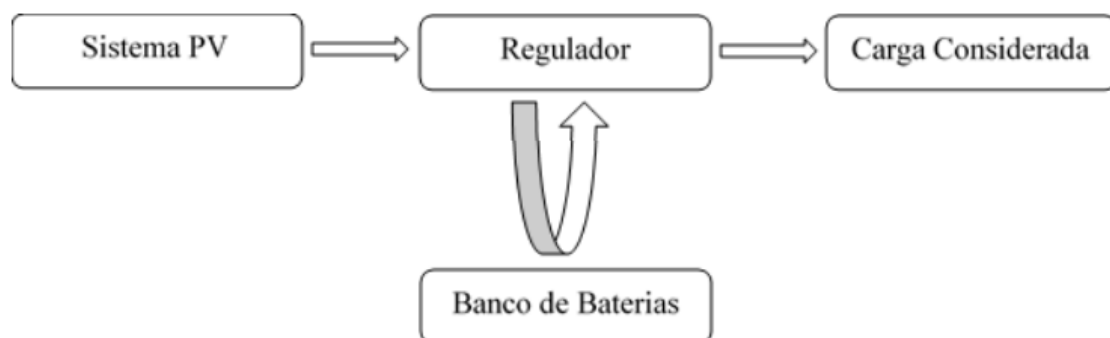


Figura 6- Componentes do sistema energético [3]

Para calcular a energia que o sistema deverá produzir, há que ter em conta a eficiência da bateria e a eficiência do regulador de carga. Assim (equação 5):

$$E_{pv}[kWh] = \frac{\text{Consumo a considerar}}{\eta_{bat} * \eta_{reg}} \quad [5]$$

em que o consumo semanal a considerar é calculado da seguinte forma (equação 6):

$$\text{Consumo a considerar [kWh]} = \text{Carga Diária} * 7 \quad [6]$$

De modo a calcular a potência de pico do sistema PV, é necessário, antes de mais, saber qual a produção de energia em kWh associada a um sistema com uma potência de pico de 1kW para um dia típico de cada mês.

Para tal, recorre-se à ferramenta PVGIS introduzindo a localização, orientação e inclinação do local de escolha de instalação de painéis e introduzindo a potência a instalar (1kW).

Nota: A PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) é um *software* que fornece informações sobre radiação solar e desempenho do sistema fotovoltaico para qualquer local na Europa e África, bem como em grande parte da Ásia e América. Pode-se usar o PVGIS para calcular quanta energia pode ser obtida entre os vários tipos de sistemas fotovoltaicos (tabela 1).

*Tabela 1- Produção de eletricidade para um sistema de 1kW.*

<b>Mês</b>	<b>Ed[kWh/kW/dia]</b>
janeiro	2.43
fevereiro	3.37
março	4.17
abril	4.45
maio	4.96
junho	5.36
julho	5.55
agosto	5.18
setembro	4.44
outubro	3.59
novembro	2.77
dezembro	2.22
<b>Média Anual</b>	<b>4.04</b>

Com os dados da tabela anterior, torna-se possível o cálculo (equação 7) da potência de pico a instalar para cada caso da energia requerida dimensionado:

$$Pp[kW] = \frac{\text{Produção Diária PV}}{Ed} \quad [7]$$

É ainda possível determinar (equação 8) qual a energia que o banco de baterias deverá armazenar. Para tal, há que ter em conta, para além das eficiências, a profundidade de descarga da bateria. Assim:

$$\text{Energia banco de baterias [kWh]} = \frac{\text{Consumo a considerar}}{DoD} \quad [8]$$

Profundidade de descarga: Fração ou percentagem de carga retirada da bateria numa determinada descarga. A profundidade de descarga é expressa em Ampère-hora, caso seja em fração. Em percentagem esta grandeza não tem unidades.

## Dimensionamento técnico

A energia produzida pelos módulos PV é encaminhada para um regulador de carga (existindo apenas este bloco a ligar aos painéis, este terá também de executar o MPPT (Maximum Power Point Tracking), ou seja, fazer com que procure manter um ponto ótimo de corrente absorvida que maximiza a potência entregue pelo painel), de forma a garantir que não existam sobrecargas ou descargas profundas no sistema. Esta energia é, então, retida em baterias. A corrente gerada pelos módulos é contínua (DC) e tanto o regulador como as baterias funcionam com este tipo de corrente. A colocação de um inversor adequado permite o consumo da energia produzida pelo sistema PV, uma vez que este satisfaz a conversão de corrente DC para corrente alternada (AC).

### Cálculo da potência a instalar:

O sistema proposto a instalar terá de satisfazer a carga a considerar. Para além disso, a potência necessária de painéis solares a instalar depende da eficiência total do sistema a considerar.

$$\eta_{\text{sistema}}[\%] = \eta_{\text{cabos}} * \eta_{\text{reg}} * \eta_{\text{bat}} * \eta_{\text{inv}} \quad [9]$$

Assim, pode-se calcular a potência dos painéis solares (equação 10):

$$P_{pv}[kWh] = \frac{Carga}{\eta \text{ sistema}} \quad [10]$$

De seguida, é realizado o cálculo da potência de pico (equação 11), importante para o dimensionamento da matriz fotovoltaica. Este é o valor mínimo a instalar de painéis fotovoltaicos.

$$P_p[kW] = \frac{P_{pv}}{PSH} \quad [11]$$

A designação PSH refere-se a horas solares equivalentes de pico e corresponde ao número de horas existentes equivalente em que a radiação solar é constante e com o valor  $1kW \text{ m}^{-2}$  num determinado local.

#### Módulos fotovoltaicos a utilizar:

No presente caso, é necessário escolher a tensão em corrente contínua com a qual o sistema vai operar. De forma geral, é recomendado que a tensão de funcionamento do sistema aumente com o aumento de carga diária consumida. Para cargas pequenas (até 1kWh diários) podem utilizar-se tensões reduzidas, como por exemplo, 12V como valor de  $V_{DC}$ . Para cargas intermédias, de alguns kWh por dia, recomenda-se ir aumentando para 24V ou mesmo 48V de modo a diminuir as perdas nos cabos.

Primeiramente, calcula-se o número de painéis em série (equação 12), necessários para obter a tensão desejada, designando-se esta série de *string*, de seguida, é calculado o número de strings que ficam em paralelo (equação 13), para se obter a potência necessária.

$$N_s = \frac{V_{dc}}{V_{mmp}} \quad [12]$$

$$Np = \frac{Pp}{Pm * Ns} \quad [13]$$

Desta forma, o número total de módulos é dado por (equação 14):

$$N = Ns * Np \quad [14]$$

Banco de baterias e respetiva capacidade:

O banco de baterias deverá ter uma determinada capacidade de armazenamento (equação 15), em A.h, que depende do número de dias de autonomia pretendido,  $n$ . Para além disso, há que considerar a energia que é perdida através dos cabos e a profundidade de descarga das baterias.

$$Cm[Ah] = \frac{n * \left( \frac{Carga Diária Total * \eta_{cabos}}{Vdc} \right)}{DoD} \quad [15]$$

O passo seguinte consiste no cálculo do número de baterias. Para tal, no caso de a capacidade do sistema ser maior que a capacidade da bateria fornecida pelo fabricante, é feita a determinação de qual o número de baterias a colocar em paralelo através da equação 16:

$$Np, bat = \frac{Cm}{Cb} \quad [16]$$

Na equação 16,  $Cb$  diz respeito à capacidade de cada bateria para o banco de armazenamento, de acordo com a escolha.

Se a tensão do sistema for maior que a tensão da bateria selecionada, então o número de baterias a colocar em série vai ser igual ao valor resultante da seguinte equação:

$$Ns, bat = \frac{Vdc}{Vmmp} \quad [17]$$

Por fim, pode calcular-se o número total de baterias (equação 18).

$$N_{bat} = N_{s,bat} * N_{p,bat} \quad [18]$$

#### Escolha do controlador de carga:

O controlador de carga o objetivo de gerir a carga/descarga das baterias. A corrente de entrada do equipamento é um elemento crucial para o seu desempenho.

$$I_{reg} > I_{in} \quad [19]$$

Sendo que a corrente a considerar é calculada por (equação 20):

$$I_{in}[A] = \frac{P_p}{V_{dc}} \quad [20]$$

#### Escolha do inversor de rede:

A escolha do inversor pretendido pode ser obtida através de vários softwares, de marcas que desenvolveram ferramentas com esta intenção, ex.: Sunny Design 3, Homer Pro, PV F-Chart, etc.

### Dimensionamento dos cabos e proteções

O dimensionamento dos cabos e proteções, é um importante ponto a ter em conta. Para o correto dimensionamento é importante que sejam respeitados os limites fixados pela tensão nominal e pela intensidade de corrente.

Para a escolha dos cabos, é necessário que a mesma seja ajustada às grandezas elétricas, mecânicas e térmicas a que vão estar sujeitos. A nível de grandezas elétricas, as tensões não ultrapassam a tensão nominal correspondente aos cabos *standard*, que se situam entre os 300 e os 1000V, no entanto, a secção transversal dos cabos terá igualmente de respeitar as intensidades de corrente máximas de serviço que por ele atravessam. Pelo facto destas correntes dependerem de temperatura, do agrupamento de condutores e pelo encaminhamento que lhes é

dado, essa corrente terá de se corrigir para cada um dos fatores considerados, para que depois se possa calcular os valores reais das correntes admissíveis da instalação.

#### Redução de perdas no cabo:

É desejável que se tenha em linha de conta as perdas, para que o limite desejável não seja ultrapassado, e pela norma alemã VDE 100 Parte 712 (1998). Esta normal, tem como base, a limitação da queda de tensão máxima admissível nas linhas a 1% da tensão nominal do sistema solar fotovoltaico, para as condições de referência.

Assim sendo, o inversor deve ser instalado o mais próximo possível do gerador fotovoltaico, de forma a reduzir ao máximo as perdas resistivas. O limite estipulado por essa norma é normalmente garantido, para instalações com uma tensão nominal superior a 120V. Se esta tensão for inferior aos 120V, torna-se mais complexo conseguir essa percentagem de perdas.

O nível de perdas, por efeito joule nos cabos DC, está relacionado com a corrente produzida pelo painel fotovoltaico, logo, espera-se que haja um maior nível de perdas quanto maior for a intensidade da radiação absorvida pelo gerador. Pode-se obter as perdas no sistema fotovoltaico através da equação 21:

$$P = R * I_s^2 \quad [21]$$

#### Dimensionamento dos cabos:

Para realizar o dimensionamento dos cabos de uma instalação fotovoltaica, é importante saber que existem 3 tipos de cabos diferentes:

- Cabos de fileira;
- Cabo principal DC;
- Cabo AC.

Cabos de fileira: realizam a ligação elétrica entre os painéis fotovoltaicos e a caixa de junção.

Estes cabos devem ser dimensionados (equação 22), com vista a transportarem uma intensidade de corrente de 25% superior à intensidade de corrente de curto-circuito do gerador.

$$I_{cabo} = 1.25 * I_{cc}^{PV} \quad [22]$$

Nota: Neste dimensionamento ter em conta a Norma Europeia IEC 60364-7-712.

A corrente que o cabo irá transportar, nunca poderá exceder a corrente máxima admissível, logo:

$$I_{cabo} \leq I_z \quad [23]$$

De seguida, pode-se observar a fórmula responsável pelo cálculo da secção (equação 24):

$$ScaboDC = \frac{2 * LcaboDC * In^2}{(PF * Ppv - Pm) * k} \quad [24]$$

Nota:

1. É necessário que o valor da secção determinada seja aproximado ao valor mais próximo da secção normalizada.
2. O fator de perdas, caso se trate de tensões reduzidas, pode ser de 1 ou 2%.

Seguidamente ao cálculo da secção do condutor principal DC (equações 25 e 26), é possível calcular as respetivas perdas DC provocadas no cabo, dadas pelas seguintes fórmulas:

$$Pdc = \frac{2 * LcaboDC * In^2}{ScaboDC * K} \quad [25]$$

$$Pdc = \frac{2 * LcaboDC * Pfileira^2}{ScaboDC * Umpp^2 * K} \quad [26]$$

O cabo AC é o responsável por estabelecer a ligação entre a saída do inversor e a rede elétrica principal. No cálculo desta secção transversal, assume-se uma queda de tensão de 3% relativamente à tensão nominal da rede. A secção deste cabo



pode ser obtida através das seguintes equações (instalação monofásica, equação 27 e trifásica, equação 28, respetivamente):

$$ScaboAC = \frac{2 * LcaboAC * InAC * cos\varphi}{0.03 * Uns * K} \quad [27]$$

$$ScaboAC = \frac{\sqrt{3} * LcaboAC * InAC * cos\varphi}{0.03 * Unc * K} \quad [28]$$

Depois de calcular a secção do cabo AC, pode-se calcular as perdas resultantes neste cabo, através das equações 29 e 30, para uma instalação monofásica e trifásica, respetivamente:

$$Pac = \frac{2 * LcaboAC * InAC^2 * cos\varphi}{ScaboAC * K} \quad [29]$$

$$Pac = \frac{\sqrt{3} * LcaboAC * InAC^2 * cos\varphi}{ScaboAC * K} \quad [30]$$

## Ligações à terra e equipotenciais

É imprescindível, que em qualquer instalação elétrica haja ligações das massas à terra de proteção, para que se possa evitar que a corrente estabelecida, em caso de toque acidental, passe através do corpo. Sendo assim, todas as partes da instalação suscetíveis de conduzirem a corrente elétrica devem ser ligadas ao condutor de proteção ou de terra e percorrer o caminho mais curto possível até ao eletrodo de terra. Estes condutores devem ser separados dos outros, para que não ocorram descargas laterais e de indução.

## Proteções contra descargas atmosféricas

É importante que haja nas instalações fotovoltaicas a proteção contra descargas atmosféricas de modo a evitar situações anómalas na própria instalação. É

recomendado o dimensionamento de um sistema de proteção contra possíveis descargas atmosféricas. Se o local não tiver proteção e estiver exposto a este tipo de perigos de ordem ambiental, deverá ser implementado um sistema próprio para proteção da instalação. É também recomendável que o sistema fotovoltaico seja localizado a uma certa distância mínima dos para-raios e sistemas de descarga, de modo a evitar anomalias na instalação fotovoltaica, bem como na sua envolvente.

## Normas e boas práticas na instalação dos painéis fotovoltaicos

Existem normas e boas práticas, nomeadamente:

- Cumprir os procedimentos de segurança;
- Colocar o inversor o mais próximo possível da instalação, onde se encontre à temperatura ambiente e onde possa dissipar o calor do equipamento; Colocando o inversor o mais próximo da instalação facilita a manutenção;
- Ter em atenção a boa colocação dos cabos afetos à instalação;
- Utilização de equipamentos para a proteção individual adequados e que obedeçam ao Regulamento de Segurança no Trabalho da Construção Civil.

## Estudo do local de instalação

É de grande importância realizar um estudo para avaliar o(s) local(ais) de instalação dos painéis e do resto da estrutura. É através deste estudo ou avaliação que se escolhe o local ideal, para que de seguida, se dê início à sua instalação. Existem condições que são avaliadas/analísadas nesse estudo, como as necessárias para a fixação dos painéis, a localização dos respetivos inversores e baterias, bem como a análise do traçado da rede de cablagem constituinte do sistema fotovoltaico.

Para tirar o máximo rendimento do sistema solar fotovoltaico, é necessário ter em conta alguns parâmetros, como o risco de sombreamento, devido à existência de edifícios e florestas na envolvente do local destinado à instalação, inclinação e orientação a dar aos painéis fotovoltaicos e o tipo de montagem que melhor se adapte às características do local.

Análise de sombreamentos: O contorno da sombra provocada pelo meio envolvente pode ser realizado de várias formas como:

- Analisador de sombras;
- Mapa de trajetória solar numa transparência;

- Plano do local e mapa de trajetória solar.

Para o plano do local e mapa de trajetória solar, é obtida a distância, as dimensões da projeção da sombra provocada pelos objetos e de seguida o cálculo dos ângulos de azimuth e elevação, tal como o representado na figura 7 (e segundo a sua simbologia).

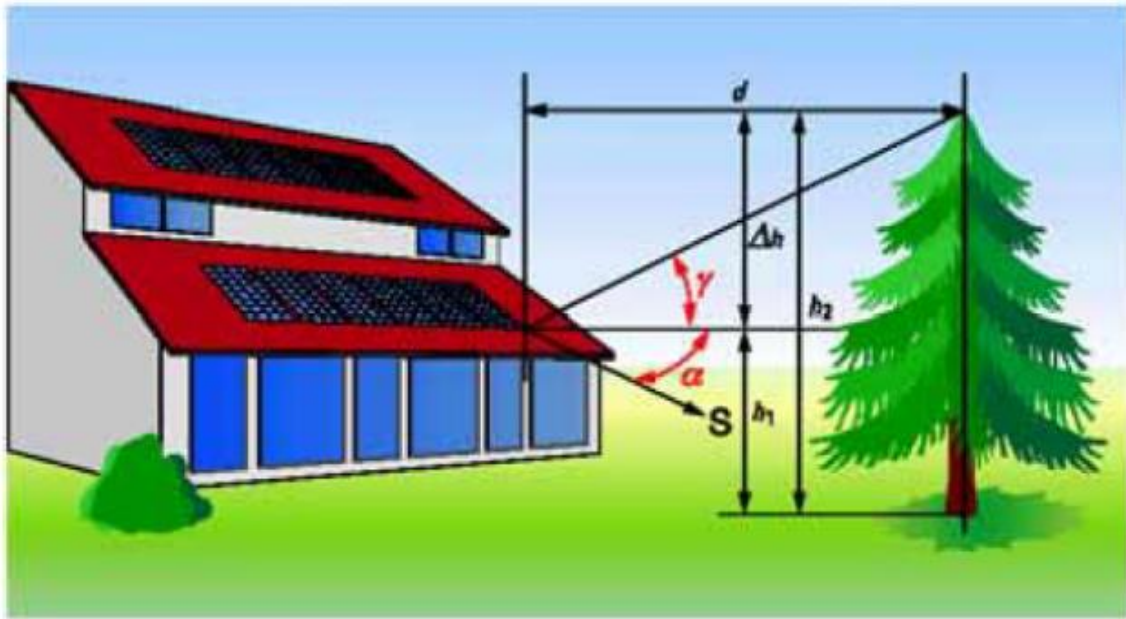


Figura 7 - Plano do local e mapa de trajetória solar.

Os ângulos em causa podem ser calculados através das fórmulas da trigonometria. Tendo em conta a figura, podem usar-se as seguintes equações (31 e 32):

$$tg(\gamma) = \frac{h2 - h1}{d} \quad [31]$$

$$\gamma = arctg\left(\frac{h2 - h1}{d}\right) = arctg\left(\frac{\Delta h}{d}\right). \quad [32]$$

Para realizar a análise de sombreamentos, pode-se usar um software com essa função, fazendo a análise através de um fator de transmissão, que varia com o tipo de árvore e com a estação do ano considerada. Assim sendo, para árvores de folha

caduca tem-se um fator  $t=0.60$  para o inverno e  $t=0.30$  para o verão. Para árvores coníferas (maior parte das árvores e arbustos), o fator considerado é  $t=0.23$ .

Outro problema no sombreamento, é o próprio sombreamento, ou auto sombreamento, onde um dos painéis faz sombra a outro, como pode ser observado na figura 8.

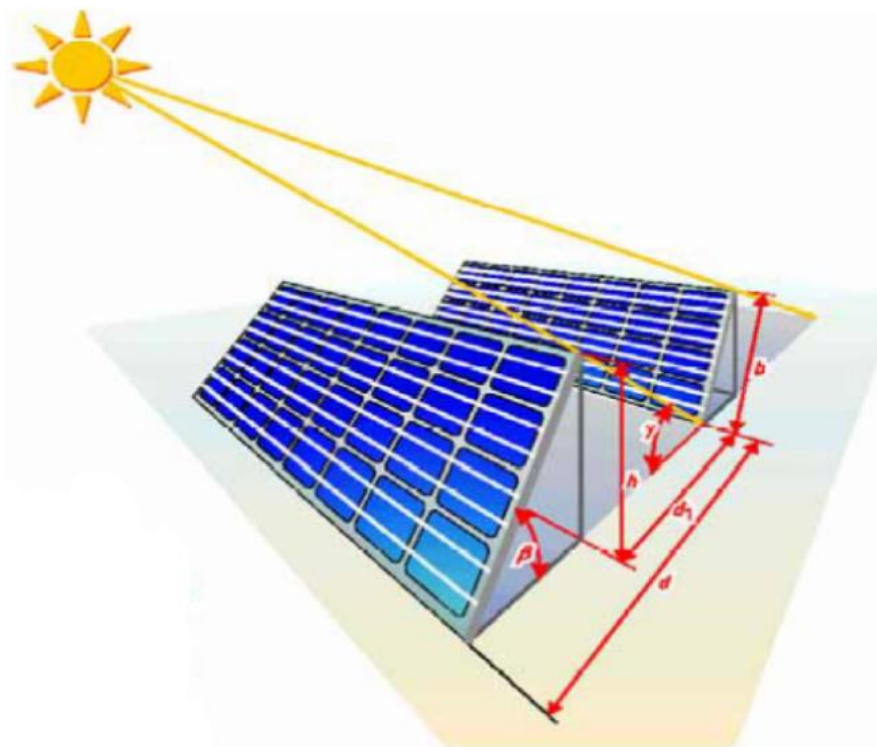


Figura 8 - Autosombreamento.

O fator de utilização pode ser matematicamente definido através da equação 33:

$$F = \frac{b}{d}. \quad [33]$$

O valor da inclinação a dar aos painéis e a distância que deve ser dada entre eles depende do rendimento ótimo possível para o sistema fotovoltaico. Estes podem ser calculados através da equação 34:

$$d = L * \left( \cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\tan \beta} \right)^2. \quad [34]$$

Outra solução para calcular distâncias relativas aos painéis são:

$d = 3.5 \cdot h$ , se o objetivo for minimizar as perdas do sistema;

$d = 2.5 \cdot b$ , se o objetivo primordial for otimizar a área.

## Perspetivas futuras para o setor fotovoltaico

A aposta nas energias renováveis promove o crescimento económico, o aumento do n.º dos postos de trabalho e diminui a fatura de importação energética. Para conseguir diminuir a dependência energética do país face às importações, que atualmente representam 20% do consumo total, e ir desativando as centrais mais poluentes, é importante assegurar a produção de energia elétrica através do aumento do nível da indústria de fabrico de células e módulos fotovoltaicos.

Também a correta formação de pessoal técnico e divulgação de informação serão importantes vetores com vista a revolucionar e impulsionar o setor fotovoltaico em Portugal.



Figura 9 - Esquema vetores importantes na implementação de sistemas fotovoltaicos.

## Implementação do sistema solar fotovoltaico no projeto do DragonFly

Um dos objetivos do presente projeto é fazer com que o DragonFly possa ser recarregado autonomamente, ou seja, quando começar a necessitar de alimentação terá que se deslocar a um dos "postos" de carregamento. Estes postos são estruturas flutuantes constituídas por painéis solares fotovoltaicos que armazenam energia ao longo do dia, para que possa realimentar o DragonFly quando este tiver necessidade. A energia armazenada ao longo do dia, é transferida para o DragonFly através do contato/engate entre a estrutura e o próprio DragonFly. A junção entre a

estrutura e o DragonFly teve por base/exemplo, o tipo de engate Scharfemberg<sup>1</sup> (figura 10), visto que, mesmo se tratando de uma barragem, existe sempre alguma ondulação, o que iria provocar deslocamentos do barco e paragens no carregamento. Quanto à possibilidade de haver alimentação de drones, a mesma é realizada através de Wireless. Esta tecnologia de carregamento será implementada numa base, onde, sempre que necessário, podem aterrar drones para o seu respetivo carregamento. Este carregamento é realizado como, atualmente alguns carregamentos de telemóvel, ou seja, apenas pousar o telemóvel em cima da estrutura de carregamento wireless (figura 12). O mesmo se passa com o carregamento de drones. A transferência da energia entre a estrutura e o drone em causa, é feita através dos apoios do drone (figura 13).



*Figura 11 - Engate de Scharfemberg.*



*Figura 12 - Carregamento de telemóvel via wireless.*

---

<sup>1</sup> Engate Scharfemberg – engate ferroviário responsável pelo acoplamento de automotoras. Não só é responsável pelo seu acoplamento, como também a possibilidade da “partilha” das tarefas de uma e de outra, ou seja, o que uma faz, faz a outra (iluminação, velocidade, freio, etc.).





Figura 13 - Apoios circundados a vermelho a título de exemplo.

### Modelo de engate ferroviário Scharfemberg

Este modelo foi inventado e desenhado pelo alemão Karl Scharfemberg. Este tipo de acoplamento é um dos mais simples dos existentes atualmente, basta um simples toque dos engates para ficarem acoplados. Outra vantagem é que este tipo de engate faz conexões elétricas e pneumáticas, dispensando as conexões extras de cabos. O seu desacoplamento é igualmente simples, apenas basta puxar o cabo que se encontra num dos engates. Em Portugal este modelo de engate é implementado em todo o tipo de automotoras elétricas (ex. figura 11) [8].

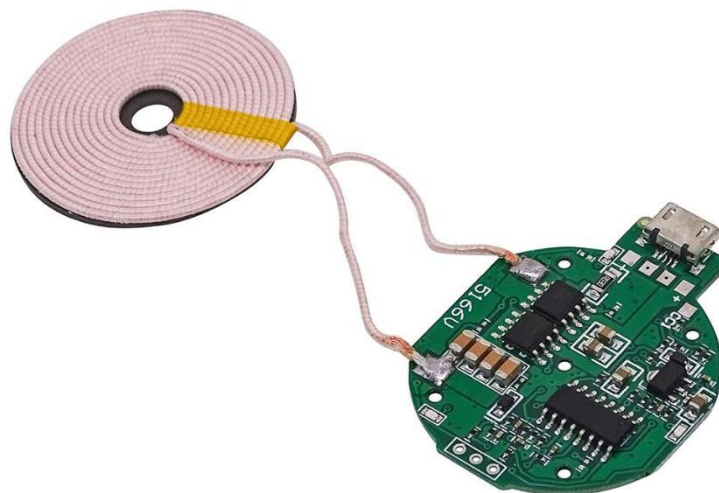
### Tecnologia Wireless

O inventor austríaco Nikola Tesla criou as primeiras teorias de transmissão de energia sem a utilização de fios durante a transição do século XIX para o XX. No entanto, estas teorias ficaram restritas apenas a protótipos e casos de pesquisas académicas durante bastante tempo. Com o passar do tempo, as transmissões de música através de rádio, televisão e internet tornaram-se mais comuns e acessíveis, pois funcionam através da propagação de ondas para que haja o transporte de dados. Com estas inovações, veio também a tecnologia wireless, que consegue

carregar dispositivos como telemóveis, em que a base do seu funcionamento é a indução eletromagnética.

A tecnologia Qi foi adotada por diversas empresas como Apple, Samsung, Xiaomi, Motorola, Asus, Google, Huawei, LG, Nokia e Sony. Esta tecnologia permite que se deposite o telemóvel sobre uma base, que está ligada à tomada, e será carregado por meio de indução eletromagnética.

Funcionamento: A transferência de energia é feita através do fenómeno físico conhecido como indução, onde a corrente alternada da tomada é transformada num campo magnético variável. Quanto mais próximo for o distanciamento entre os dois indutores, maior é a transferência de energia, pois esta última varia com o quadrado da distância que os separa. Como estes dispositivos criam um campo eletromagnético, precisam de ficar bem alinhados para que consigam tirar melhor proveito. Este é um dos motivos que leva à utilização de imanes para forçar este alinhamento. O carregamento por indução usa bobinas, resultando num uso eficiente de energia.



*Figura 14 - Interior da placa de carregamento wireless.*

Enquanto o funcionamento interno é complexo, o conceito básico é bastante simples. É necessário haver duas bobinas de indução. Quando o dispositivo é compatível e é colocado na base de carregamento, as bobinas podem agir temporariamente como transformador. Quando um campo eletromagnético é gerado pela estação de carregamento, cria uma corrente elétrica na bobina localizada no dispositivo. Essa corrente flui para a bateria do dispositivo onde é armazenada para uso futuro do aparelho que foi carregado [7 e 9].



## Dimensionamento do projeto

Os cálculos realizados para a implementação deste projeto tiveram por base o consumo dos “veículos” de leitura de qualidade de água (DragonFly, submarino e drones), potências, intensidades de corrente, tensões, etc.



Figura 315 - DragonFly Base Station.



Figura 416 – Drone.



Figura 17 – Submarino.

- Submarino:

Velocidade máxima: 1 m/s

Duração da bateria: 3 h

Bateria: 18 Ah – 14.8V – 266Wh



Figura 18 - Bateria para o DragonFly.

Assumindo que o cada um dos veículos realiza 3 viagens por dia utilizando [35]  
a sua autonomia máxima, em que cada uma pode ter uma duração de 3  
horas, e que os carregamentos deste aparelho demoram 2 horas, percebe-  
se que por dia, o submarino funciona  $15h.(3h + 2h) * 3 = \frac{15h}{dia}$ .

A energia da bateria para 3 viagens será:

$$266Wh * 3 = 798Wh. \quad [36]$$

- Drone:

Bateria: 5Ah – 11.1V – 55.5Wh



Figura 19- Bateria para o drone.

Energia da bateria para 3 viagens:

$$55.5Wh * 3 dias = 166.5Wh \quad [37]$$

Com a potência dos dois aparelhos para 3 viagens obtêm-se a potência total da seguinte forma:

$$Total = 798Wh + 166.5Wh = 964.5Wh \quad [38]$$

Ou seja, aproximadamente 1kWh.

- Painéis fotovoltaicos:

Considerando  $1\text{kW}/\text{m}^2$  de energia incidente e 20% de rendimento e a energia incidente de  $1600\text{kWh}/\text{m}^2/\text{ano}$  [17]:

$$\frac{1600\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0.2 = \frac{320\text{kWh}}{\text{m}^2}/\text{ano} \quad [39]$$

Área dos painéis:

$$\frac{365\text{kWh}/\text{ano}}{320\text{kWh}/\text{m}^2} = 1.14\text{m}^2 \quad [40]$$

Calculando a potência de pico obtêm-se o seguinte resultado:

$$P_p = 1.14\text{m}^2 * 1\text{kW} * 0.2 = 228\text{W} \quad [41]$$

Esta potência de pico em 8h corresponde a 1824Wh e em 5h a 1140Wh.

## Estudo económico

Dada a variabilidade do estudo em função do n.º de missões a realizar em função da necessidade real (n.º de ocorrências de poluição), etc. os valores são meramente indicativos e devem ser sujeitos a testes em campo.

Elemento do projeto	Custo
Painel Fotovoltaico	197€ [19]
Bateria (DragonFly Base Station)	16.66€
Bateria (Drone)	53.95€ [18]
Estrutura	Assumido 1000€
Carregador com MPPT	161.50€ [20]
<b>Total</b>	<b>1429.11€</b>

## Conclusão

Ao longo do presente trabalho o aluno tomou contacto com a realidade de um projeto de investigação. Os desafios exigiram o adquirir de conhecimentos sobre áreas distintas, o que exigiu trabalho, mas que se tornou recompensador.

## Referências

- [1] EDP Comercial. (28 de janeiro de 2020). *Como funciona um painel solar fotovoltaico*, disponível em: <https://www.edp.pt/particulares/content-hub/como-funciona-um-painel-fotovoltaico/>
- [2] Esteves, M. (2012). *CENTRAIS FOTOVOLTAICOS EM HABITAÇÕES UNIFAMILIARES*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~ee06269/wordpress/wp-content/uploads/2012/02/tese-final.pdf>
- [3] Ovelha, R. (2017). *Projeto, Dimensionamento e Instalação de Solução Fotovoltaica numa moradia offgrid*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA. Lisboa: faculdade de ciências da universidade de lisboa, disponível em: [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/31733/1/ulfc124090\\_tm\\_Rui\\_Ovelha.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/31733/1/ulfc124090_tm_Rui_Ovelha.pdf)
- [4] Planas, O. (13 de maio de 2015). *Qual é a potência de pico de um módulo fotovoltaico*. Obtido de Energia Solar, disponível em: <https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/painel-fotovoltaico/potencia-pico>
- [5] SOLVasto PV Services. (15 de fevereiro de 2021). *A final o que são os conceitos kW, kWh, kWp, kWh/(kWp.ano), HSP ou meio-dia solar*, disponível em: <https://solvasto.pt/kw/>
- [6] Wikipédia. (30 de agosto de 2021). *Profundidade de descarga*. Obtido de Wikipédia a enciclopédia livre, disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Profundidade\\_de\\_descarga](https://pt.wikipedia.org/wiki/Profundidade_de_descarga)
- [7]
- Carniel, G. (11 de março de 2022). *Como funciona o carregador sem fio*. Obtido de canaltech, disponível em: <https://canaltech.com.br/hardware/como-funciona-o-carregador-sem-fios/>
- [8] Wikipédia. (s.d.). *Engate ferroviário*. Obtido de wikiwand, disponível em: [https://www.wikiwand.com/pt/Engate\\_ferrov%C3%A1rio](https://www.wikiwand.com/pt/Engate_ferrov%C3%A1rio)
- [9] Cossetti, M. C. (2019). *Como funciona um carregador sem fio? [Qi Wireless Charging]*. Obtido de tecnoblog, disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/carregador-sem-fio-qi-wireless-charging/>
- [10] *7 softwares de simulação e design de sistema solar fotovoltaico mais populares*. (17 de abril de 2019). Obtido de DS New Energy, disponível em: <https://pt.dsissolar.com/info/7-most-popular-solar-pv-system-design-and-simu-34904845.html>
- [11] sha, h. (Realizador). (2022). *HEISHA R80 robot charging station and D50 smallest drone dock* [Filme], disponível em: <https://www.heishatech.com/>
- [12] SKY CHARGE. (s.d.). *The charging technology*. Obtido de SKY CHARGE, disponível em: <https://www.skycharge.de/technology>
- [13] Júnior, P. H. (s.d.). *SOFTWARE PARA ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE*, disponível em: [https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6372/1/PedroHOM\\_ART.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6372/1/PedroHOM_ART.pdf)

[14] *WiBotic is Pioneering the Future of Autonomous Charging*. (s.d.). Obtido de WIBOTIC, disponível em: <https://www.wibotic.com/>

[15] *The Solar Docking Station recharges its batteries completely within the course of one sunny day*. (s.d.). Obtido de Electric Boat, disponível em: <https://faroboats.com/solar-charging-dock/technology>

[16] *The Sky is the limit, no the Autonomy*. (s.d.). Obtido de edronic, disponível em: <http://www.edronic.com/>

[17] <https://www.hisour.com/pt/solar-irradiance-39492/>

[18] <https://www.smartmodelismo.pt/electronica-baterias-rc/4140011-bateria-greenhorn-lipo-11.1v-45c-5000mah-hardcase-t-plug-absima>

[19] <https://www.damiasolar.com/pt/paineis-solares/painel-solar-enjoy-solar-200w-12v-monocristalino.html>

[20] <https://greencamp.pt/reguladores/3795-controladordecargasolarbluesolarmppt100>

[21] <https://www.sunenergy.pt/particulares/autoconsumo/baterias/>

[22] ADENE Forum Energias Renováveis em Portugal, ADENE - Agência para a Energia, INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 2001