



Paulo Sérgio dos Santos Gomes

DETEÇÃO E AFUGENTAMENTO DE AVES EM APOIOS DE TRAÇADOS AÉREOS DE ALTA E MUITO-ALTA TENSÃO

Dissertação de Mestrado em Engenharia Física, ramo de instrumentação, orientada pelo Doutor Francisco José Almeida Cardoso e apresentada ao Departamento de Física da Faculdade de Ciência e tecnologia da Universidade de Coimbra.

Setembro de 2016



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Paulo Sérgio dos Santos Gomes

Deteção e Afugentamento de Aves em Apoios de Traçados Aéreos de Alta e Muito Alta Tensão

Dissertação de Mestrado em Engenharia Física, ramo de instrumentação, orientada pelo Doutor Francisco José Almeida Cardoso e apresentada ao Departamento de Física da Faculdade de Ciência e tecnologia da Universidade de Coimbra.

Setembro de 2016

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à Deus, pois sem ele nada seria possível.

Ao meu orientador, professor Francisco Cardoso, pelo acompanhamento e disponibilidade ao longo deste trabalho, estando sempre disponível para ajudar, não só enquanto orientador, mas como professor.

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais por todo o apoio e incentivo durante todo este percurso, fazendo com que fosse possível os meus estudos na Universidade de Coimbra.

Gostaria de agradecer a Eneida® e aos seus engenheiros, em especial ao Marcos Cordeiro e ao José Oliveira, por todo o apoio prestado.

Agradeço à todos os meus amigos por todo o apoio, convivência e aprendizagem.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à minha namorada, que esteve sempre comigo, por todo o apoio, conselho e incentivo durante todo este percurso.

Resumo

Esta tese apresenta um sistema autónomo e com inteligência operacional de deteção e afugentamento de aves, em especial cegonhas, para utilização em traçados aéreos de redes elétricas, de muito alta tensão e alta tensão. Recorreu-se a um estudo sobre três tecnologias de deteção de presenças: de radiação infravermelha, e radares de ultrassons e de micro-ondas. Foram feitos testes variados com pessoas e animais, para a verificação das condições de funcionamento de três dispositivos de deteção, sendo o sensor escolhido um sensor inteligente combinado, com tecnologia de deteção PIR e radar de micro-ondas. Após o estudo de métodos de afugentamento de aves, foi proposto o afugentamento através de um díodo laser pulsado de baixa potência. Foram feitos testes com dois tipos de aves, uma doméstica e outra mais selvagem, tendo bons resultados com a espécie mais selvagem, podendo-se concluir que este método poderá ser bastante eficaz em cegonhas. No respeitante à alimentação em potência, a autonomia do sistema é garantida através de conversor energético do meio envolvente do dispositivo, a partir de duas fontes de potência: da luz solar, com um painel solar, ou por indução dos campos magnéticos gerados pelas correntes nos circuitos dos traçados, com transformadores de corrente de geometria específica.

Palavras chaves

Detetor de presença, radar de micro-ondas, radar de ultrassons, PIR, laser, transformador de corrente, painel solar.

Abstract

This thesis presents an autonomous device for both stork detection and scaring, to be applied in towers supporting overhead EHV/HV electrical circuits. Different methods and technologies for bird detection are discussed, namely infrared radiation detection, and radar detection using both ultrasound and microwave signals. Extensive tests were made with people and different animals, in order to check the operating conditions of the three detection devices, the final choice consisting in a combination of PIR and microwave radar. Concerning bird-scaring, resorting to low power pulsed laser is the proposed solution, given its effectiveness, and the practical and economic advantages found so far. Finally, this device was made autonomous in what concerns power supply, through energy harvesting and storage technologies, from two energy sources: a solar panel, and a current transformer whose primary 'coil' is one of the EHV/HV cables being supported, and the secondary consists of a short, open magnetic circuit used as coil core.

Keywords

Presence Detector, Microwave Radar, Ultrasonic Radar, PIR, laser, current transformer, solar panel.

Acrónimos

AT – Alta Tensão

EDP – Energias De Portugal

FMCW – Frequency Modulated Continuous-Wave

IV – Infravermelhos

PIR – Passive infrared

PV – Photovoltaic

SRD – Short Range Device

Índice

Resumo	iv
Abstrat	v
Acrónimos	vi
Índice	vii
Índice de figuras.....	ix
Índice de tabelas.....	xii
1 Introdução	1
1.1 Apresentação do problema	1
1.2 Uma solução: breve abordagem	2
1.3 Descrição da tese.....	3
2 Métodos e tecnologias: uma revisão	4
2.1 Métodos de detecção de presença	4
2.1.1 Sensores de infravermelhos-PIR (<i>Passive Infrared Sensor</i>)	5
2.1.1.1 Sensor de infravermelho piroelétrico	6
2.1.1.2 Termopilhas.....	8
2.1.2 Radar	10
2.1.2.1 Radar pulsado.....	10
2.1.2.2 Radar de ondas contínuas	12
2.1.2.3 Radar de ondas contínuas modulado em frequência (FMCW)	13
2.1.2.4 Detetores de presença por micro-ondas.....	14
2.1.2.4.1 Frequências utilizadas	14
2.1.2.4.2 Princípio de funcionamento.....	15
2.1.2.5 Detetores de presença por ultrassons.....	16
2.1.2.5.1 Princípios de funcionamento	17
2.1.3 Comparação das diferentes tecnologias de detecção de presença.....	19
2.2 Método de afugentamento de aves	22
2.2.1 Lasers	23
2.2.2 Métodos sonoros	24
2.2.3 Outros métodos utilizados	26
2.2.4 Abordagem seguida.....	26
2.3 Métodos de alimentação em potência	27
2.3.1 Método de alimentação por fonte luminosa - Painel solar	27
2.3.1.1 Célula fotovoltaica	27
2.3.1.2 Painel solar fotovoltaico.....	28

2.3.2	Método de alimentação por indução eletromagnética	30
2.4	Conclusão	33
3	Métodos de detecção de aves	34
3.1	Detecção de aves por ultrassons.....	34
3.1.1	Funcionamento do sistema	35
3.2	Detecção de aves por dupla tecnologia de micro-ondas – PIR	36
3.2.1	Funcionamento do sistema	37
3.3	Detecção de aves por Infravermelhos – Sensor de termopilhas Grid-Eye	38
3.3.1	Funcionamento do sistema	39
3.4	Testes e resultados.....	40
3.5	Conclusão.....	44
4	Método de afugentamento de aves – Laser	45
4.1	Validação da tecnologia de afugentamento.....	46
4.2	Sistema de detecção e afugentamento de aves	47
5	Alimentação em Potência do dispositivo	51
5.1	Sistema de alimentação em potência através de painel solar fotovoltaico	51
5.1.1	Painel Solar.....	52
5.1.2	MPPT	53
5.1.3	Controlador de carga	54
5.1.4	Sistema de armazenamento – Supercondensadores	54
5.1.5	Regulador de tensão	55
5.1.6	Carga	55
5.1.7	Modelo proposto	56
5.1.8	Testes e resultados.....	57
5.2	Indução eletromagnética	59
5.2.1	Validação da tecnologia: simulações e resultados.....	60
5.2.2	Circuito de alimentação.....	63
5.3	Conclusão.....	64
6	Conclusão e trabalhos futuros	65
7	Referências	66

Índice de Figuras

Figura 1: Anemómetros instalados pela REN nos apoios de traçados de muito MAT [2].....	2
Figura 2: Comparação da imagem térmica de uma ave poisada com asas recolhidas, com o levantamento de voo com asas abertas com o corpo mais exposto [6].....	6
Figura 3: Imagem ilustrativa do funcionamento de um sensor piroelétrico [5].....	7
Figura 4: Funcionamento de um sensor de IV piroelétrico [7].	8
Figura 5: Funcionamento de um termopar [8].	9
Figura 6: a) Imagem de uma termopilha; b) imagem de um sensor de infravermelho com um array de termopilhas [9].....	9
Figura 7: Diagrama de blocos de um radar pulsado [10].....	11
Figura 8: Diagrama de tempos de um radar pulsado, com o impulso transmitido e sinal recebido [10].....	11
Figura 9: <i>Diagrama de blocos de um radar de ondas contínuas.</i>	12
Figura 10: Imagem da variação do sinal transmitido no tempo e da variação periódica da frequência do sinal transmitido e recebido [11].....	13
Figura 11: Diagrama de blocos de um radar FMCW [11].....	13
Figura 12: Diagrama de blocos de um dispositivo radar de microondas [5].	16
Figura 13: Funcionamento dos materiais piezoelétricos [14].....	17
Figura 14: Diagrama de blocos do funcionamento de sensores de presença ultrassónicos [5].....	18
Figura 15: Ilustração do Alcance do sensor ultrassónico para diferentes tipos de materiais [15].....	18
Figura 16: Relação entre a atenuação de ondas ultrassónicas e a frequência da onda no ar [16].....	19
Figura 17: Relação da atenuação com a frequência do sinal e a humidade relativa do ar [16].....	19
Figura 18: Dispositivos lasers de afugentamento de aves comerciais, o Agrilaser da Bird Control e o Spartan 637 nm da Dragon Laser [22] [23].	24
Figura 19: Dispositivo comercial de afugentamento de aves por ultra-sons da Bird-X [25].	25
Figura 20: Esquema do funcionamento de uma célula PV [27].....	28
Figura 21: Curva I-V de um painel solar e representação do ponto de máxima potência (MPP) [28].....	29

Figura 22: Imagem das três tecnologias de painel solares [30].	30
Figura 23: Funcionamento de um concentrador de fluxo de campos magnéticos na conversão energética.	31
Figura 24: Imagem de um concentrador de fluxo em X.	32
Figura 25: Modulo ultrassónico utilizado na deteção de presença.	34
Figura 26: Imagem da placa de desenvolvimento da TI com o microcontrolador MSP430G2553.	35
Figura 27: Diagrama de blocos do funcionamento do dispositivo sensor inteligente de deteção de aves.	36
Figura 28: Diagrama de tempo do dispositivo sensor ultrassónico.	36
Figura 29: Imagem do dispositivo sensor inteligente PIR-Micro-ondas utilizado.	37
Figura 30: Diagrama de blocos do dispositivo sensor inteligente PIR-Micro-ondas.	38
Figura 31: Imagem da placa de avaliação do sensor de IV Grid-Eye.	39
Figura 32: Diagrama de blocos de funcionamento do kit de avaliação do Gride-Eye como Arduino [34].	39
Figura 33: Teste de verificação do bom funcionamento do sistema de deteção.	40
Figura 34: Imagem ilustrativa da montagem para os testes com pessoas no interior.	41
Figura 35: Dispositivo produzido na enxada para deteção e afugentamento de aves.	41
Figura 36: Testes na deteção de um galo para determinação do alcance do sensor.	43
Figura 37: Deteção de coelhos no primeiro dia de testes.	43
Figura 38: Representação do diagrama de blocos do funcionamento do dispositivo inteligente de deteção e afugentamento de aves.	45
Figura 39: Imagem do dispositivo módulo laser escolhido para o afugentamento de aves.	46
Figura 40: Diagrama de blocos do funcionamento do dispositivo inteligente de deteção e afugentamento de aves.	48
Figura 41: Representação de possíveis locais de instalação do dispositivo.	49
Figura 42: Diagrama de blocos do sistema de captação e conversão energética do dispositivo.	51
Figura 43: Imagem do painel solar proposto para alimentar em potência o dispositivo [35].	52
Figura 44: Representação gráfica do funcionamento do circuito MPPT [28].	53
Figura 45: Circuito proposto para a alimentação do dispositivo através de fonte luminosa.	57
Figura 46: Tempo de carga e descarga dos supercondensadores em serie para alimentar um getaway com comunicação de um em um segundo [28].	58
Figura 47: Montagem utilizada para nos testes com a getaway [28].	58
Figura 48: Dispositivo construído como conversor energético.	60

Figura 49: Representação da geometria utilizada e dos linhas de campo produzidas na simulação.....	61
Figura 50: gráfico correposnte a corrente induzida na bobina em função da corrente do condutor.	62
Figura 51: Variação da corrente na bobina em função da distância do condutor.....	62
Figura 52: Circuito proposto para alimentar o dispositivo a partir de campos eletromagnéticos d baixa frequência.	63

Índice de tabelas

Tabela 1: Valores permitidos para SRDs na europa e potência máxima irradiada.....	15
Tabela 2: Comparação das diferentes tecnologias: PIR, Ultrassons e microondas.....	21
Tabela 3: Resultados obtidos para o sensor de dupla tecnologia na determinação do alcance.	42
Tabela 4: Comparação dos supercondensadores com as baterias [37].....	54
Tabela 5: Resultados obtidos pela simulação da comsol.	61
Tabela 6: Variação da corrente induzida na bobina com a distância do condutor (primário).	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Nos apoios de traçados aéreos de transporte e distribuição de energia elétrica em Portugal, existem cerca de quase 3000 ninhos de cegonhas-brancas, uma espécie que já esteve em risco de desaparecer do país, mas que, agora, é cada vez mais abundante.

Os apoios de alta e muito alta tensão (AT e MAT), aparentemente, constituem um local seguro para as cegonhas-brancas instalarem o ninho e procriarem. Um apoio de muito alta tensão, onde passam cabos com tensão entre os 150 e 400 kV, é um local livre de predadores e os cerca de 35 metros de altura proporcionam uma visão completa de tudo que as rodeia. Em 2013 foram contabilizados 2355 ninhos de cegonhas-brancas nos apoios de AT e MAT da REN [1].

Os traçados AT MAT são verdadeiros alvos, sobretudo das cegonhas que querem nidificar. As cegonhas-brancas, com a sua envergadura podendo atingir os 2,2 metros e com ninhos que chegam aos 200 Kg, podem causar um curto-circuito com um simples abrir de asas, ficando electrocutadas, mas fazendo disparar os disjuntores a montante, neste modo causando “apagões”. Por outro lado, existem problemas nos isoladores causados pelas aves, que podem ser de dois tipos [2]:

- Os dejetos das aves, ao atingir os isoladores, contribuem para criar uma película superficial, que permite corrente de fuga e, frequentemente, descargas de contornamento diretamente ao poste ligado à terra. Como resultado, verifica-se a dissipação de uma grande quantidade de energia durante algumas dezenas/centenas de milissegundos, tempo necessário à atuação do equipamento de proteção.
- Os próprios ninhos, cujos materiais com alguma dimensão (por exemplo varas das podas das vinhas) caem, por vezes, durante a fase de construção ou da

vida dos ninhos, ficando suspensas nos isoladores ou passando próximo deles, provocando os efeitos já referidos.

Nas redes da REN, o número de incidentes provocados por cegonhas-brancas corresponde a cerca de 3% total de ninhos, cerca de 50, em média, entre 2009-2012. Já na EDP, foram registados 319 incidentes com aves em geral (não só cegonhas) no período de 2010-2013, mas a rede da EDP é cerca de 21 vezes mais extensa que a REN [3].

Para evitar que estes incidentes ocorram, procura-se métodos eficazes e de baixo custo que evitem que aves, em especial a cegonha-branca, comecem a fazer ninhos e se concentrem nesses apoios.

1.2 UMA SOLUÇÃO: BREVE ABORDAGEM

Todos os anos a REN e a EDP têm feito vários esforços para evitar que as aves pousem ou façam ninhos nos locais perigosos. Os ninhos instalados em cima dos isoladores são transferidos para plataformas artificiais de pouso, que são instalados nos apoios e ao mesmo tempo, grandes anemómetros são colocados nos locais perigosos, para impedir que elas poisem. No entanto, estes anemómetros têm diversos problemas: são facilmente destruídas pela natureza, ou seja, têm tempos de vida curtos e só funcionam quando houver vento.



Figura 1: Anemómetros instalados pela REN nos apoios de traçados de muito MAT [2].

Para solucionar este problema, será proposta uma solução simples e que tem demonstrado ser eficaz, com o objetivo de detetar a presença de aves em aproximação dos apoios e de as repelir automaticamente, não as deixando poisar e, muito menos,

nidificar nesses apoios. Assim, pretende-se construir um sistema autónomo, com “inteligência” operacional e capacidade de alimentação em potência através de captação de energia do meio envolvente.

O afastamento de aves será feito através de feixes de luz laser, pulsado e de baixa potência (dezenas de mW). A deteção de aves, como a deteção em geral de corpos em movimento, poderá ser feita através de duas tecnologias: (i) sensores de infravermelhos (PIR), que deteta variações de temperatura ocorridas no seu angulo sólido de receção, (ii) através de tecnologia de radar, com micro-ondas ou ultrassons.

Pretende-se detetar e afugentar as aves em voo de aproximação, evitando que poisem. Estes métodos terão de ser testados, pois em determinadas situações podem ser pouco eficientes, principalmente quando se tratam de aves poisadas com as asas recolhidas, porque sendo as aves cobertas de penas pode conduzir a alguma ineficiência do sensor do tipo PIR. Portanto o objetivo é de detetar e afugentar as aves em voo de aproximação.

1.3 DESCRIÇÃO DA TESE

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos. No capítulo 1, fez-se o enquadramento temático do trabalho, com a apresentação do problema e dos métodos propostos para a sua resolução.

No capítulo 2 é feita uma revisão comparativa das tecnologias e abordagens que se pretendem utilizar na deteção de presença de aves e no seu afugentamento, e, por último de duas tecnologias para alimentação em potência do dispositivo, com captação de energia do meio envolvente.

No capítulo 3 são feitas análises e testes sobre as tecnologias de deteção de movimento, para verificar qual é a mais eficaz para a aplicação proposta.

No capítulo 4 é apresentado a estrutura do sistema e como poderão ser dispostas cada uma das componentes, bem como testes com o dispositivo laser de afugentamento de aves proposto.

No Capítulo 5 são apresentados dois métodos para a alimentação em potência do dispositivo, com o dimensionamento do sistema proposto para cada método.

Por fim no Capítulo 6 é apresentada as conclusões e trabalhos futuros.

2 MÉTODOS E TECNOLOGIAS: UMA REVISÃO

Neste capítulo serão abordados alguns métodos utilizados no afugentamento de aves, as diferentes tecnologias que podem ser utilizada na sua detecção, como a tecnologia PIR e radar de micro-ondas ou ultrassons, referindo os princípios do funcionamento destas tecnologias. Por último, pretende-se referir métodos de captação de energia do meio envolvente, de modo a garantir a alimentação em potência do dispositivo e a sua autonomia.

2.1 MÉTODOS DE DETECÇÃO DE PRESENÇA

Os sensores de presença são dispositivos que podem ser usados para desencadear uma ação quando um alvo é detetado pelo sensor, transmitindo um sinal analógico ou digital na saída (dependendo do sensor).

Os sensores podem ser classificados como ativos e passivos. Um sensor passivo não precisa de um a fonte de energia adicional, gerando diretamente um sinal elétrico como resposta a um estímulo externo, isto é, a anergia de estímulo na entrada é convertida pelo sensor num sinal de saída. Os sensores ativos exigem uma fonte de alimentação para suportar a sua operação e gerar o sinal de saída para sinalização de detecção de presença.

Neste projeto serão utilizados detetores de presença de duas tecnologias, uma com sensores passivo e outra com sensores ativo:

- Radar podendo ser por ultrassons ou micro-ondas;
- Infravermelhos - PIR (*Passive Infrared*).

Os detetores PIR são sensores passivos, enquanto que os detetores por ultrassons e micro-ondas são sensores ativos.

2.1.1 Sensores de infravermelhos-PIR (*Passive Infrared Sensor*)

Estes detetores de movimento operam na gama ótica da radiação térmica, sendo sensível a troca de calor entre o elemento sensor e o objeto em movimento, isto através da radiação na banda de infravermelhos (IV). O princípio da deteção de presença por radiação térmica baseia-se na teoria física da emissão de radiação eletromagnética de todos os corpos, cuja temperatura esteja acima do zero absoluto. A radiação IV são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 0,74 μm e 100 μm [4].

Os detetores de movimento PIR tornou-se extremamente popular na deteção de movimento e são muito utilizados em sistemas de segurança, portas automáticas, controlo de luz automático, etc. A energia da radiação de IV de um objeto é função de diferentes parâmetros, tais como a sua temperatura, cor e textura. Esta energia não é visível a olho nu, mas sensores do tipo PIR podem detetá-la. Para que haja deteção de movimento é essencial que a temperatura da superfície de um objeto seja diferente da dos objetos do meio ao seu redor, de modo a existir um contraste térmico.

Existem três tipos de elementos de deteção que podem ser utilizados nos dispositivos do tipo PIR: termístor, termopilhas e materiais piroelétricos, sendo que, apenas se falarão neste trabalho dos materiais piroelétrico e das termopilhas. No entanto, na deteção de movimento, os dispositivos sensores piroelétricos são, de longe, os mais utilizados, por serem mais simples, terem um baixo custo, resposta rápida e de amplitude elevada e uma gama dinâmica mais elevada [5].

As penas das aves constituem um poderoso escudo isolante térmico e, portanto, quando aquelas estão poisadas e com as asas recolhidas este efeito é ainda maior, podendo afetar a capacidade de deteção de um PIR. Já quando uma ave se encontra em voo de aproximação, ela apresenta-se com as asas abertas, com o corpo exposto e, assim, o efeito isolante das penas é muito menor, aumentando a eficácia do PIR. Estudos feitos [6] no uso de imagem térmica para pesquisas aviárias demonstram que as penas que cobrem as aves diminuem a emissão de IV nestas regiões. As regiões do corpo com maior cobertura de penas estão próximas da temperatura ambiente, sendo as zonas com pouca cobertura, como a cabeça e, principalmente, a região em torno dos olhos

representam temperaturas mais elevadas. Na Figura 2 pode-se ver a diferença da imagem térmica da ave em voo, com as asas abertas, e poisada com as asas recolhidas.

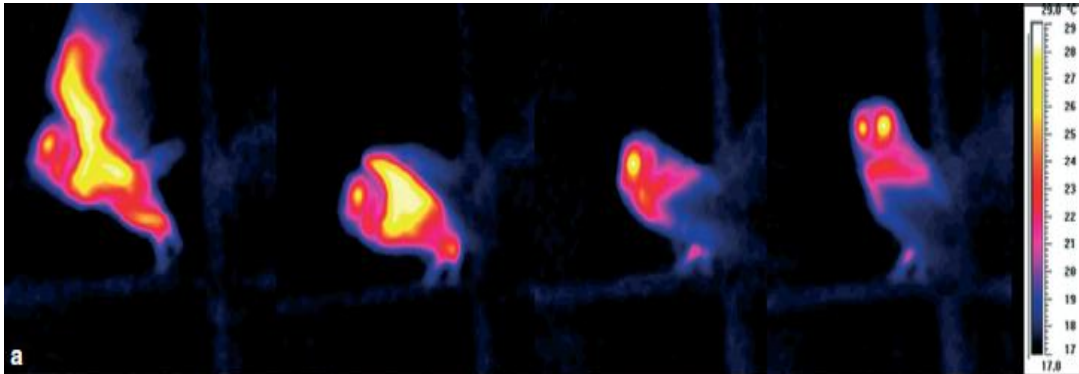


Figura 2: Comparação da imagem térmica de uma ave poisada com asas recolhidas, com o levantamento de voo com asas abertas com o corpo mais exposto [6].

2.1.1.1 Sensor de infravermelho piroelétrico

Estes detetores baseiam-se do facto de certos cristais ficarem carregados eletricamente durante mudanças de temperatura. Os materiais piroelétricos são substâncias cristalinas capazes de gerarem uma carga elétrica em resposta a um fluxo de calor (radiação IV) que fluem através de um corpo. Os materiais piroelétricos têm dipolos elétricos permanentes orientados. Dentro dos detetores encontra-se uma camada fina de material piroelétrico entre dois elétrodos de forma a formar um pequeno condensador. A variação do fluxo da radiação térmica incidente irá fazer com que as cargas elétricas no condensador variem, gerando uma corrente piroelétrica muito baixa. Os sensores piroelétricos mais sensíveis atualmente são baseados em filmes de polímeros, em detrimento dos materiais ferroelétricos cristalinos cerâmicos tradicionais, visto deterem vantagens como uma maior sensibilidade e rapidez, e menor custo.

A carga gerada no condensador tem de ser convertida numa tensão, o que pode ser feito por meio de um transistor FET incorporado no sensor. O circuito equivalente é representado na Figura 3.

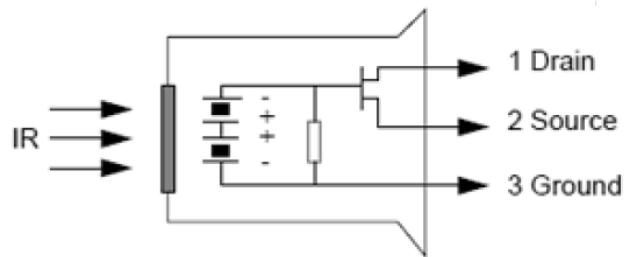


Figura 3: Imagem ilustrativa do funcionamento de um sensor piroelétrico [5].

Para limitar a gama sensível do sensor, existe um filtro de infravermelhos no topo, de silício, que é geralmente concebido para uma largura de banda de $5,5\ \mu\text{m}$ a $15\ \mu\text{m}$.

O sensor piroelétrico deteta a presença de pessoas ou de animais ao detetar o movimento destes dentro da área de deteção do sensor como mostra a Figura 4. Normalmente o sensor contém duas aberturas feitas de um material piroelétrico sensível aos IV. Estes elementos de compensação duplos são utilizados para eliminar a interferência resultante da variação de temperatura do meio, melhorando a estabilidade do sensor. Nesta configuração, quando o sensor estiver inativo, ambas as aberturas detetam a mesma quantidade de IV, que é a quantidade irradiada pelo ambiente. Quando um corpo quente como um ser humano ou um animal passa, primeiramente ele intersesta uma metade do sensor PIR, o que provoca uma alteração diferencial positiva entre as duas metades. Quando o corpo quente deixa a área de deteção, acontece o inverso e o sensor gera uma mudança diferencial negativa. São estes impulsos de mudança que serão detetados.

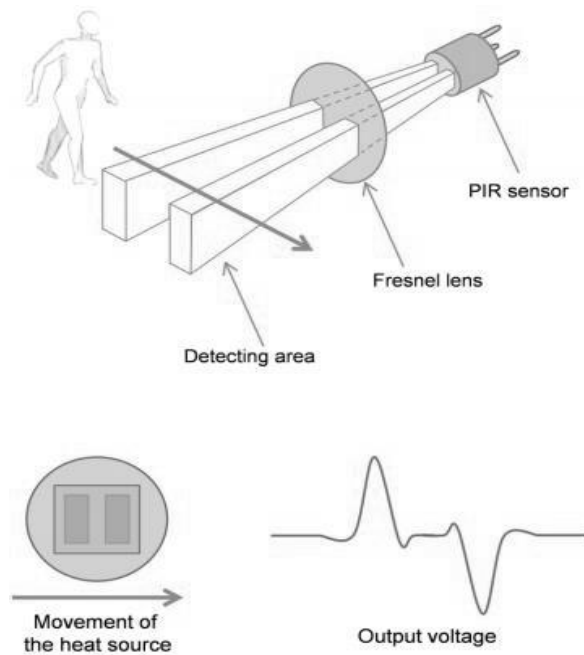


Figura 4: Funcionamento de um sensor de IV piroelétrico [7].

A área dos dois retângulos que são sensíveis aos IV são pequenos (aproximadamente 2 mm^2 por cada retângulo). Torna-se fundamental aumentar a área de detecção e isso pode ser feito de duas maneiras [7]:

- Aumentar o número de sensores;
- Usar uma lente Fresnel;

O último método é altamente recomendado, uma vez que é mais barato e melhora a recepção dos IV pelo sensor, ampliando a área visível e concentrando a recepção de IV do mesmo.

2.1.1.2 Termopilhas

O sensor de infravermelho com termopilha baseia-se no efeito termoelétrico e é constituído por várias junções de termopares associados em serie. Um termopar é formado por uma junção de dois materiais diferentes A e B, surgindo um sinal elétrico definido em tensão entre as extremidades livres do circuito, que é proporcional à temperatura da junção (Figura 5).

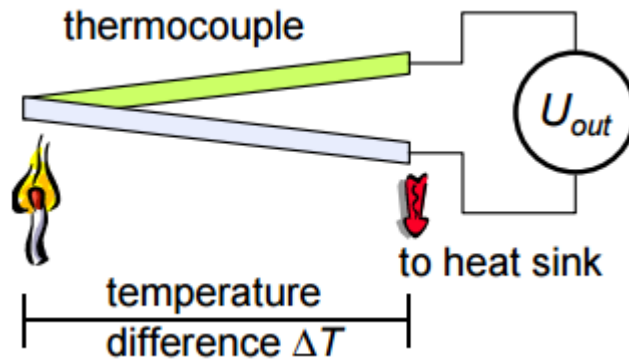


Figura 5: Funcionamento de um termopar [8].

Nos dias de hoje, com a tecnologia moderna de semicondutores, consegue-se produzir termopilhas com centenas de termopares em áreas de alguns milímetros quadrados, formando sensores cada vez mais pequenos, sensíveis, com rápida resposta e cada vez mais baratos. Nas termopilhas, um conjunto de termopares são isolados termicamente e expostos a radiação térmica incidente, enquanto o outro conjunto é mantida na temperatura de referência (temperatura ambiente). As termopilhas são dispostas em *array* de sensores, de modo a aumentar a eficácia e a zona de deteção do sensor. O sinal na saída de uma termopilha é muito baixo, na ordem dos milivolts, devendo ser amplificado para o processamento. Esta amplificação deve ser feita o mais próximo possível do sensor, em favor da relação sinal ruído; assim, as ultimas geração destes sensores já integram um amplificador de ganho adequado [9]. Na Figura 6 a) pode-se observar uma imagem de uma termopilha, e na Figura 6 b) um sensor de infravermelho com uma matriz de termopilhas, com o circuito integrado muito próximo do sensor e com um multiplexador.

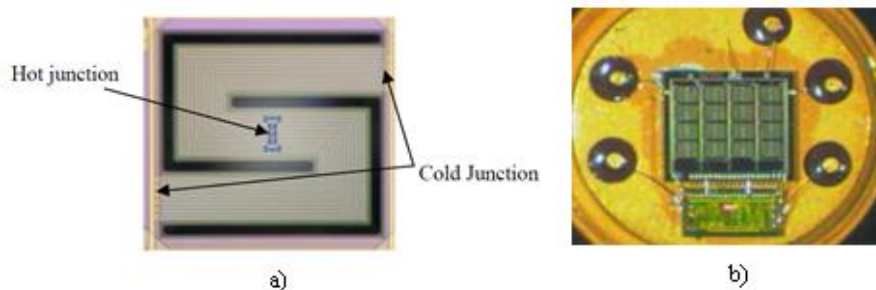


Figura 6: a) Imagem de uma termopilha; b) imagem de um sensor de infravermelho com um array de termopilhas [9]

Esta tecnologia microeletrônica é capaz de produzir dispositivos sensores de infravermelho com termopilhas cada vez mais pequenos, com melhor desempenho e mais baratos que os sensores tradicionais. Isto tudo é possível devido a tecnologia MEMS (*microelectromechanical systems*), uma tecnologia que permite a redução dos tamanhos dos dispositivos, aumentando a rapidez de resposta e maior facilidade de instalação. Esta tecnologia consome menor energia e permite um menor custo na produção dos componentes, trazendo benefícios custo/desempenho.

2.1.2 Radar

A palavra radar provem de *RA*dio *D*etection *A*nd *R*anging e aplica-se a dispositivos sensores eletrônicos capazes de detetar e rastrear objetos a uma certa distância, podendo determinar a sua posição, velocidade e direção de movimento. Estes dispositivos são constituídos por transmissores e recetores de ondas eletromagnéticas, que permite detetar objetos, medir distâncias e velocidades, ao receber ondas que foram emitidas pelo dispositivo e posteriormente refletidos por um objeto ao entrar na zona de deteção do radar.

A tecnologia radar esta dividida em dois grandes grupos:

- Radar de onda contínua;
- Radar pulsado.

Os radares de ondas contínuas podem utilizar ondas com frequência fixa (radar Doppler) ou ondas com frequência modulada (radar FMCW), em que a frequência da onda varia em função do tempo.

2.1.2.1 Radar pulsado

Os radares pulsados são utilizados maioritariamente para detetar e estimar o alcance de objetos estáticos, baseando no tempo de atraso da onda emitida e posteriormente refletida pelo objeto (tempo de voo), ao entrar na zona de deteção do radar. Na Figura 7 e 8 encontra-se representado um diagrama de blocos e de tempo do radar de impulso. Esta tecnologia de radar pode ser utilizada com diferentes transdutores como emissor e recetor ou, utilizar o mesmo transdutor como emissor e recetor do sinal. Os radares de

impulso emitem um sinal com uma largura de impulso de transmissão τ , com um período de tempo T_r entre impulsos (Figura 8). O sinal ao ser refletido pelo alvo, dentro da sua área de detecção, retorna com um tempo T de atraso:

$$T = 2r/c \quad (1),$$

onde r é a distância do transmissor ao objeto e c a velocidade do sinal transmitido. Esta tecnologia de radar pode medir distâncias entre o emissor e o alvo, através do tempo de atraso T . O sinal refletido e recolhido pelo sensor é o indicador de presença na zona de detecção do dispositivo, sendo que o cálculo da distância do objeto pode ser posteriormente calculado, após processamento.

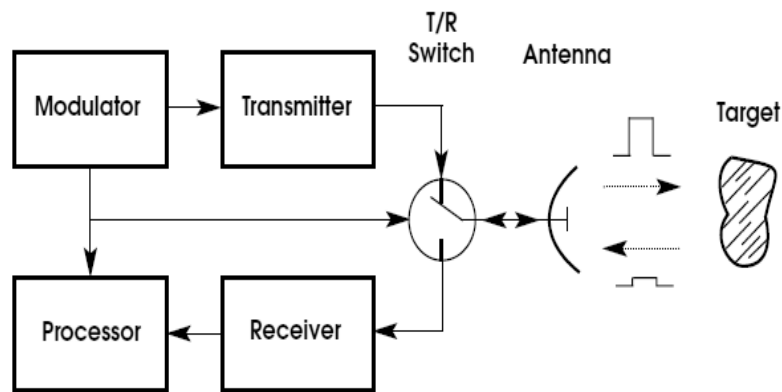


Figura 7: Diagrama de blocos de um radar pulsado [10].

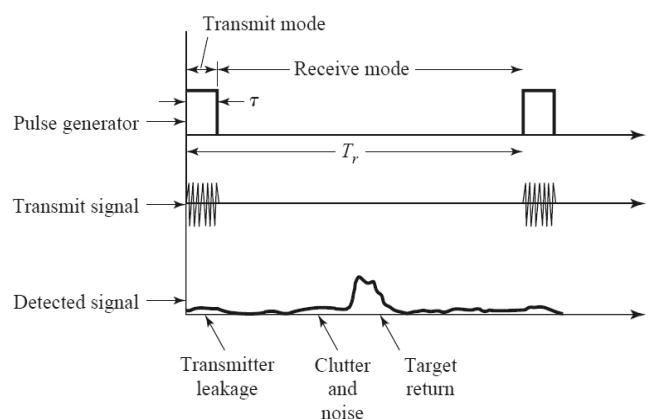


Figura 8: Diagrama de tempos de um radar pulsado, com o impulso transmitido e sinal recebido [10].

2.1.2.2 Radar de ondas contínuas

Este tipo de radar, também conhecido como radar Doppler, transmite um sinal de frequência elevada, continuamente, sendo este sinal transmitido com amplitude e frequência constante. O sinal refletido também é constantemente recebido e processado. Estes dispositivos são utilizados para detetar e medir velocidade de um objeto ao entrar em sua zona de detecção, para isso utilizando como princípio de funcionamento o efeito de Doppler. Se a frequência f_0 do sinal emitido incide num alvo em movimento, observa-se mudanças na frequência e na amplitude da onda refletida. A variação desta frequência denomina-se de frequência Doppler e pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$f_d = 2vf_0/c, \quad (2),$$

onde v é a velocidade do alvo e c a velocidade da onda transmitida.

A frequência do eco recebido é então de $f_0 \pm f_d$, onde o sinal mais corresponde a um alvo em aproximação e o menos a um alvo em afastamento. Da diferença entre a frequência da onda transmitida e a onda refletida, consegue-se saber a velocidade do objeto. A figura 9 representa um diagrama de blocos do radar de ondas contínuas, onde o sinal refletido por um alvo em movimento é levado a um misturador de frequência, capaz de combinar os sinais de entrada e de saída, obtendo a diferença entre estes sinais, extraíndo um sinal com a frequência Doppler, geralmente na gama dos kHz. Este sinal é posteriormente filtrado e amplificado, para depois ser processado.

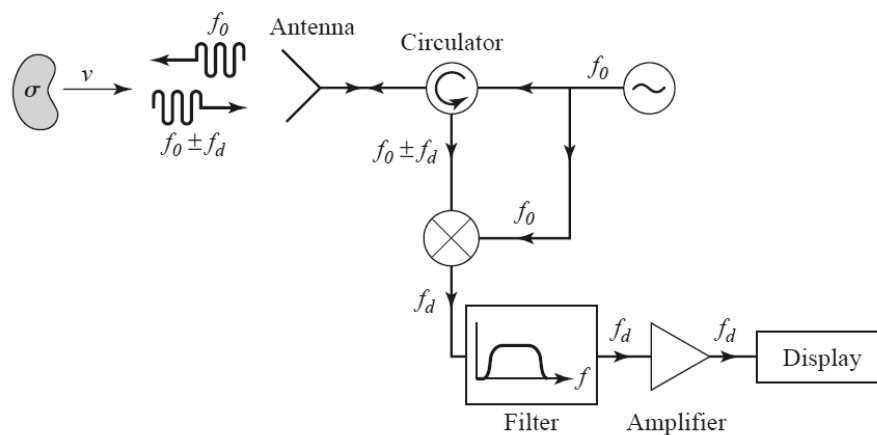


Figura 9: Diagrama de blocos de um radar de ondas contínuas.

2.1.2.3 Radar de ondas contínuas modulado em frequência (FMCW)

Este tipo de radar é utilizado para detectar e, em simultâneo, medir distâncias e a velocidade de um objeto. O sinal transmitido consiste numa onda contínua, com frequência que varia com o tempo com um período T . A frequência do sinal transmitido, varia linearmente entre uma frequência inicial f_{min} e uma frequência máxima f_{mx} com período T [11]. O sinal, ao ser refletido, terá um atraso como no radar pulsado e uma mudança na frequência como nos radares de efeito Doppler, caso o alvo esteja em movimento dentro da zona de deteção do sensor, permitindo ao sensor detetar e determinar a distância e a velocidade do alvo. Nas Figura 10 e 11 encontra-se representado o diagrama de blocos do radar FMCW, bem como a variação de um sinal e da frequência no tempo.

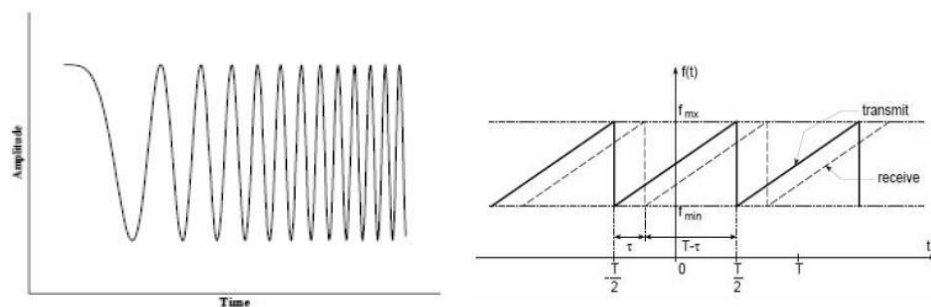


Figura 10: Imagem da variação do sinal transmitido no tempo e da variação periódica da frequência do sinal transmitido e recebido [11].

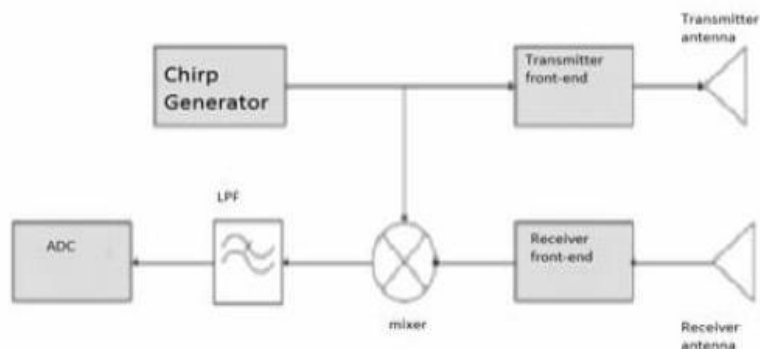


Figura 11: Diagrama de blocos de um radar FMCW [11].

As ondas refletidas, depois de retornarem ao sensor, passam por um misturador de frequências, dando origem a um sinal com informações relativas a distância e velocidade do alvo, que será depois processado.

2.1.2.4 Detetores de presença por micro-ondas

Os sensores de micro-ondas são muito utilizados na indústria para detectar movimento, medir velocidades, direções de movimento e alcance. Estes dispositivos são capazes de cobrir grandes áreas, em ambientes hostis, i.e., com grandes interferências como o vento, ruído acústico, neblina, poeira, umidade, e assim por diante. Estes dispositivos utilizam radiação eletromagnética de radiofrequência (RF) acima dos 300 MHz, sendo as frequências mais utilizadas de 10,525 GHz (banda X) e 24,125 GHz (banda K) [5]. Os sensores de movimento por micro-ondas emitem ondas de RF e recebem e analisam as ondas eletromagnéticas que são refletidas por um objeto, criando uma zona de detecção. Um sensor de movimento por micro-ondas consiste em três grandes partes: fonte de transmissão, antena de foco do sinal e receptor e processador de sinal.

2.1.2.4.1 Frequências utilizadas

Os radares de micro-ondas comerciais para detecção de presença são, normalmente, dispositivos de curto alcance, ou SRD (*Short Range Device*). Os SRD são dispositivos com uma recomendação *standard* implementada pela ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) [12]. Os SRDs são dispositivos de transmissão de rádio que funcionam normalmente numa determinada frequência isenta de licença e com potência limitada. Para frequências entre 1 GHz a 40 GHz existem algumas bandas permitidas para aplicações SRD de transmissão e recepção. Estas bandas de frequência, bem como a potência máxima irradiada permitida para dispositivos radares estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1: Valores permitidos para SRDs na europa e potência máxima irradiada.

Banda de frequência	Frequências permitidas	Potência máxima
S	2400 – 2483,5 MHz	10 mW
X	9200-9975 MHz 10,5 – 10,6 MHz	25 mW
Ku	13,4 – 14 GHz 17,1 – 17,3 GHz	25 mW 400 mW
K	24,00 – 24,25 GHz	100 mW

As principais frequências utilizadas em dispositivos comerciais micro-ondas de detecção de presença são de 10,525 GHz e 24,125 GHz (banda X e K).

2.1.2.4.2 Princípio de funcionamento

O sensor de micro-ondas, através de uma antena de ganho elevado, emite micro-ondas em que, ao atingirem um objeto, parte dessa onda é refletida de volta para o sensor como mostra a Figura 12. Para um bom funcionamento do sensor, a potência do sinal recebido deve ser suficientemente alta. Isto depende de vários fatores [5] como a área de abertura da antena A , área a do objeto e distância r do sensor até o objeto como mostrado na equação:

$$P_r = \rho \frac{P_0 A^2 a}{4\pi \lambda^2 r^4} \quad (3),$$

onde P_0 é a potência transmitida, ρ a refletividade do objeto às micro-ondas. Pode-se ver através da equação que quanto maior a frequência, maior é a atenuação sofrida pela onda transmitida, sendo por isso utilizadas altas frequências para aplicações de baixo alcance.

Quando o sinal refletido retorna e é detetado, um díodo misturador combina-o com o sinal emitido. Se o objeto estiver em movimento há uma mudança na fase dos dois sinais

e o sinal na saída será proporcional a velocidade do objeto, ou seja, a frequência Doppler na ordem dos kHz. O sinal refletido terá uma baixa amplitude, pelo que será necessário um processo posterior de amplificação e filtragem do sinal, para ser posteriormente processado.

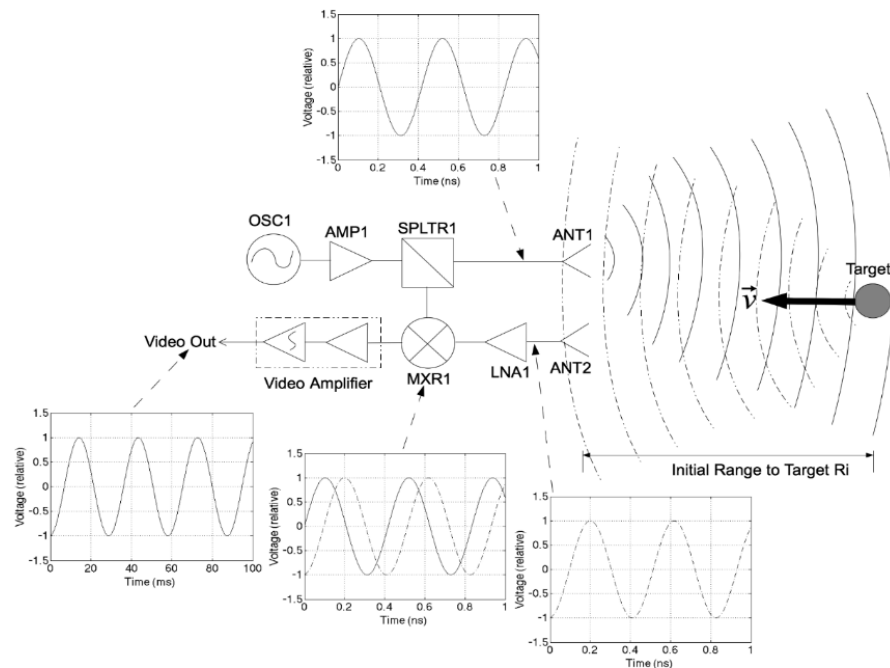


Figura 12: Diagrama de blocos de um dispositivo radar de microondas [5].

2.1.2.5 Detetores de presença por ultrassons

Os ultrassons consistem em ondas sonoras de alta frequência que são inaudíveis aos seres humanos, sendo a frequência dos ultrassons normalmente acima dos 20 KHz. Os detetores de movimento por ultrassons são dispositivos eletrônicos que utilizam tecnologia radar com ondas ultrassônicas para detecção de presença ou movimento de alvos. Os sensores ultrassônicos são frequentemente chamados de transdutores. A função destes transdutores é de converter a energia elétrica em energia mecânica, e vice-versa. O modo mais comum de gerar e detectar estas ondas é utilizando o efeito piezoelétrico de alguns materiais cristalinos, como o quartzo.

Para gerar uma onda mecânica, incluindo ultrassons, é necessário movimento de superfícies. Este movimento cria compressão e expansão do meio, que pode ser um gás,

líquido ou sólido. Os transdutores ultrassônicos utilizam o efeito piezoelétrico como gerador destas ondas. Um gerador de ultrassons piezoelétrico consiste numa camada de material piezoelétrico com eléctrodos de um metal fino em ambos os lados. Aplicando uma tensão alternada nestes eléctrodos, a espessura da camada do material piezoelétrico varia de acordo com as variações do campo eléctrico, produzindo flutuações no ar. Alternadamente o efeito piezoelétrico pode ser utilizado na detecção de ultrassons, transformando as ondas ultrassónicas num sinal eléctrico. A Figura 14 ilustra o efeito piezoelétrico, em que a tensão induzida aumenta com a pressão aplicada [13].

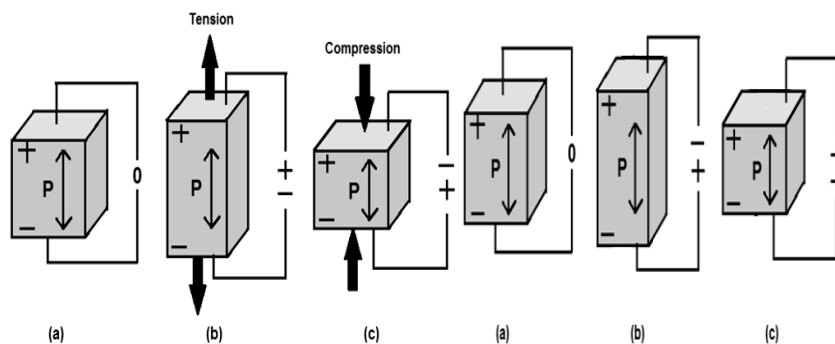


Figura 13: Funcionamento dos materiais piezoelétricos [14].

2.1.2.5.1 Princípios de funcionamento

Os sensores de detecção de presença por ultrassons emitem ondas sonoras e esperam o sinal de retorno correspondente ao eco do sinal refletido ao entrar na zona de detecção do dispositivo sensor. Quando as ondas ultrassónicas incidem num objeto, parte dessa onda é refletida. Se o objeto estiver em movimento a frequência da onda refletida será diferente da onde transmitida, isto é chamado de efeito Doppler descrito na secção anterior. Quando o recetor recebe as ondas sonoras refletidas dentro da área de medição, estas são convertidas num sinal eléctrico, que passa por um processo de amplificação e filtragem, para posteriormente ser analisado num circuito de controlo apropriado (Figura 15). Estes detetores podem utilizar ondas pulsadas ou contínuas, dependendo da finalidade e das condições de operação do sensor.

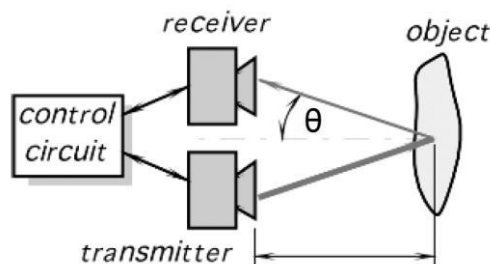


Figura 14: Diagrama de blocos do funcionamento de sensores de presença ultrassônicos [5].

O alcance máximo do sensor é caracterizado pelo tamanho do alvo e pela composição do material. Materiais absorventes de ondas ultrassônicas como algodão, esponja, borracha, etc..., limitam o alcance máximo do sensor e são detetados com alcance máximo menor que materiais como metais, plástico ou vidro [15].

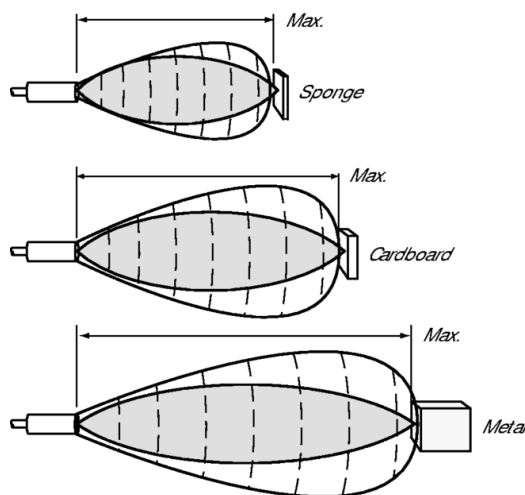


Figura 15: Ilustração do Alcance do sensor ultrassônico para diferentes tipos de materiais [15].

Outro fator que influencia o alcance dos sensores ultrassônicos é a atenuação sofrida por estas ondas. O alcance máximo dos sensores ultrassônicos é inversamente proporcional a frequência, sendo o alcance máximo tanto maior quanto menor a frequência, como se pode verificar no gráfico da Figura 15. Os sensores industriais ultrassônicos utilizam frequências entre o 40 kHz e os 250 kHz. Sensores com frequências nos 40 kHz podem ter um alcance máximo de cerca de 10m enquanto um de 200kHz é limitado a 1m. Uma onda ultrassônica se propaga através do deslocamento de superfícies do meio, a atenuação das ondas ultrassônicas é devido a perda por fricção no meio de transmissão. Na Figura 16 encontra-se representado a atenuação de ondas ultrassônicas no ar em função da frequência. A atenuação aumenta com o aumento da

frequência da onda e para cada frequência a atenuação é função da humidade relativa do ar (Figura 17) [15] [16].

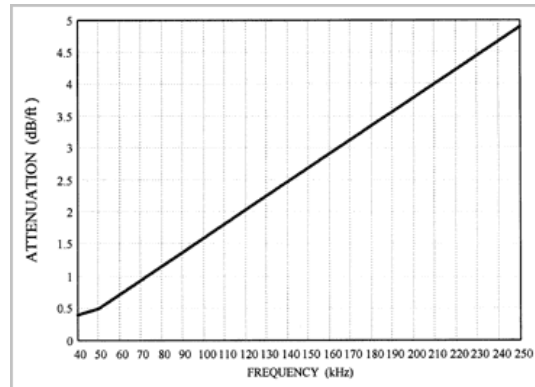


Figura 16: Relação entre a atenuação de ondas ultrassônicas e a frequência da onda no ar [16].

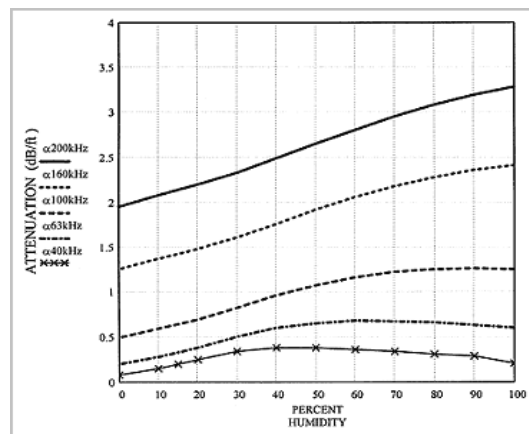


Figura 17: Relação da atenuação com a frequência do sinal e a humidade relativa do ar [16].

Por estas razões neste trabalho é utilizado um dispositivo sensor ultrassônico com transdutores de 40 kHz de modo a aumentar o alcance seja máximo, mas não se espera grandes resultados, uma vez que as penas das aves funcionam como material absorvente de ondas ultrassônicas.

2.1.3 Comparação das diferentes tecnologias de deteção de presença

Para a avaliação das diferentes tecnologias de movimento descritas, nesta dissertação serão analisados alguns critérios. Cada uma das tecnologias tem as suas vantagens e desvantagens e serão utilizados critérios económicos e técnicos de avaliação.

Critérios económicos

O critério económico, nomeadamente o custo de aquisição, é de extrema importância no desenvolvimento de um projeto desta natureza, para um dispositivo a ser aplicado em larga escala.

Critérios técnicos

Nos aspetos técnicos, alguns dos principais critérios avaliados são:

- **Fiabilidade** – capacidade do sistema de executar as suas funções corretamente em diferentes condições. Um dispositivo de deteção tem de ser fiável, caso contrário perde a utilidade;
- **Consumo de energia** – este critério é extremamente importante, principalmente para sistema de aplicação remotas sem fios, especialmente se com autonomia energética, como pretendido;
- **Alcance** – o alcance do sensor é de extrema importância, pois neste projeto pretende-se detetar aves a distâncias de 8 -10 m do sensor.

Também serão avaliados a influência causada pelas condições ambientais no desempenho do sensor. A Tabela 2 sintetiza as vantagens e desvantagens das diferentes tecnologias em análise.

Tabela 2: Comparação das diferentes tecnologias: PIR, Ultrassons e micro-ondas.

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
PIR	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido • Baixo custo • Alcance médio • Baixo custo • Alta fiabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Suscetível a mudanças de temperaturas
Ultrassons	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido • Alta fiabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo moderado de energia • Suscetível a ruído de alta frequência • Baixo alcance
Microondas	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido • Grande alcance • Alta fiabilidade • Insuscetível a poeira e nevoeiro 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo moderado de energia • Maior custo

Das três tecnologias apresentadas, não há nenhuma capaz de preencher todos os requisitos para um detetor de movimento preciso, com um grande alcance, insuscetível às condições ambientais, de baixo consumo de energia e baixo custo. Portanto, uma combinação de dupla tecnologia deve ser utilizado para melhorar as condições de funcionamento do detetor.

O detetor por ultrassons, devido à sua grande sensibilidade, pode conduzir a falsos alarmes (por exemplo ventos excessivos a que serão expostos nos postes de MAT). Este detetor tem um alcance muito menor que o detetor de micro-ondas, em razão do típico ruído de fundo e da redução considerável do sinal recebido decorrente das perdas do sinal emitido; por outro lado, pela sua natureza ativa, apresenta um consumo de energia que não negligenciável, mormente em comparação com o detetor PIR.

Yavari et al [17] fizeram estudos de comparação das três tecnologias de detecção de movimento: PIR, ultrassons e micro-ondas. Neste estudo, fizeram experiências de detecção de uma pessoa com três camadas de roupa e, posteriormente, com uma camada de roupa a dois metros dos dispositivos sensores, utilizando o movimento para detecção. Este estudo demonstrou que houve grandes falhas de detecção para a pessoa com três camadas de roupa, para os dispositivos PIR e ultrassons, enquanto que, no dispositivo de detecção utilizando micro-ondas não foram detetadas quaisquer falhas de detecção das pessoas. Fazendo uma analogia entre as camadas de roupa usada pela pessoa durante a experiência e a camada de penas que cobrem as aves, pode-se presumir que a tecnologia radar por micro-ondas seja a mais eficaz na detecção de aves em movimento.

Por estas razões, os detetores de micro-ondas e, depois, os detetores PIR destacam-se em relação aos de ultrassons. O segundo tem baixo consumo por causa da sua natureza passiva, e custos reduzidos de implementação. O primeiro tem maior consumo e maior custo de implementação, mas pode ser usado num grande volume de detecção, e mostra ser a tecnologia que melhor consegue detetar aves. Estas tecnologias complementam-se e, se utilizadas em conjunto, permitem detecções mais precisas, evitando falsos alarmes e melhorando a fiabilidade do sistema.

2.2 MÉTODO DE AFUGENTAMENTO DE AVES

Como referido anteriormente, empresas como a REN tem feito esforços para construir inibidores de poiso de aves nos apoios dos seus traçados elétricos, para evitar que cegonhas-brancas façam ninhos nestes apoios, e principalmente evitar que evoluam perto dos isoladores.

Vários métodos, como colocar cordas de *nylon* nos topos dos apoios foram implementados pela REN. Especificamente neste caso, houve uma redução inicial da presença de cegonhas nestes traçados, mas as cegonhas rapidamente aprenderam a conviver com estes fios e, até, a incorporá-los nos seus ninhos. Posteriormente tentou-se uma solução com boias de pescas, presas em fios, de modo a oscilarem com o vento. Nos últimos tempos a solução adotada pela REN no controlo de nidificação de cegonhas tem consistido na instalação de anemómetros nos pontos altos dos apoios (Figura 1). Outras

tecnologias têm sido investigadas e comercializadas para o afugentamento de aves, sendo métodos visuais como os lasers, e sonoros como os ultrassons os que mais se destacam.

2.2.1 Lasers

O uso de lasers para dispersão de aves apenas recentemente recebeu a atenção dos pesquisadores. Em comparação com as restantes técnicas de controlo, os lasers possuem características que se adequam ao meio urbano, sendo leve, portátil, silencioso, de longo alcance e sem nenhum ferimento para as aves, desde que o laser seja de baixa potência. A única desvantagem dos lasers para a dispersão das aves é o seu custo, que é um pouco elevado em comparação com outros métodos.

Glahn et al [18] utilizaram dois dispositivos lasers comerciais na dispersão de aves: o Desman Laser e o Laser Dissuader. Neste artigo relataram que ambos os lasers são igualmente eficazes na dispersão de corvos-marinhos-de-orelhas (*Pharacrocorax auritus*) dos seus poleiros e que não havia dano ocular para distâncias de até 1 m. No entanto, Gorenzel et al [19] advertiu que a eficácia de lasers utilizados como ferramentas de dispersão depende de espécies e do contexto específicos. Este também utilizou os dois dispositivos lasers na dispersão de corvos-americanos (*Corvus brachyrhynchos*), sendo igualmente eficazes na dispersão destas aves dos seus poleiros.

O *Desman laser* (modelo FLR005) é um laser de helio-neon, vermelho (632.8 nm) de 5 mW de potência, com um feixe de diâmetro de 12 mm. Para comparar usaram o *dissuader laser security device*, um laser compacto produzido como um dispositivo para a segurança pessoal. Este dispositivo consiste num díodo laser que produz um feixe de luz vermelho (650 nm), com 68 mW de potência e com um feixe de diâmetro de 76 mm. A diferença destes dispositivos reside na intensidade e no diâmetro dos feixes. O *laser Dissuader* é produzido e distribuído pela SEA Technologies, Albuquerque, NM. O *Desman laser* é distribuído pela Reed-Joseph International, Greenville, MS.

Na maioria dos casos, durante os ensaios, na projeção da luz dos lasers nos poleiros, parecia que todos os corvos marinhos evacuavam os poleiros durante as noites de projeção dos lasers. Ambos os dispositivos lasers mostraram ser igualmente eficazes como ferramentas de dispersão, mesmo o laser Dissuader não havendo sido concebido para esse efeito, provando serem tão eficientes como os artifícios pirotécnicos.

A utilização de laser de luz verde também mostrou ser eficaz na dispersão de aves. A empresa Bird Control Group® produz e distribui dispositivos de dispersão de aves com laser verde, com um efeito tal nas aves que, com um simples apontar da luz na direção delas, faz com que estas abandonem o local. Embora não tenha nenhum documento escrito que comprove a eficácia deste dispositivo, existem vídeos que comprovam a sua eficácia [20]. Segundo a Bird Control, o aproximar dos feixes lasers na direção de aves apela ao seu instinto de sobrevivência, fazendo-as voar imediatamente. Uma empresa Chinesa-Australiana, a Dragon Laser®, também produz e distribui dispositivos laser (verdes e vermelho) a baixo custo e eficazes na dispersão de aves [21]. Na Figura 18 são apresentados dois modelos comerciais de dispositivos comerciais, o *Agrilaser* (laser verde) da Bird Control e o *Spartan 637 nm* (laser vermelho).



Figura 18: Dispositivos lasers de afugentamento de aves comerciais, o *Agrilaser* da Bird Control e o *Spartan 637 nm* da Dragon Laser [22] [23].

2.2.2 Métodos sonoros

Métodos sonoros também são muito utilizados no afugentamento de aves sendo que, alguns serão aqui representados.

2.2.2.1 Artíficos pirotécnicos

Os artifícios pirotécnicos têm sido muito utilizados como método de dispersão de aves. Estes dispositivos recorrem a uma explosão ou a um ruído de alta intensidade para dispersar as aves de uma área, podendo ser acompanhados muitas vezes com efeitos visuais, como um *flash* de luz ou de fumaça. Os dispositivos pirotécnicos são escolhidos de acordo com a facilidade de uso e custo. Estes dispositivos podem ser canhões, bombas de ruído, espingardas ou pistolas, fogos de artifícios ou alarmes eletrônicos

(sendo este ultimo pouco utilizado), produzindo um forte barulho seguido ou não de efeitos visuais ou fumaça.

A maior parte das espécies de aves habitua-se aos ruídos com o passar do tempo, pelo que os dispositivos pirotécnicos devem ser modificados com o passar tempo, para evitar a adaptação das aves.

2.2.2.2 Canhões de gás

Estes dispositivos utilizam canhões sonoros, audíveis a grandes distâncias, com funcionamento a gás, sendo os mais utilizados propano, o gás acetileno e o carbureto. Estes dispositivos produzem explosões extremamente altas, que excedem a explosão de uma espingarda de calibre 12. Este método pode ser muito eficaz em gaivotas, Aves aquáticas e outras aves de caça (associando o barulho como sinal de perigo) [24]. Porém este método é pouco utilizado devido a fácil adaptação das aves a esses sons, sendo que, deslocamentos frequentes e alteração da frequência de detonação poderão combater a adaptação.

2.2.2.3 Ultrassons

Estas fontes de sons não são consideradas como uma opção viável para a dispersão de aves, dispositivo de som de alta frequência (superior a 20 kHz) geralmente não são eficazes em repelir aves, uma vez que a gama de audição das aves é assumida como sendo mais estreita que a dos humanos. No entanto, existem produtos comerciais de repelentes de aves por ultrassons: a Bird-X é uma empresa Norte Americana que produz e distribui um repelente de aves por ultrassons, com frequência entre os 15-25 kHz (Figura 19).



Figura 19: Dispositivo comercial de afugentamento de aves por ultra-sons da Bird-X [25].

2.2.2.4 Bio-sons

Este método consiste na emissão de sons semelhante aos emitidos pelas aves quando estas fazem um pedido de socorro ou alerta de perigo, ou semelhante os sons emitidos pelos predadores naturais das aves. Estes sons têm alguma eficácia no afastamento das aves, pois estas interpretam estes sons como sinal de perigo e fogem. Estes sons têm sido explorados para repelir aves de capoeiras em locais urbanos e rurais, lagoas de criação de peixes, pistas de aeroportos, ambientes agrícolas e outros locais. Esses sons devem ser reproduzidos de preferência por sistemas em movimentos e por um período curto de tempo (15 a 20 segundos) para evitar a adaptação. Sistemas fixos não se têm revelados ineficazes com o passar do tempo em vários países. A combinação com outros métodos como a pirotecnia têm-se mostrado bastante eficazes em diversos países.

2.2.3 Outros métodos utilizados

Muitas cidades sofrem de problemas do grande número de aves que fazem ninhos nos edifícios e os cobrem com dejetos. Um método de baixo custo para evitar que ninhos sejam feitos consiste em utilizar espigões para proteger possíveis locais de poleiro e de nidificação das aves como janelas, saídas de chaminés, telhados, etc. Um outro método muito utilizado é de aplicar pequenos choques elétricos, utilizando cercas elétricas nos bordos dos edifícios. Segundo os fabricantes destes dispositivos, ao receberem um choque elétrico, as aves emitem um sinal de socorro que induz a aflição nas outras aves. Este método é ilegal em muitos países, considerando que afeta a integridade física das aves. Em [26] foi proposto um método de afugentamento de aves com recurso a ondas ultrassónicas e a choques elétricos.

2.2.4 Abordagem seguida

Dos métodos de afugentamento antes abordados, pretende-se utilizar lasers no afugentamento de aves em detrimento dos outros. O laser no afugentamento de aves possui algumas vantagens em relação aos outros métodos por ser silencioso, demonstrar ser eficaz, sendo uma forma de afugentamento de fácil construção e controlo, podendo ser facilmente integrado com um dispositivo de deteção de aves, para que o sistema

funcione sem manutenção e de uma forma autónoma por longos períodos de tempo. Porém, este método também possui desvantagens, por ser uma tecnologia cara e com um consumo energético considerável.

2.3 MÉTODOS DE ALIMENTAÇÃO EM POTÊNCIA

Nos dias de hoje, a tendência é de substituir as baterias nas redes de sensores sem fios por métodos de captação de energia do meio envolvente. De facto, as baterias tornam-se um inconveniente quando se tem uma rede de sensores composto por um grande número de dispositivos, tornam-se difícil e onerosa a substituição de todas as baterias ao fim de alguns poucos anos. Deste modo, o recurso a tecnologias para captar energia do meio envolvente e armazena-la para satisfazer as necessidades energéticas das unidades, garantindo autonomia plena, torna-se fundamental. Da multiplicidade de métodos e tecnologias de captação de energia do meio envolvente, em postes AT e MAT as mais promissoras são as seguintes:

- Por uma fonte luminosa - painel solar;
- Por indução eletromagnética, aproveitando os intensos campos magnéticos que fluem a partir dos condutores dos traçados de AT e MAT.

2.3.1 Método de alimentação por fonte luminosa - Painel solar

2.3.1.1 Célula fotovoltaica

Uma célula fotovoltaica (PV) é um dispositivo semicondutor que transforma a luz solar nele incidente em energia elétrica. Este fenómeno dá-se o nome de efeito fotovoltaico. A energia elétrica gerada nestes dispositivos depende de vários fatores como: a localização do sol, o nível de radiação incidente e da temperatura ambiente.

Um exemplo construtivo de uma célula PV de silício encontra-se ilustrada na Figura 20, que, na parte superior, mostra um semicondutor (silício) do tipo n dopado com átomos com 5 eletrões de valência, normalmente o fósforo, e, na parte inferior é constituída por um semicondutor do tipo p (silício) dopado com átomos com 3 eletrões de valência, normalmente o boro. Estes dois semicondutores formam uma junção p-n que serve para criar um campo elétrico dentro da célula PV. Se um fotão incidente tiver

energia bastante para deslocar um elétron da banda de valência para a banda de condução, o elétron iniciará uma corrente elétrica.

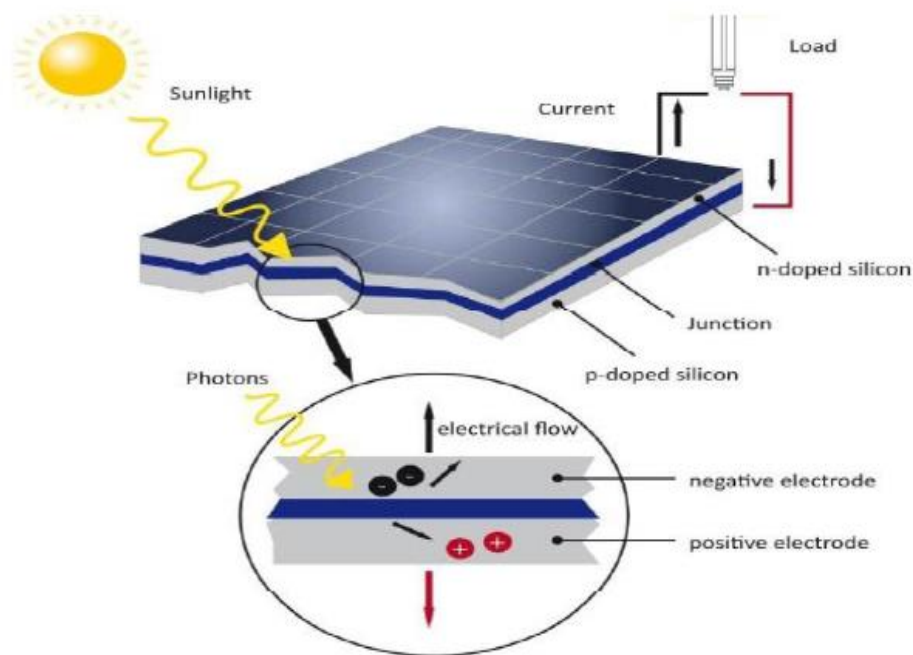


Figura 20: Esquema do funcionamento de uma célula PV [27].

2.3.1.2 Painel solar fotovoltaico

Uma única célula PV tem uma capacidade reduzida de produção de energia elétrica, e, portanto, são associadas diversas células PV, através de ligações em serie e em paralelo, formando painéis solares fotovoltaicos com rendimentos de até 20%. Um painel solar pode ser caracterizado pelos seguintes parâmetros:

- **Corrente de curto-circuito (I_{sc})** – valor máximo da corrente gerada no painel solar em curto circuito, ou seja, com tensão de saída nula;
- **Tensão de circuito aberto (V_{oc})** – valor máximo da tensão aos terminais do painel solar, em vazio;
- **Ponto de máxima potência (MPP)** – para cada ponto da curva I-V, corresponde a um valor de potência gerada nesta condição de operação. O valor de MPP corresponde ao ponto máximo da curva I-V;
- **Tensão de máxima potência (V_{max})** – valor da tensão do MPP;
- **Corrente de máxima potência (I_{max})** – valor da corrente do MPP.

Na Figura 21 encontra-se representado a curva I-V de um painel solar e os parâmetros que o caracterizam.

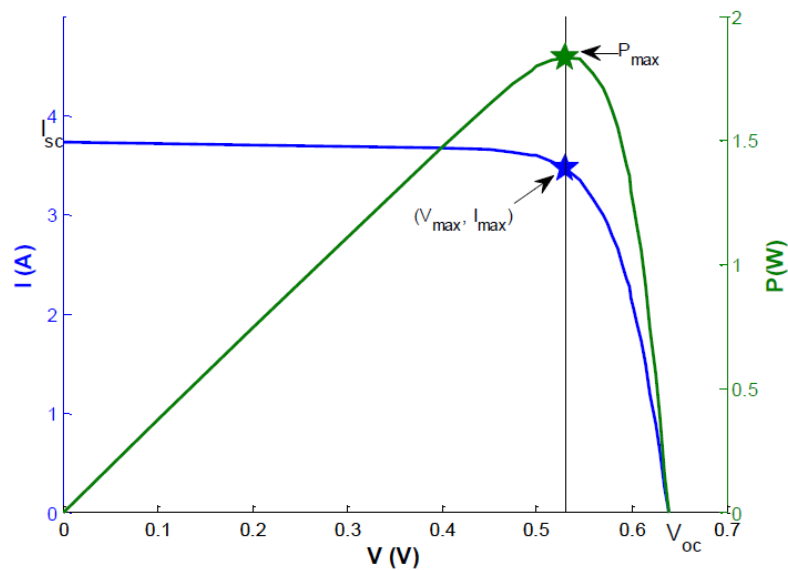


Figura 21: Curva I-V de um painel solar e representação do ponto de máxima potência (MPP) [28].

O tipo de painel solar é determinado pelas células PV que constituem o painel. Existem quatro tecnologias de células PV de silício que compõe os painéis:

- **Monocristalina** - Esta tecnologia de painel solar corresponde à primeira geração e utiliza um único processo de cristalização de silício, com grau de pureza muito elevada; sendo eficiente do ponto de vista energético, as técnicas utilizadas na sua produção são complexas e caras (rendimento típico entre 13 e 16%);
- **Policristalina** - Esta tecnologia apresenta maior débito de potência de saída quando a radiação solar média incidente é muito elevada, mas, para baixas radiações incidentes, a potência de saída é menor que em painéis monocristalinos [29]. Tem menor custo que a monocristalina, mas, em contrapartida, tem um rendimento energético menor. Estes painéis solares são feitos de vários pequenos cristais de silício, diminuindo a pureza do material e consequentemente o seu rendimento (rendimento típico entre 10 e 13%);

- **Silício amorfo** – Esta tecnologia utiliza menos silício na produção da célula e menos custos na produção de células PV, porém o rendimento energético desta tecnologia é inferior às outras tecnologias (rendimento típico entre 3 e 6%). Esta tecnologia utiliza uma pequena película de silício sobre vidro ou plástico, formando painéis com áreas maiores que os restantes.
- **Híbrido** – Esta tecnologia é uma mistura da tecnologia de painel solar monocristalina e de silício amorfo, composta pelo material monocristalino coberto com uma camada de película fina, obtendo rendimentos maiores (rendimento de até 20%).



Figura 22: Imagem das três tecnologias de painel solares [30].

2.3.2 Método de alimentação por indução eletromagnética

Investigadores têm explorado a possibilidade de extrair energia a partir dos campos eletromagnéticos. Os campos eletromagnéticos compreendem campos elétricos e magnéticos. A conversão de campos eletromagnéticos de alta frequência em eletricidade é tipicamente efetuada através de antenas. A conversão de campos de baixa frequência, como é o caso dos campos eletromagnéticos encontrados nos postos de MAT que com frequência de 50 Hz, pode ser feita através de indução magnética.

Quando um condutor é alimentado com uma fonte de potência alternada, um campo magnético variável é gerado em torno do condutor. Se uma espira ou um conjunto de espiras formando uma bobina estiver suficientemente próximo do condutor, uma porção deste campo magnético criado é convertido numa força eletromotriz, induzindo uma corrente na espira ou bobina, sendo esta corrente tanto maior quanto maior for o número de espiras da bobina. A este fenómeno denomina-se indução magnética e traduz a lei de Faraday que diz que, sempre que houver uma variação de fluxo magnético que atravessa uma bobina, uma força eletromotriz é induzida na bobina

com magnitude proporcional ao número de espiras da bobina e da taxa de variação do fluxo. A indução magnética é utilizada em transformadores e geradores elétricos.

Alguns autores têm reunido esforços na captação de energia de campos eletromagnéticos criados em torno de condutores de energia elétrica, para alimentar dispositivos sensores responsáveis pela monitorização de parâmetros como corrente, tensão, temperatura, etc., em instalações de transporte e distribuição de energia elétrica. Nestes casos, o conversor de energia utilizado é tipicamente um transformador de corrente ou um concentrador de fluxo magnético para obter uma corrente induzida. O concentrador de fluxo, como o nome indica, consiste numa bobina com muitas espiras (centenas a milhares), com um núcleo ferromagnético de elevada permeabilidade magnética, que permite concentrar um maior número de linhas campo magnético no interior da bobina, deste modo aumentando o fluxo de campo magnético no seu interior (Figura 17).

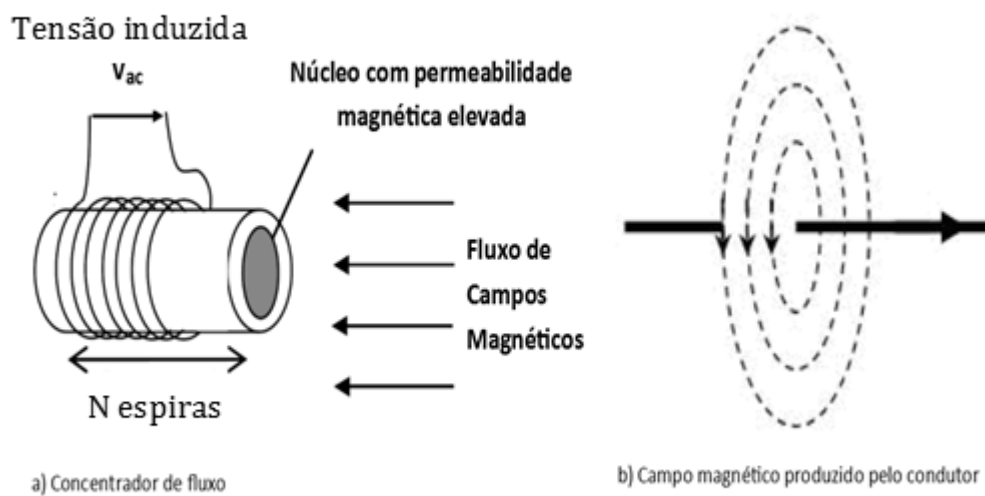


Figura 23: Funcionamento de um concentrador de fluxo de campos magnéticos na conversão energética.

Moghe et al [31] mostra uma solução com um concentrador de fluxo que não precisa de abraçar o condutor (indutor), utilizado para alimentação e medição de temperatura de um sensor de temperatura e corrente em traçados de AT. Este dispositivo utiliza um concentrador de fluxo com núcleo em X, com 300 espiras, funcionando com correntes indutoras entre os 60 e 1000 A, sendo a energia coletada

armazenada num supercondensador de 1F. Os dados são transmitidos através de uma rede zigbee, sendo que para correntes de 100 A, o sistema funciona continuamente com um *duty cycle* de 1 minuto. Do mesmo modo, Roscuc et al [32] mostra a validação do modelo de captura de energia através de um concentrador de fluxo, utilizando os campos magnéticos produzidos em traçados de AT. O sistema utiliza uma bobina cilíndrica, com 5000 espiras, com um núcleo de ferro com cerca de 0,5m de comprimento. Esta energia é depois utilizada para alimentar um sensor de temperatura utilizado para monitorizar variáveis na rede.

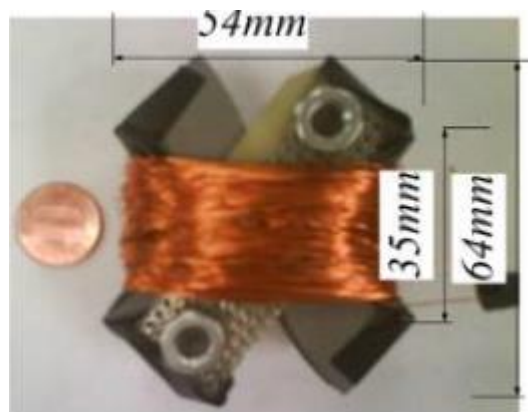


Figura 24: Imagem de um concentrador de fluxo em X.

Zangle et al [31] consegue demonstrar a viabilidade da obtenção de energia para alimentação de um dispositivo de monitorização *online* das condições de uma linha de AT, bem como o funcionamento de dispositivos nas proximidades, através do aproveitamento dos campos elétricos criados nas proximidades desta linha.

Estes estudos viabilizam a utilização de conversores abertos de captação de energia; porém, existem outras soluções que utilizam conversores fechados do tipo transformadores de corrente. Fuliang et al [26] utiliza uma solução para captação de energia para alimentar um dispositivo para repelir aves em traçados de alta tensão, utilizando ultrassons, choques elétricos e bio sons. O dispositivo é alimentado por indução dos campos magnéticos produzido pelas correntes nos condutores, envolvendo estes e funcionando como transformador de corrente em que as linhas constituem os primários.

Bhuiyan et al [33] propôs um acoplador de energia para sensores sem fios, podendo colher energia a partir dos campos magnéticos gerados por um condutor. A conversão de energia é feita a partir de um enrolamento, com centenas de espiras muito

finas, paralelo ao eixo do cilindro em torno de um núcleo feito de algumas camadas de materiais flexíveis com alta permeabilidade. O núcleo contém uma fenda permitindo ter uma maior flexibilidade na colocação do sensor em qualquer lugar ao longo do condutor.

A capacidade de o conversor de energia envolver ou não o condutor é de grande importância. Para traçados de alta e muito alta tensão, o envolvimento do condutor não é permitido, pelo que há que conseguir uma solução com um grau de acoplamento magnético suficiente para captar a energia necessária, sem envolver os cabos dos traçados.

2.4 CONCLUSÃO

O dispositivo de afugentamento de aves terá um consumo energético moderadamente elevado, devido à tecnologia de afugentamento escolhido (laser), que, ainda assim, requer um nível considerável de energia. Embora a tecnologia de alimentação em potência por painel solar tenha a limitação de apenas coletar energia durante o dia, isto não constitui um problema para este projeto, já que as cegonhas são aves diurnas e não têm atividade durante a noite. A tecnologia de painéis solares, encontrando-se bem consolidada no mercado, com painéis solares de tamanhos e tensões de funcionamento variados, não apresenta dificuldade na satisfação das necessidades energéticas do dispositivo. Já o método de alimentação em potência por indução, utilizando um concentrador de fluxo magnético, requereu estudo e desenvolvimento tecnológico no âmbito deste trabalho, a fim de poder servir dispositivos diversos em condições de instalação similares.

3 MÉTODOS DE DETEÇÃO DE AVES

Neste capítulo é feita uma abordagem prática às diferentes tecnologias de detecção de presença referidas no capítulo anterior, especificamente aplicadas à detecção de aves, nomeadamente de cegonhas: pretende-se testar a detecção de alvos, o alcance dos dispositivos sensores para diferentes alvos, para que a tecnologia escolhida seja a mais eficaz e fiável na detecção de cegonhas.

3.1 DETEÇÃO DE AVES POR ULTRASSONS

Aqui, pretende-se avaliar o desempenho da tecnologia da detecção de movimento por ultrassons. Para maior simplicidade e melhor gestão de recursos, optou-se por utilizar um dispositivo sensor ultrassónico inteligente comercial, tipicamente utilizado para medir distâncias. O dispositivo sensor utilizado é o *Ultrasonic Ranging module HC-SR04* (Figura 25), que é constituído por um oscilador de 40 kHz, um altifalante e um microfone sintonizados para esta banda de frequência (Figura 25).



Figura 25: Módulo ultrassónico utilizado na detecção de presença.

Este dispositivo contém quatro pinos: o pino Vcc, para a alimentação do módulo a 5V, o pino Trig, de entrada de impulsos de *trigger*, o pino Echo, para saída do impulso de eco recebido, e o pino de terra.

Em conjunto com o módulo ultrassónico, utilizou-se um *kit* de desenvolvimento MSP-EXP430G2 da TEXAS INSTRUMENTS®, que permite desenvolver pequenas

aplicações, de forma simples e económica, com microcontroladores da gama MSP4030G2xx, para prototipagem rápida. O microcontrolador utilizado é o MSP430G2553, de muito baixa potência, que foi alimentado a 3,3 V, dispendo de 512 *bytes* de RAM e 16 kB de memória *flash*, memória mais que suficiente para o *download* do *software* de controlo do módulo ultrassónico.

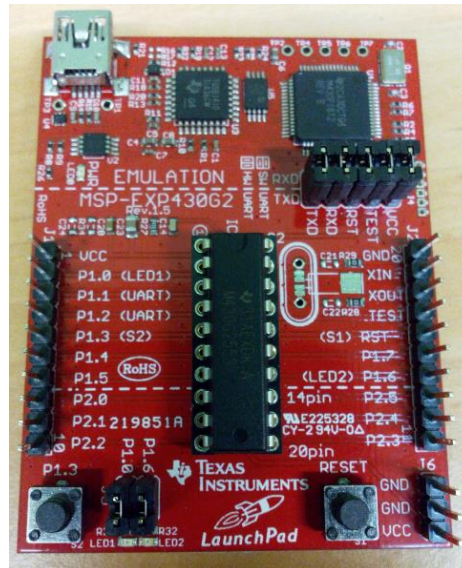


Figura 26: Imagem da placa de desenvolvimento da TI com o microcontrolador MSP430G2553.

3.1.1 Funcionamento do sistema

O funcionamento do sensor inteligente de deteção de movimento por ultrassons é composto por duas partes essenciais: o módulo ultrassónico e o microcontrolador. A ligação entre o módulo ultrassónico e o microcontrolador é feito através dois circuitos, como mostra o diagrama de blocos da Figura 27. Primeiramente, o microcontrolador envia um sinal de *trigger* de 10 μ s mínimo, indicando o início da medição e transmissão de dados. Depois do início, o transdutor ultrassónico emite oito impulsos de 40 kHz e, sempre que as ondas incidem num obstáculo, o sinal de eco é enviado de volta para o detetor, sendo captadas pelo microfone. Por fim, o módulo envia um impulso ao microcontrolador (pin *Echo*), que é proporcional ao “tempo de voo” da onda ultrassónica. Este impulso indica a presença de aves dentro da zona de deteção do sensor, ativando uma saída digital do micro, de alarme. Este processo é feito repetidamente, com um período de 100 ms, ou seja, com uma frequência de 10 Hz. A Figura 28 representa o diagrama de tempo do dispositivo sensor.

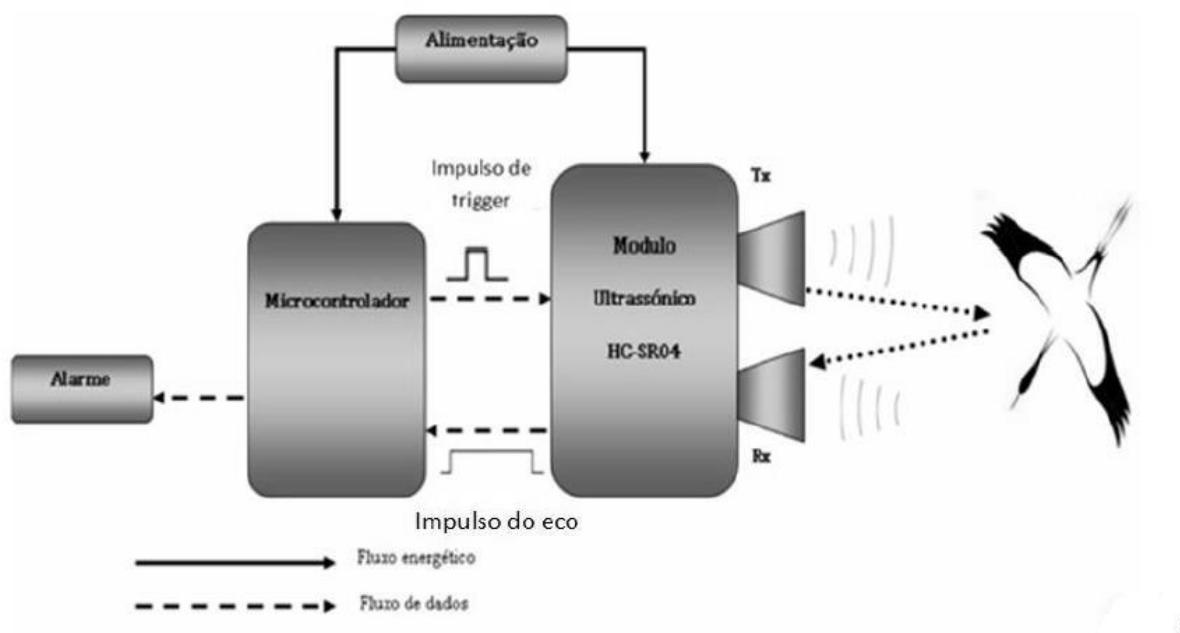


Figura 27: Diagrama de blocos do funcionamento do dispositivo sensor inteligente de detecção de aves.

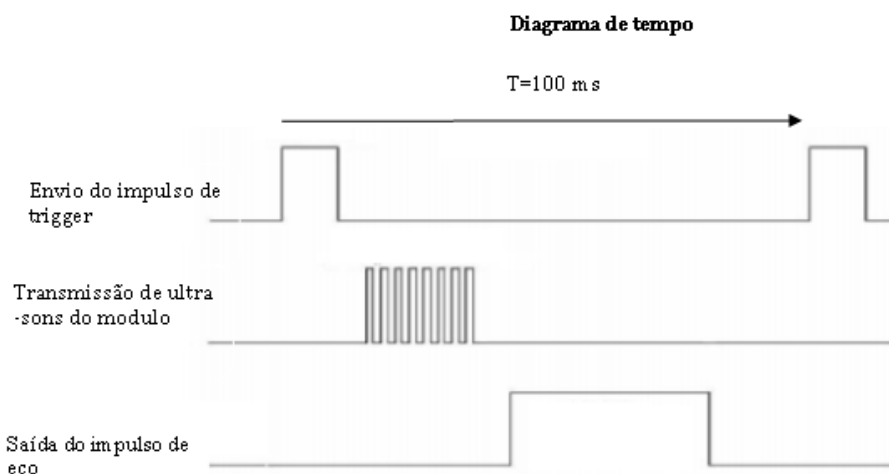


Figura 28: Diagrama de tempo do dispositivo sensor ultrassónico.

3.2 DETEÇÃO DE AVES POR DUPLA TECNOLOGIA DE MICRO-ONDAS – PIR

Nesta secção pretende-se avaliar o desempenho da tecnologia de micro-ondas na detecção de aves, recorrendo a um dispositivo sensor comercial, DT8016MF4 da Honeywell®. Este dispositivo utiliza uma combinação de dupla tecnologia, utilizando a tecnologia radar de micro-ondas e detecção de infravermelhos, de modo a aumentar a

eficácia do sensor e evitar falsos alarmes. O radar de micro-ondas opera na banda X de 10,525 GHz. Este dispositivo foi concebido para aplicações de segurança, na deteção de intrusos, sendo o alcance espacial máximo deste sensor de 16 (comp) x 22(larg) m.



Figura 29: Imagem do dispositivo sensor inteligente PIR-Micro-ondas utilizado.

3.2.1 Funcionamento do sistema

A componente de micro-ondas do sensor utiliza o efeito de Doppler na deteção de movimento, ao emitir periodicamente micro-ondas e aguardar o retorno do sinal de eco, detetando alteração na frequência do sinal caso exista um alvo em movimento dentro da zona de deteção do sensor. O detetor PIR deteta movimento sempre que um corpo entra na zona de deteção do sensor, havendo variação da quantidade de radiação IV e consequentemente variação na saída do sensor de IV.

Quando estas duas tecnologias de deteção detetarem um alvo, em simultâneo, um sinal de alarme é ativado pelo sensor, como ilustrado no diagrama de blocos da Figura 30.

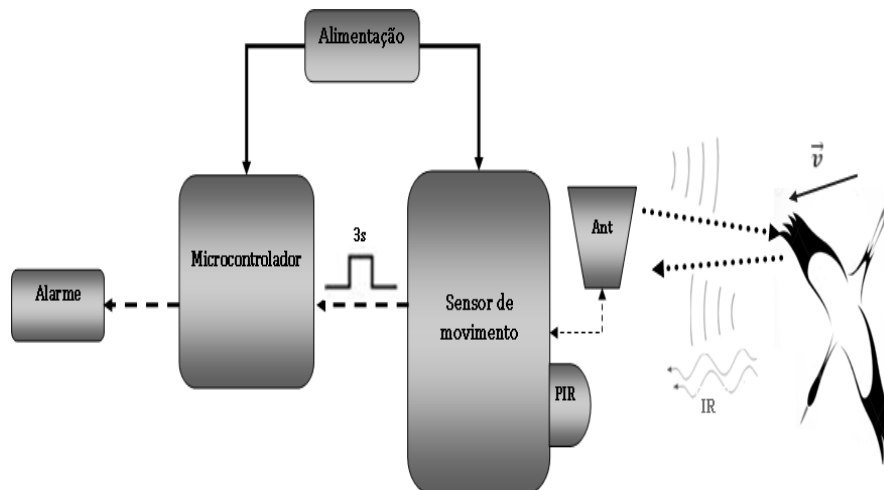


Figura 30: Diagrama de blocos do dispositivo sensor inteligente PIR-Micro-ondas.

O sensor tem de uma saída digital e, caso seja detetado movimento pelos dois sensores, haverá uma transição de estado na saída do sensor, ativando um impulso com 3s de duração.

3.3 DETEÇÃO DE AVES POR ÍNFRAVERMELHOS – SENSOR DE TERMOPILHAS GRID-EYE.

O dispositivo sensor utilizado para a deteção de aves por IV é o Grid-Eye da Panasonic®. Este dispositivo MEMS inteligente composto por um agregado de sensores de IV com 64 termopilhas disposto numa rede de 8x8, ou seja 64 *pixel*. Contém um termístor interno e um circuito integrado usado para medir temperatura. Para o funcionamento do Grid-Eye são precisos 4 conexões: Vdd para a alimentação do dispositivo a 3,3 V, GND e as linhas DAS E SCL da comunicação I2C com o micro. Este sensor de infravermelhos foi concebido para diversas aplicações, como deteção de movimento, presença e temperatura, em aplicações de segurança e iluminação, etc...

Para avaliação do desempenho deste dispositivo, utilizou-se o Grid-Eye Evaluation Kit concebido para uma maior rapidez na prototipagem e desenvolvimento de aplicações com o sensor. Este *kit* é composto pelos seguintes componentes: o sensor Grid-Eye, um módulo de comunicação *Bluetooth* PAN1740 da Panasonic®, de muito baixa potência, podendo criar aplicações de sensores sem fios, e um microcontrolador ATSAM21 da Atmel®. Estes componentes encontram-se dispostos num único PCB alimentado pela porta micro USB, a 5 V. Na Figura 31 encontra-se uma imagem da placa e do sensor Grid-Eye.

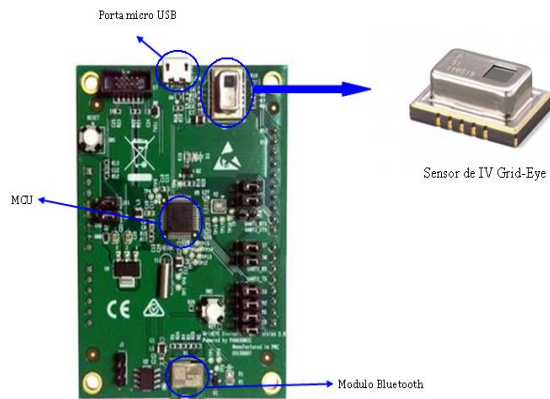


Figura 31: Imagem da placa de avaliação do sensor de IV Grid-Eye.

O dispositivo tem dois modos de funcionamento, sendo que se utilizou o modo Arduino para testes.

3.3.1 Funcionamento do sistema

O funcionamento do dispositivo está representado no diagrama de blocos da Figura 32. Esta placa de avaliação necessita de um complemento auxiliar para funcionar e poder estabelecer a comunicação com o computador.



Figura 32: Diagrama de blocos de funcionamento do kit de avaliação do Grid-Eye como Arduino [34].

O Arduino Due inicia a comunicação I2C com o sensor Grid-Eye, recolhe informação de todos os pixels do sensor, envia para o microcontrolador que transmite estes dados para o computador para avaliação, com uma frequência de 10 Hz. Devido a problemas de compatibilidade encontrados aquando da instalação de *drivers*, só se conseguiu avaliar o dispositivo com o programa de demonstração fornecido pela empresa, que, através da imagem térmica recebida, permite verificar a variação de infravermelhos detetado pelo sensor.

3.4 TESTES E RESULTADOS

Os testes foram feitos com o intuito de saber o alcance máximo de cada sensor das diferentes tecnologias utilizadas, de modo a escolher a tecnologia que se adapta melhor aos objetivos e às condicionantes específicas do projeto.

Como já foi referido no Capítulo 2, a deteção de presença por ultrassons apenas oferece bons resultados em pequenas distâncias. Para avaliar o desempenho de sensores ultrassónicos na deteção de presença de aves, fizeram-se testes na zona do Parque Verde do Mondego para detetar a presença de patos, uma vez que é difícil conseguir fazer testes com cegonhas.

Primeiramente verificou-se o sinal de *trigger* emitido pelo microcontrolador e o sinal recebido com a indicação do tempo de voo da onda, para verificar se o sensor ultrassónico estava em perfeitas condições, cujo resultado está representado na Figura 33, sendo o sinal superior correspondente ao impulso de saída do micro e o inferior ao sinal recebido aquando da deteção de um alvo. Optou-se inicialmente por fazer testes para detetar o alcance máximo do sensor, no interior de edifícios, com pessoas. Posteriormente, fizeram-se os mesmos testes para determinar o alcance máximo do dispositivo sensor no exterior, em campo aberto. Para simular a deteção de cegonhas fez-se testes no rio Mondego, com patos, na perspetiva de que, tendo estes uma envergadura menor e sendo detetados pelo sensor, com certeza que as cegonhas, com um tamanho maior, também serão detetadas. Os resultados obtidos foram de 2m para pessoas no interior, 1,87m e 1,5m respetivamente para pessoas e patos no exterior.

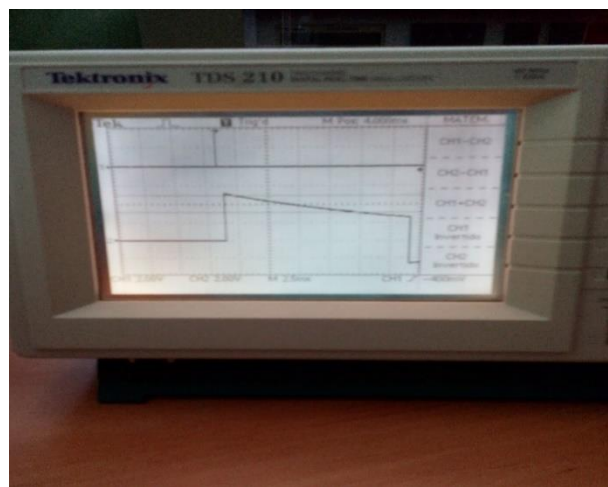


Figura 33: Teste de verificação do bom funcionamento do sistema de deteção.

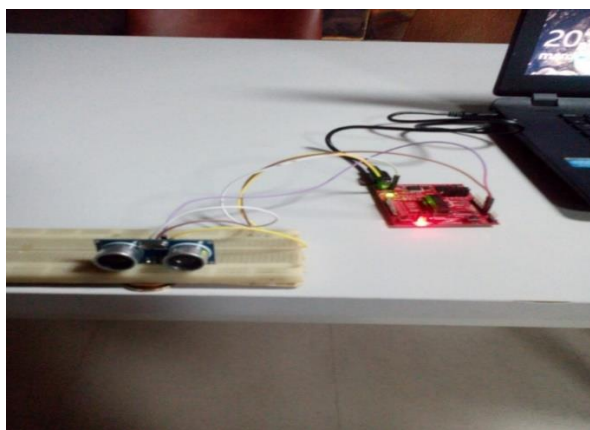


Figura 34: Imagem ilustrativa da montagem para os testes com pessoas no interior.

Testes feitos pela empresa Eneida® na detecção de aves também tiveram os mesmos resultados, com um dispositivo sensor inteligente representado na Figura 35, operando com base em tecnologia de ultrassons. Também foram feitas experiências, no Parque Verde do Mondego, na detecção de patos e conseguiram detetar patos a distâncias de 1-1,5m. O objetivo também era de afugentar aves e, para isto, utilizaram um díodo laser verde, sem resultados relevantes. Embora a potência do laser fosse de 50 mW, este não era focado, havendo, assim, uma dispersão muito grande da potência do laser, num espaço de cerca de 22° na vertical e 7° na horizontal, e, conseqüentemente, tendo um efeito negligenciável nos patos.

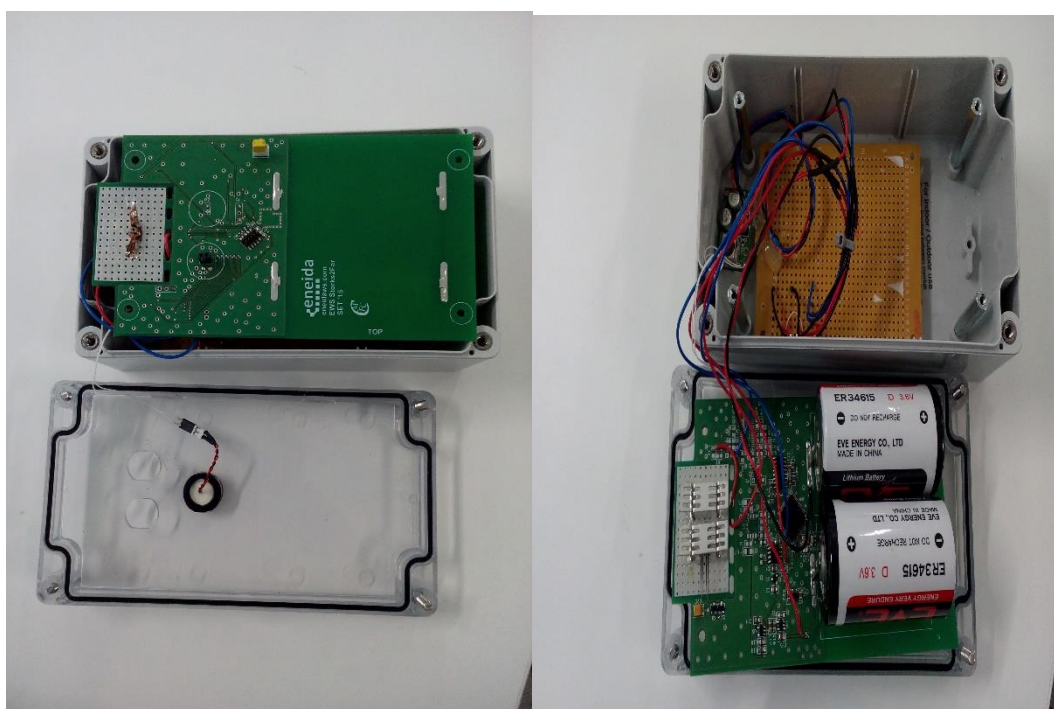


Figura 35: Dispositivo produzido na eneida para detecção e afugentamento de aves.

Com o sensor Grid Eye fez-se uma avaliação do dispositivo, a partir da avaliação da imagem térmica produzida pelo *array* de termopilhas do dispositivo. Em ambientes de interior, os resultados não foram muito satisfatórios, já que este sensor tem um baixo alcance em comparação com o outro dispositivo de infravermelhos piroelétrico utilizado (apenas 5 m); no interior conseguiu-se detetar pessoas a distâncias entre 3 e 4m. No exterior não se conseguiu obter resultados conclusivos, mesmo com uma pala protetora de, aproximadamente, 20 cm, já que uma mínima variação da radiação ou uma rajada de vento fazia variar o sensor.

Outros testes com o dispositivo sensor de dupla tecnologia (PIR e micro-ondas) foram feitos com um galo, não havendo sido utilizado o sensor ultrassónico por, certamente, conduzir aos mesmos resultados que anteriormente. Inicialmente, a deteção de presença pelo dispositivo PIR não teve o efeito desejado devido ao elevado nível da radiação infravermelha da luz solar ambiente, embora tivesse uma pala protetora. Portanto, nesta fase só foi avaliado o funcionamento da tecnologia micro-ondas na deteção. Para diminuir a sensibilidade do PIR aos infravermelhos construiu-se uma pala de cartão ainda maior, com cerca de 20cm de comprimento.

Primeiramente, como foi feito com os ultrassons experimentou-se o dispositivo no interior na deteção de pessoas. Posteriormente foram feitos testes no exterior na deteção de pessoas e de animais, nomeadamente um galo, ovelhas, coelhos (Figuras 36 e 37). Os resultados estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados obtidos para o sensor de dupla tecnologia na determinação do alcance.

	Pessoas no interior	Pessoas no exterior	Ovelhas no Exterior	Coelhos no exterior	Galo no exterior
Microondas (alcance)	26m	11m	10m	6 a 7 m	6 a 7 m
Infravermelho (alcance)	-	9m	-	-	4m

Para conseguir medir o alcance máximo do sensor, colocou-se o galo numa jaula com grades (Figura 36) pois, uma vez que o dispositivo de micro-ondas trabalha com base no efeito de Doppler, as grades não perturbam o seu funcionamento, por serem estáticas.



Figura 36: Testes na deteção de um galo para determinação do alcance do sensor.



Figura 37: Deteção de coelhos no primeiro dia de testes.

3.5 CONCLUSÃO

Dos testes feitos nos dispositivos sensores de detecção de presença por ultrassons e por infravermelhos através do Grid-Eye, com alcance e funcionamento inferiores aos pretendidos, pode-se concluir que estes dispositivos não se inserem nas especificações impostas para a detecção de cegonhas em voo de aproximação e resolução do problema apresentado. Por estas razões a escolha da tecnologia de detecção caiu sobre o dispositivo de dupla tecnologia.

Das considerações feitas no capítulo dois, e depois de ter feito os testes, pode-se observar o já esperado de que a tecnologia de detecção de cegonhas por micro-ondas é a que apresenta maior eficácia e maior fiabilidade. Comparando os resultados obtidos com o galo, pode-se concluir que a detecção da presença de cegonhas pelo dispositivo de dupla tecnologia pode chegar a valores superiores aos que foram encontrados, já que as cegonhas têm envergaduras físicas muito maiores — as cegonhas adultas medem, em média, de 1 a 1,15 m da ponta do bico até ao fim da cauda e 1,55 a 2,15 m de envergadura de asas. Sendo a distância máxima dos detetores de presença por micro-ondas proporcional a área do objeto, o resultado será, pois, melhor para cegonhas. Como já foi descrito no Capítulo 2, aos dispositivos PIR serão mais eficazes quando o pássaro é apanhado em voo, com as asas abertas, enquanto que, no caso do galo, este encontrava-se com as asas recolhidas. Para que a eficácia do dispositivo aumente, este terá uma estrutura de proteção de modo a proteger o PIR da radiação infravermelha provenientes da luz solar ambiente. Esta estrutura será cónica, de modo a não interferir com a área de detecção do sensor, com um comprimento de cerca de 20 cm. Ainda assim, havendo determinadas horas em que a luz solar incida diretamente no PIR, sem proteção possível, o sistema poderá ser programado para que, durante este tempo, o PIR esteja desligado, ficando só o sensor de micro-ondas ativo.

4 MÉTODO DE AFUGENTAMENTO DE AVES – LASER

Para o afugentamento de aves, procurou-se um método de fácil operação e que não seja intrusivo no dia-a-dia das pessoas que possam habitar perto da região de instalação do dispositivo. Assim, determinou-se que o afugentamento seria feito através de lasers, a serem ativados sempre que uma ave seja detetada pelo dispositivo. O dispositivo completo é, assim, constituído por três partes principais (Figura 38):

- **Módulo de deteção** – constituído pelo sensor de presença inteligente com o respetivo processamento do sinal (filtragem e amplificação) feito no sensor;
- **Módulo de controlo e atuação** – constituído por um microcontrolador que recebe o sinal analógico ou digital do módulo de deteção, toma as decisões e é responsável pela atuação do sistema, ou seja, pela ativação do laser.
- **Modulo de Alimentação** – responsável pela captação de energia proveniente do meio envolvente do sensor, o seu respetivo armazenamento em supercondensadores e a alimentação em potência de todo o dispositivo.

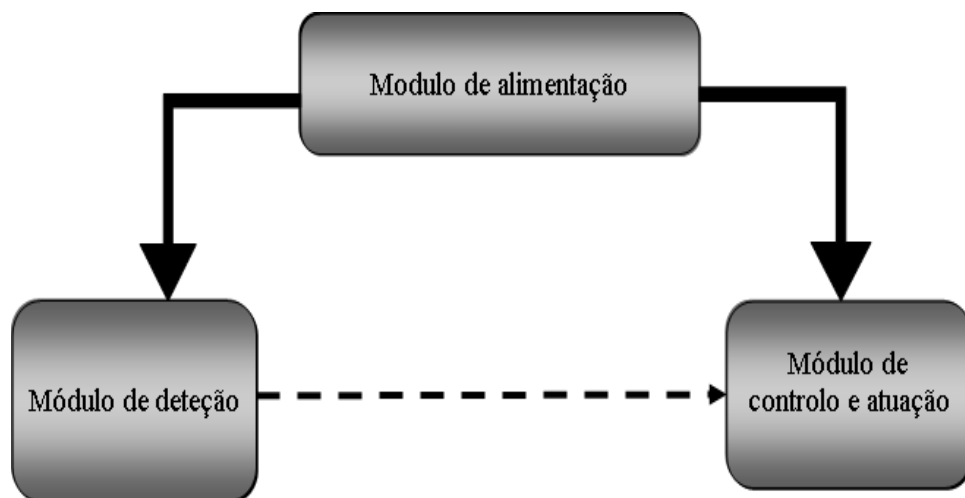


Figura 38: Representação do diagrama de blocos do funcionamento do dispositivo inteligente de deteção e afugentamento de aves.

Baseando nas fontes citadas no capítulo 2, utilizar-se-á um módulo laser vermelho TYS650-L (Figura 39), radiando num comprimento de onda de 650 nm, com uma potência de saída de 50mW@3V e com corrente de operação de 30 mA. O dispositivo contém uma lente ótica que produz um traço luminoso correspondente a um ângulo de abertura de 90°. Pretende-se que este dispositivo tenha uma maior cobertura

no seu espaço de atuação, portanto a lente ótica deste dispositivo poderá vir a ser substituída por uma lente geradora de dois traços em cruz, fazendo 90°.

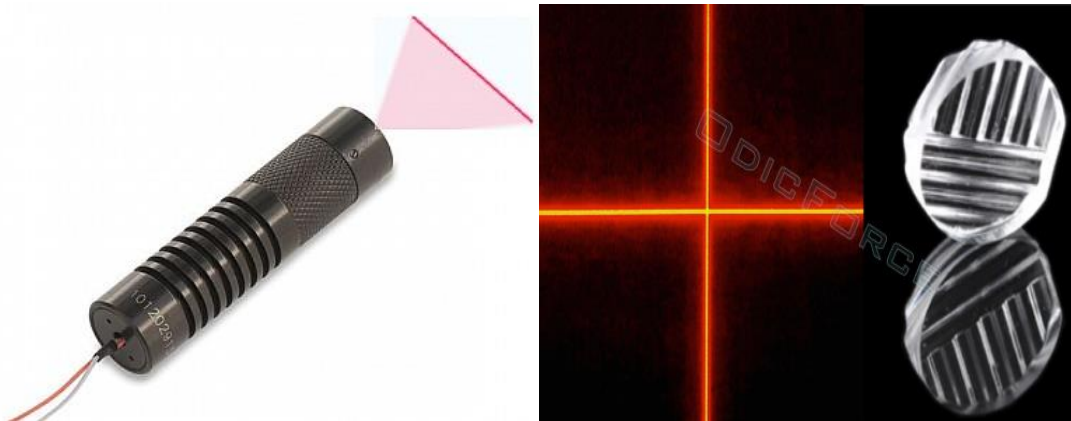


Figura 39: Imagem do dispositivo módulo laser escolhido para o afugentamento de aves.

No Capítulo 2 houve uma referência a feixes laser de luz verde como sendo igualmente eficazes no afugentamento de aves; no entanto, estes dispositivos são muito caros e têm consumos de potência elétrica muito mais elevado para as mesmas potências radiadas, em comparação com os lasers vermelhos, com muita potência dissipada por efeito de Joule. Deste modo, optou-se por usar módulos laser vermelhos para o afugentamento de aves, em detrimento dos lasers verdes.

4.1 VALIDAÇÃO DA TECNOLOGIA DE AFUGENTAMENTO

Na impossibilidade de fazer testes com cegonhas, fez-se testes com galinhas para verificar e validar o funcionamento do método de afugentamento de aves por laser. Para estes testes utilizou-se um laser vermelho, focado, com 3 mW de potência e comprimento de onda de 670nm. Primeiramente, optou-se por testar e ver a reação em galinhas domésticas comuns: a luz do laser, ao ser projetado sobre elas, não teve efeito nenhum. De seguida, fez-se os mesmos testes com outra espécie de galinhas, vulgarmente conhecidas como galinhas de Angola, com poucos meses na capoeira, e, ao projetar a luz do laser sobre estas, elas começaram a ficar bastante agitadas e fugiam da luz do laser.

Pode-se concluir que aves consideradas domésticas e já habituadas a conviver num ambiente humanizado não serão muito afetadas pela luz laser, enquanto que aves mais

selvagens sentirão a influencia do laser e fugirão por se sentirem ameaçadas. Sendo as cegonhas uma ave selvagem, espera-se que esta tecnologia de afugentamento tenha bons resultados com cegonhas.

4.2 SISTEMA DE DETEÇÃO E AFUGENTAMENTO DE AVES

O sistema de afugentamento consiste num sensor inteligente de detecção de pássaros, principalmente cegonhas, capaz de agir automaticamente sobre aves intrusas, através de análise, tomada de decisão e ativação do laser.

Para que o sistema tenha um consumo energético menor e, ainda assim, possa “incomodar” mais cegonhas que se aproximem dos apoios, a luz emitida será pulsada durante um período de tempo de 6 s, em que o módulo laser alternará entre os estados de ligado durante 1s e desligado durante 0,5 s. A Figura 40 representa o diagrama de blocos do módulo de controlo e afugentamento, em que o sistema opera com um *duty cycle* de aproximadamente 67%.

É de boa prática que o circuito do laser seja isolado galvanicamente do circuito do microcontrolador, evitando perturbações entre o dispositivo de saída e o microcontrolador. Portanto, a sua ativação será feita através de um acoplador ótico, como ilustrado na Figura 40.

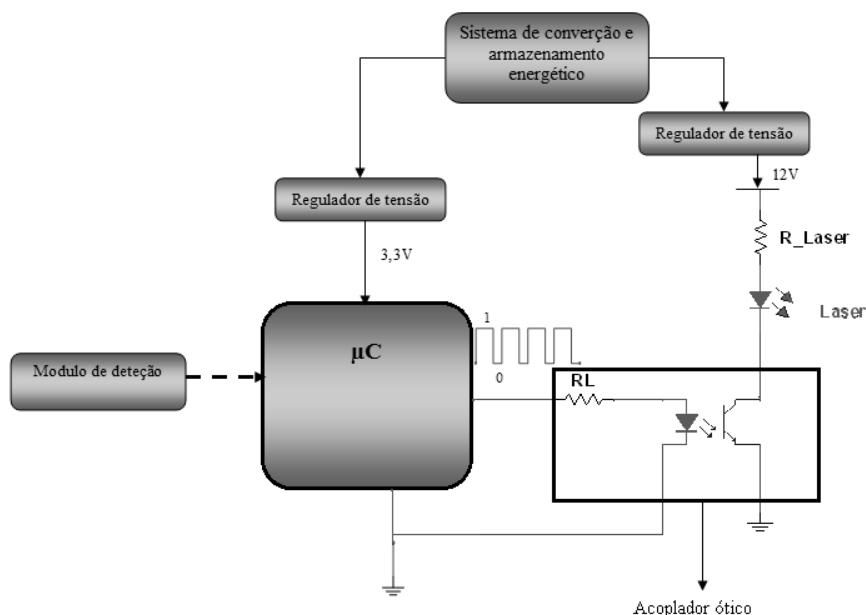


Figura 40: Diagrama de blocos do funcionamento do dispositivo inteligente de detecção e afugentamento de aves.

O microcontrolador escolhido para o controlo do sistema é o MSP430F2417TPM, da Texas Instruments®. Este microcontrolador é um dispositivo de muito baixa potência, alimentado a 3,3 V, consumindo uma corrente de 365 μA em modo ativo, de 0,5 μA em modo adormecido, e de 0,1 μA em modo desligado, para retenção de dados na RAM, permitindo que o dispositivo esteja desligado durante a noite, período de ausência de aves. O microcontrolador possui 94 kB + 256B de memória *flash* e 84kB de RAM, com vários pinos de I/O, permitindo controlar todos os módulos de detecção e de atuação laser, e desenvolver programas de controlo mais elaborados.

O dispositivo de detecção e afugentamento de aves foi projetado para ser instalado no braço dos apoios dos traçados de MAT, dois em cada braço, como mostra a Figura 41. No entanto, existem apoios de muito alta tensão que estão totalmente preenchidos por ninhos de cegonhas e, nestes casos potenciais, pode-se optar por instalar o dispositivo no pilar central dos apoios. De facto, as cegonhas têm a tendência de iniciarem a construção de ninhos nos apoios de muito alta tensão na parte superior destes apoios, sendo, portanto, este dispositivo concebido para ser instalado preferencialmente nos braços destes apoios, de modo a proteger a parte superior, onde a taxa de nidificação é maior, e também proteger os isoladores e os condutores de transporte com tensões entre 150 e 400 kV.

Para evitar que aves se aproximem destes apoios, pretende-se cobrir 3 quadrantes, isto é 270° , como espaço de atuação do dispositivo, já que não é necessário cobrir a área onde se encontra o pilar central, porque o movimento de aproximação nunca será feito por esse ângulo. Para cada quadrante, teremos um sensor de deteção de aves e um atuador laser, que será ativado sempre que intrusos sejam detetados pelo dispositivo sensor inteligente. A cobertura de cada quadrante terá alguns “pontos mortos” de deteção e de afugentamento devido às limitações dos sensores e atuadores, mas as cegonhas para fazer um ninho têm de fazer várias deslocações de ida e volta e, muito provavelmente, nessas deslocações serão detetadas pelo dispositivo, sentindo-se ameaçadas e fugindo do local.

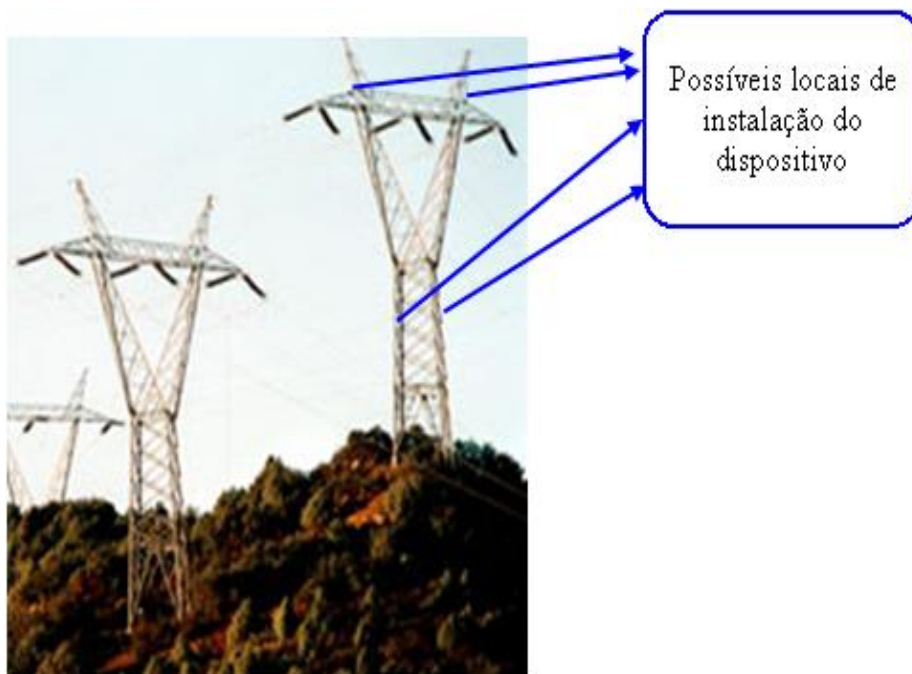


Figura 41: Representação de possíveis locais de instalação do dispositivo.

A instalação deste dispositivo está projetada para que os detetores e o sistema de afugentamento de aves tenham uma inclinação em relação ao plano vertical, fazendo com que a zona de deteção do sensor de presença e o feixe emitido pelo díodo laser estejam sempre apontados para cima, de forma a não perturbar as pessoas que possam habitar nas proximidades.

Em cada ponto de operação, o dispositivo é constituído por 3 detetores de presença e três sistemas de afugentamento a laser, de modo a cobrir cerca de 270° . Com esta forma de funcionamento, o consumo energético do sistema pode tornar-se elevado,

acarretando maior complexidade e custo para uma fonte de alimentação baseada em captação de energia do meio envolvente. Para resolver este problema, o sistema está projetado para que o consumo energético seja minimizado: sendo o detetor de presença por micro-ondas um sensor ativo, este terá um maior consumo energético em comparação com o PIR, que é um sensor passivo, e, por isso, os sensores de micro-ondas serão pulsados e ativados separadamente, em sequência, em que cada um estará ativado durante 1ms. Este procedimento não influenciará a detecção de presenças do dispositivo, já que o tempo entre consecutivas ativações de cada laser é de apenas 2ms. Deste modo podemos ter três dispositivos sensores por micro-ondas com consumo energético de apenas um. Este procedimento só será feito para os detetores por micro-ondas, sendo que o PIR estará sempre ligado, pois requer um maior tempo para a sua ativação e calibração.

5 ALIMENTAÇÃO EM POTÊNCIA DO DISPOSITIVO

A alimentação em potência foi concebida para geração e gestão de energia envolvendo: (i) a captação e conversão de energia do meio envolvente, e (ii) o seu armazenamento em supercondensadores, garantindo a auto-suficiência do dispositivo.

Nos apoios dos traçados aéreos de transporte e distribuição de energia elétrica, a captação energética do meio envolvente pode ser feita de dois modos preferenciais: (i) da luz solar (painel solar), e (ii) aproveitando os intensos campos magnéticos produzidos pelas elevadas correntes elétricas que percorrem estes traçados (indução). Assim, este capítulo trata da construção de uma fonte de alimentação solar e o estudo e validação do método de alimentação por indução.

5.1 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO EM POTÊNCIA ATRAVÉS DE PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO

Os sistemas de conversão da luz solar em energia elétrica para alimentação de dispositivos eletrônicos é dividido em seis partes essenciais: (i) O painel solar, (ii) o controlador de carga, (iii) o MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), (iv) o sistema de armazenamento, (v) o regulador de tensão, e (vi) a carga. Na Figura 42 encontra-se representado o diagrama de blocos do sistema de captação e armazenamento de energia de um dispositivo embebido.

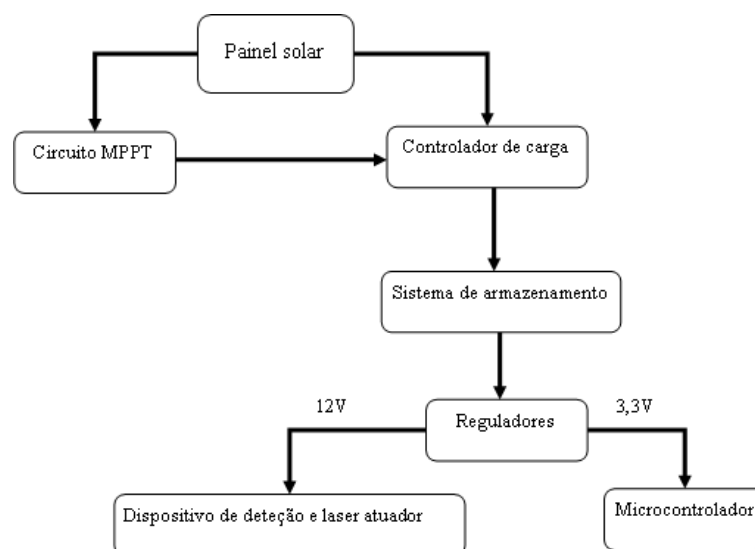


Figura 42: Diagrama de blocos do sistema de captação e conversão energética do dispositivo.

A conversão energética solar em energia elétrica é feita através do painel fotovoltaico, enquanto o circuito analógico de MPPT analisa e regula a quantidade de corrente que carrega o sistema de armazenamento. A tensão de saída do painel é utilizada para alimentar o sistema de armazenamento de energia que, depois de passar por dois reguladores de tensão, fornece as tensões DC para alimentar o dispositivo proposto.

5.1.1 Painel Solar

O dimensionamento do painel fotovoltaico foi realizado de acordo com a procura de potência da carga. A potência coletada pelo painel solar depende da sua área coletora, no sentido em que quanto maior for essa área maior será a potência elétrica fornecida. O painel solar escolhido para alimentar o nosso dispositivo é o KS-M165165G, de construção monocristalino, com uma tensão de funcionamento de 6V, para um valor máximo de corrente de 600 mA, i.e., com uma potência de saída de 3,6W, com dimensão de 165x165 mm e encapsulamento de vidro temperado. O painel consegue debitar potências capazes de satisfazer as necessidades energéticas do dispositivo sem problemas, já que este é programado para ser desligado durante a noite, pois as cegonhas são animais diurnos — a Figura 43 representa o painel solar escolhido. Este painel solar foi utilizado para carregar os supercondensadores, e os testes feitos com este painel solar e com os supercondensadores utilizados estão descritos mais adiante.



Figura 43: Imagem do painel solar proposto para alimentar em potência o dispositivo [35].

5.1.2 MPPT

Os painéis fotovoltaicos apresentam curvas características não lineares, devido às variações climáticas, de irradiação solar e temperatura, sendo que existe a necessidade de desenvolver circuitos capazes de fazer com que o painel solar opere no seu ponto de máxima potência. A técnica de rastreamento do ponto de máxima potência (*Maximum Power Point Tracking* – MPPT) consiste num circuito para maximizar a potência transmitida e, consequentemente, aumentar a eficiência do dispositivo, através do rastreamento das condições da fonte de alimentação, neste caso do painel solar. Existem várias técnicas de MPPT, sendo as mais utilizadas: de tensão constante, de ciclo de “perturba e observa” (P&O) e de condutância incremental, todas apresentando vantagens e desvantagens, dependendo de cada aplicação [36].

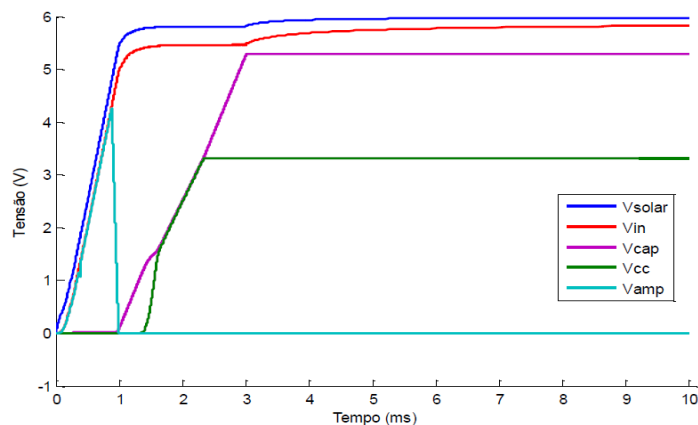


Figura 44: Representação gráfica do funcionamento do circuito MPPT [28].

Neste trabalho, o circuito proposto para o MPPT baseia-se num comparador com histerese, que compara a tensão instantânea no painel solar com uma tensão de referência, cuja tensão na saída controla o regime de carregamento no controlador de carga. O sistema está feito para que o dispositivo só comece a armazenar energia quando a tensão instantânea do painel for igual ou superior à tensão de referência, que corresponde ao MPPT representado na Figura 44. Na Figura 45 pode-se ver uma representação gráfica do circuito proposto para alimentação de um dispositivo sensor alimentado a 3,3 V, com a mesma configuração utilizada para o sistema proposto. O supercondensador só começa a ser carregado quando V_{in} é maior que uma tensão de referência de 4,4 V.

5.1.3 Controlador de carga

O controlador de carga fica entre o painel solar e os supercondensadores, evitando correntes inversas, maximizando a taxa de carga do acumulador e evitando danos devido a sobrecargas, globalmente garantindo que a energia produzida no painel solar seja armazenada com a maior eficácia. São utilizados dois supercondensadores associados em série para o armazenamento de energia do sistema a alimentar. O controlador de carga utilizado foi o LTC3625, permitindo uma corrente de carga de até 1 A e correntes de entrada superiores à corrente máxima fornecida pelo painel solar, de 600 mA.

5.1.4 Sistema de armazenamento – Supercondensadores

O armazenamento energético do sistema, para utilização em dias ou períodos de baixa luminosidade, pode ser feito de duas formas: através de baterias ou supercondutores. Os modernos supercondensadores apresentam capacidades muito elevadas e baixas resistências internas e, apesar das baterias serem os dispositivos de armazenamento mais utilizados no nosso quotidiano, foram utilizados supercondutores em detrimento de baterias, por possuírem varias vantagens de índole prática. Na Tabela 5 encontra-se uma comparação destas duas tecnologias de armazenamento.

Tabela 4: Comparação dos supercondensadores com as baterias [37].

	Supercondensadores	Baterias
Densidade energética (Wh/Kg)	1 a 10	10 a 100
Densidade de potência (W/Kg)	<10000	<1000
Tempo de carga (s)	0,3-30	>1000
Tempo descarga (s)	0,3-30	1000-10000
Ciclo de vida	>10 ⁵	<1000
Tempo de vida (anos)	30	5
Eficiência energética (%)	85-98	70-85
Temperatura de operação (°C)	-40 a 65	-20 a 65

Para além da densidade de potência dos supercondensadores ser maior, com vantagens de tamanho e peso, também as suas baixas resistências internas permitem tempos de carga muito inferiores aos das baterias, e, sobretudo permitem respostas rápidas em casos de rápida variação de correntes de carga, como aqui.

Para dimensionar a capacidade e escolher o supercondutor utilizado, é preciso determinar a energia requerida para o bom funcionamento do dispositivo alimentado. Os supercondensadores de maiores capacidades têm baixas tensões de funcionamento, pelo que, sendo a tensão de funcionamento do sensor de micro-ondas de 12V, foi necessário associar 2 supercondensadores em série e um conversor DC/DC *step-up*.

5.1.5 Regulador de tensão

Os supercondensadores têm uma tensão de saída variável no tempo, e, portanto, reguladores de tensão são utilizados para estabilizar as tensões de alimentação. Sendo a tensão dos supercondensadores em serie inferior à tensão de funcionamento de um dispositivo, recorreu-se a um regulador *step-up* para fornecer os 12V requeridos pelo dispositivo de deteção por micro-ondas/PIR e a um regulador de tensão VLDO (Very Low Dropout) para fornecer os 3,3V necessários para alimentar o microcontrolador. O VLDO escolhido é o LTC4412-3.3, da Linear Technology®. Para a regulação da tensão que será utilizada pelo laser e o dispositivo de micro-ondas, o regulador *step-up* escolhido foi o IB0512XT-1WR2 da Mornsun®, com isolamento galvânico para evitar perturbações no circuito de alimentação do microcontrolador, sobretudo podendo originar ações de *reset* espúrio do sistema.

5.1.6 Carga

Uma vez que o microcontrolador tem um consumo muito reduzido, em comparação com o dispositivo de deteção por micro-ondas e dos módulos laser, o dimensionamento dos supercondutores foi feito tendo em conta estes dois componentes com um peso muitíssimo maior que os outros. Para determinar a capacidade dos supercondensadores para alimentar o sistema é necessário calcular a energia mínima consumida pelo sistema. Para isso, assume-se uma situação de consumos extremos em que são detetadas cegonhas de 10 em 10 minutos. Assumindo os valores das correntes e

tensões de funcionamento dos dispositivos utilizados, a corrente média \bar{I} de cada dispositivo consumida em uma hora seria de:

$$\bar{I} = I_{ativo} \times \frac{t_{ativo}}{t} + I_{adormecido} \times \frac{t - t_{ativo}}{t} \quad (4)$$

sendo I_{ativo} e $I_{adormecido}$ a corrente de operação no período ativo do dispositivo e no período adormecido, respetivamente. Utilizando esta expressão, encontrou-se um consumo de corrente média durante uma hora de 3,2 mA para o dispositivo laser, e de 9 mA para o dispositivo de deteção por micro-ondas. Sendo que o dispositivo funcionará somente durante o dia, num período máximo de 18h, estando desligado durante a noite, a energia e consequentemente a capacidade mínima requerida aos supercondensadores pode ser calculada pelas seguintes expressões:

$$E = V \times \bar{I}_{18h} \times t \quad (5)$$

$$E = \frac{1}{2} \times C \times (V_{inicial}^2 - V_{final}^2) \quad (6)$$

A energia consumida num período de 18 horas será a soma da energia do dispositivo laser e microondas e, feitas as contas, encontrou-se o valor de 7,23 kJ e consequentemente um valor mínimo para a capacidade do supercondensador de, aproximadamente, 895 F. Para satisfazer as necessidades energéticas do dispositivo serão utilizados dois supercondensadores em serie de 3000F@2,7V fazendo um total de 1500F@5,4V. Estando estabelecida a tensão mínima requerida no supercondensador, de 3,3V, pode calcular-se a autonomia do sistema a partir do supercondensador totalmente carregado, obtendo um valor de cerca de um dia e meio.

5.1.7 Modelo proposto

O circuito proposto para o sistema de alimentação em potência do dispositivo é o representado na Figura 45. Para uma maior simplicidade, apenas se representou o circuito para a alimentação de um laser e um detetor.

O circuito de MMPT, que controla o valor da tensão a partir da qual os supercondensadores são carregados, foi dimensionado a partir das resistências R2, R3 e R4, através do balanceamento das expressões (7) e (8). A resistência R5 dependente da corrente de entrada máxima do controlador de carga.

$$R_2 = \frac{V_{mppt} - V_{ref}}{V_{ref}} \times R_4 \quad (7)$$

$$R_3 = \frac{V_{mppt} - V_{ref}}{V_{in} - V_{mppt}} \times R_4 \quad (8)$$

sendo V_{in} o valor da tensão de entrada do controlador de carga, sendo igual à tensão de saída do painel solar menos a queda de tensão no diodo de Schottky D3, e V_{ref} a tensão de referencia do comparador.

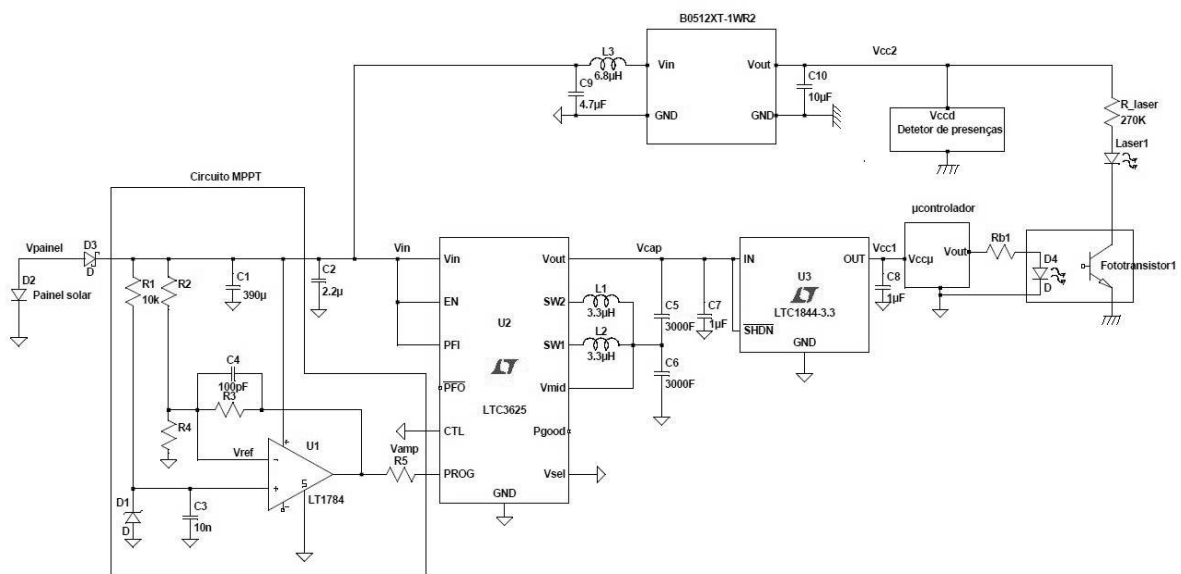


Figura 45: Circuito proposto para a alimentação do dispositivo através de fonte luminosa.

5.1.8 Testes e resultados

Para a validação do sistema, foram utilizados os resultados de testes anteriormente feitos com o mesmo painel solar, para alimentar um repetidor/*gateway* de uma rede de comunicações, utilizando como sistema de armazenamento dois supercondutores em série de 3000F@2,7V cada, e um controlador de carga LTC3625 [28]. Este dispositivo tem um regime de funcionamento de 30mA@3,3V, portanto com um consumo da mesma ordem do dispositivo de afastamento de aves. Avaliou-se o tempo de carga e descarga para o supercondensador representado na Figura 46, sendo que o tempo de carga para elevar a tensão dos supercondensadores de 2,67V a 5,2V, com

uma corrente de carga média de 250 mA, foi de 4h, sendo que a autonomia do dispositivo foi de 40h com um registo de uma comunicação por segundo.

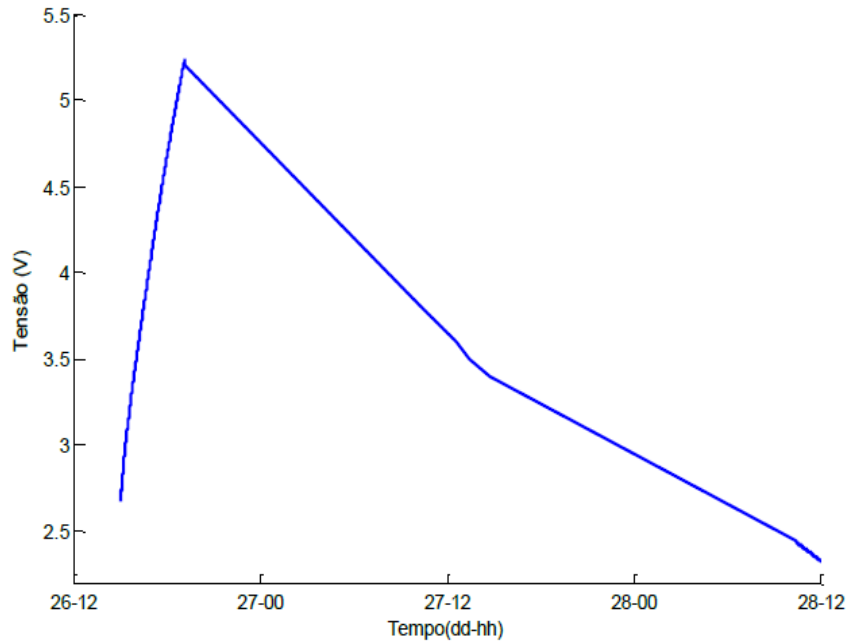


Figura 46: Tempo de carga e descarga dos supercondensadores em serie para alimentar um gateway com comunicação de um em um segundo [28].

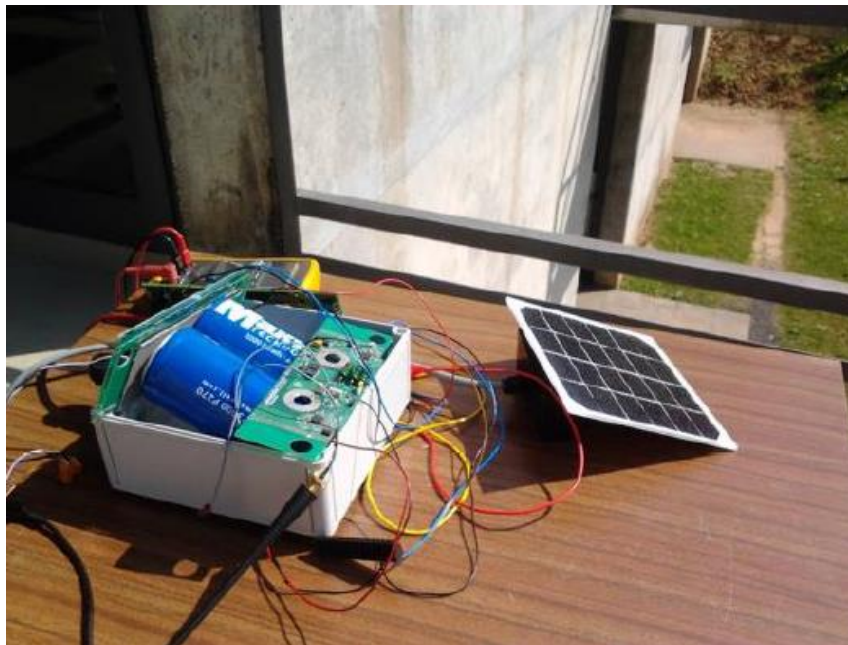


Figura 47: Montagem utilizada para nos testes com a gateway [28].

Embora o dispositivo de detecção e afugentamento de aves requeira uma potência marginalmente superior para o seu funcionamento, este só estará em operação durante o dia, com o painel solar também em funcionamento. Pode-se concluir, com estes resultados, que o sistema de alimentação em potência do dispositivo proposto é válido, e que o sistema poderá funcionar em caso de algum problema com o painel solar por um período de cerca de um dia e meio.

5.2 INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Pretende-se a validação de um sistema de captação de energia para a alimentação de sensores inteligentes em traçados de alta e muito alta tensão, com base em indução dos campos magnéticos produzidos pelas intensas correntes que percorrem estes circuitos. Na impossibilidade de abraçar os condutores destes traçados, utilizar-se-á um concentrador de fluxo de campos magnéticos para a alimentação destes dispositivos sensores. Construiu-se um pequeno concentrador de fluxo, visando a realização de testes na EDP Labelec, que não puderam, ainda, ocorrer. O teste iria consistir na utilização, em laboratório, de um gerador de corrente capaz de fornecer correntes na gama útil de 100-1000 A, e medir a potência extraível através de um enrolamento secundário com 2000 espiras bobinadas em torno de um núcleo ferromagnético, como mostrado na Figura 48.

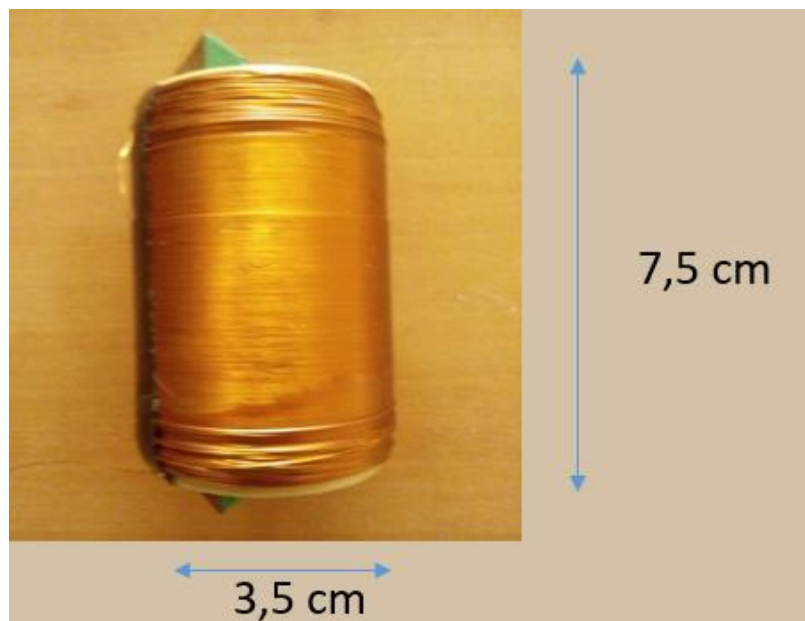


Figura 48: Dispositivo construído como conversor energético.

Na impossibilidade de, em tempo útil, recorrer a testes físicos, já que não existe mais nenhum laboratório em território português com equipamentos equivalentes até 1000 A, a validação do sistema passou por uma simulação no *software* Comsol Multiphysics®.

5.2.1 Validação da tecnologia: simulações e resultados

Para simular a ordem de grandeza da corrente induzida que se poderia obter nos apoios dos traçados de muito alta tensão, fez-se uma simulação em 2D na Comsol Multiphysics. Para isso utilizou-se considerou-se uma bobina com um núcleo de ferrite, num plano perpendicular ao cabo (primário do transformador de corrente) do circuito de transmissão/distribuição de energia elétrica, para uma distância deste de cerca de 1,5m. Para atrair o maior número de linhas de campo, reforçando o fluxo de campo magnético, e, dessa forma aumentar a corrente induzida, utilizou-se uma barra de ferrite cilíndrica de 5 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento envolvida por uma bobina de cobre com 1000 espiras. As dimensões escolhidas para o núcleo considerado na simulação decorrem da muito baixa frequência de operação, de, apenas, 50Hz. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 5 e nas Figura 50 A corrente gerada na bobina varia entre as dezenas e as centenas de mA. Embora a potência transmitida seja menor que a potência transmitida pelo painel solar, a sua capacidade de captação é

permanente, e, conseqüentemente, os supercondensadores são constantemente carregados, mesmo durante a noite e independentemente das condições atmosféricas.

Tabela 5: Resultados obtidos pela simulação da consol.

Amplitude da Corrente no condutor (A)	Amplitude da Corrente induzida na bobina (mA)
100	11,77
300	35,33
500	58,80
750	88,32
1000	117,76

Na Figura 49 representa a geometria utilizada e as linhas de campo magnético no ar, podendo-se verificar que as linhas de campo convergem para o concentrador de fluxo considerado.

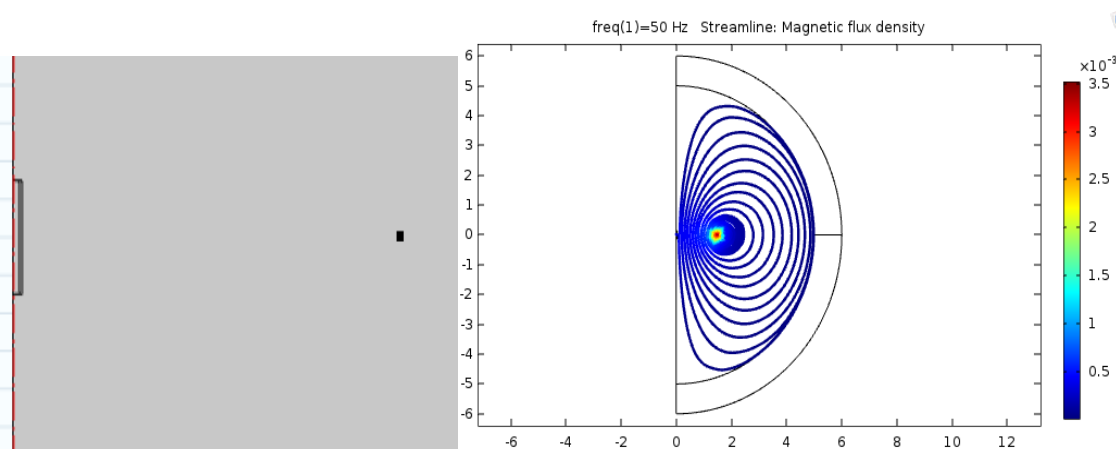


Figura 49: Representação da geometria utilizada e dos linhas de campo produzidas na simulação.

Também fez-se teste para verificar até que distâncias o dispositivo de conversão conseguiria converter energia suficiente para alimentar o dispositivo. Os resultados estão representados a tabela 6 e no gráfico das Figura 51, conseguindo-se verificar que, para distâncias de até 4m, este método conseguiria alimentar o sistema, no caso de uma corrente de 1000 A de intensidade no primário.

Tabela 6: Variação da corrente induzida na bobina com a distância do condutor (primário).

Distancia do condutor (m)	Amplitude da Corrente induzida na bobina (mA)
2	74,6
2,5	55,86
3	41,74
3,5	29,97
4	19,48

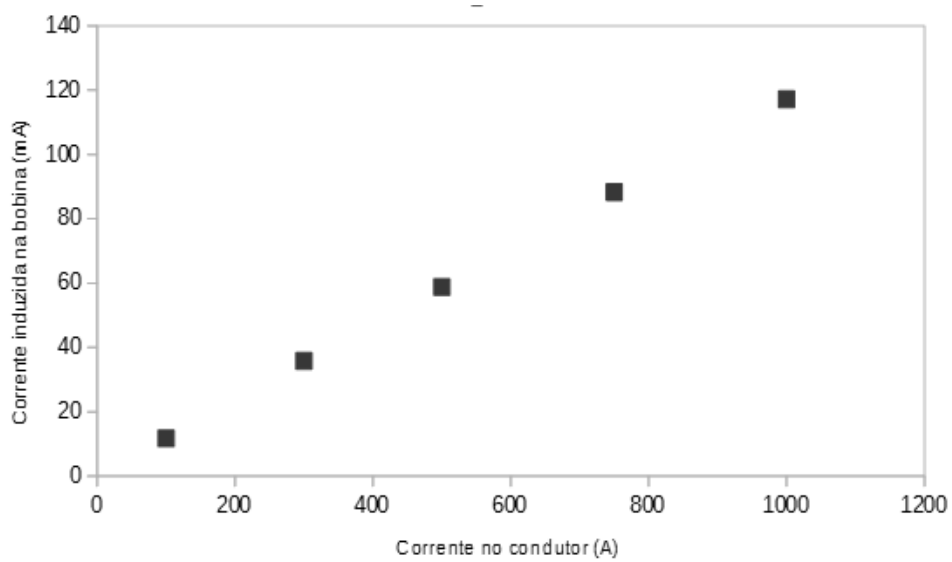


Figura 50: Gráfico correspondente a corrente induzida na bobina em função da corrente do condutor.

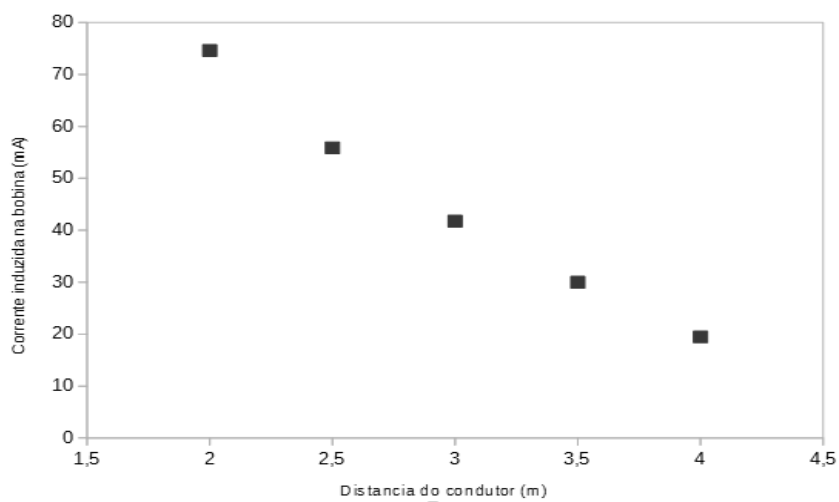


Figura 51: Variação da corrente na bobina em função da distância do condutor.

É importante referir que estes resultados não foram sujeitos a confirmação por testes reais, como foi já referido, pelo que apenas nos servem como guia para aquando da efetiva realização de ensaios experimentais.

5.2.2 Circuito de alimentação

O circuito proposto para a alimentação em potência do dispositivo encontra-se representado na Figura 53, compreendendo um circuito retificador de onda na saída do secundário e o circuito de controlo de armazenamento da energia coletada, em supercondensadores.

Para este circuito, utilizou-se dois supercondensadores em série, de 10F@2,7V cada, formando um total equivalente de 5F@5,4V. Neste sistema de alimentação pode-se utilizar supercondensadores de capacidade muito inferior aos utilizados para o sistema de alimentação por painel solar, porque a captação de energia é permanente, ao contrário da captação solar. Os reguladores de tensão propostos são os mesmos utilizados na secção anterior.

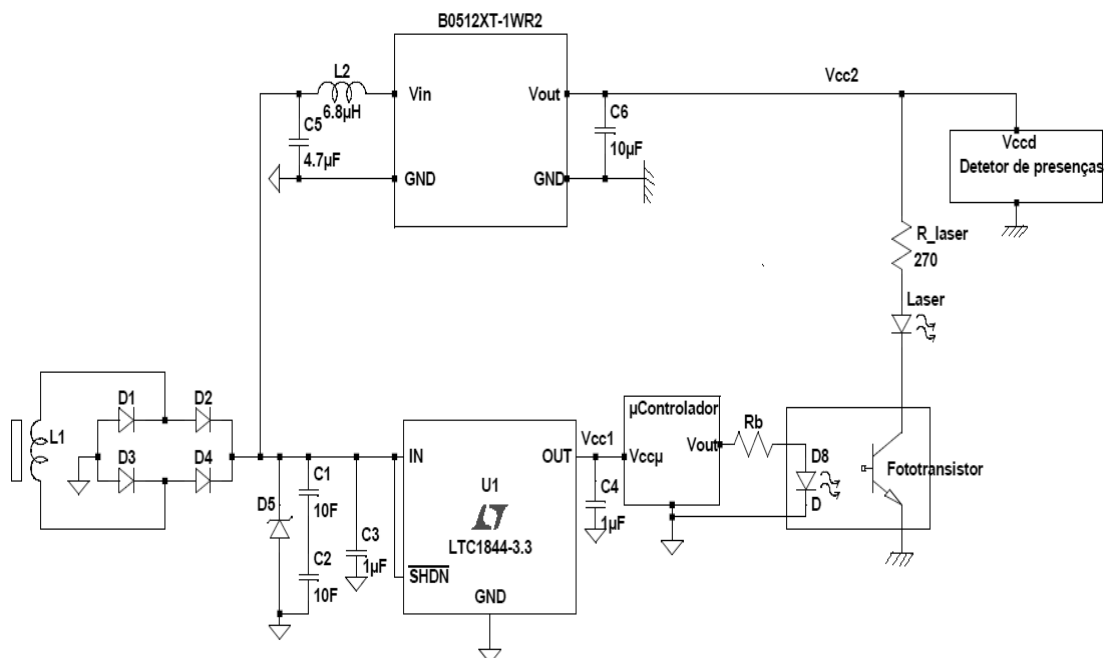


Figura 52: Circuito proposto para alimentar o dispositivo a partir de campos eletromagnéticos de baixa frequência.

5.3 CONCLUSÃO

As duas tecnologias de alimentação propostas para o dispositivo demonstram ser capazes de alimentar o dispositivo, com capacidade de satisfazer as suas necessidades de reserva de energia. Porém, ambas possuem desvantagens e vantagens na sua utilização. A desvantagem da utilização do painel solar é de ter de utilizar supercondensadores de capacidade muito elevada, para os períodos de baixa luminosidade. Os transformadores de corrente têm uma grande vantagem por converterem energia continuamente, além de ser uma tecnologia inovadora em aplicações de monitorização em apoios de alta e muito-alta tensão. Porém têm a desvantagem de ter de ser instalado perto do condutor, a distância de no máximo 4m para conseguir alimentar o dispositivo.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

No final deste trabalho verificou-se que o dispositivo proposto pode ser utilizado e que os métodos funcionam escolhidos funcionam satisfatoriamente. A construção deste dispositivo pode ser utilizado não só nos traçados de AT e MAT, mas pode servir de modelo para a construção de outros dispositivos para controlo de pragas aviarias, pois trata-se de uma tecnologia que não inflige danos permanente nas aves e, dependente do local de instalação, não perturba o quotidiano das pessoas.

Globalmente, este método de deteção e afugentamento de aves pode ser um pouco dispendioso, mas acabará por ser economicamente vantajoso, por se tratar de uma tecnologia de que não requer manutenção periódica, e irá impedir estragos de material e perdas de energia consequentes, nomeadamente nos apoios de muito alta tensão, com danos nos isoladores e provocando curto-circuitos e, também, contribuirá para a segurança das aves que vêm os apoios como um local seguro, estando longe de o ser.

Embora as tecnologias de deteção por micro-ondas e por infravermelhos, bem como a tecnologia de afugentamento por laser tenham demonstrado ser eficazes para o objetivo proposto, não foram testadas com cegonhas e, portanto, algum trabalho futuro de construção de um protótipo terá que ser realizado, para ser instalado em apoios e para testes efetivos com cegonhas, com o módulo laser e o sensor de infravermelho devidamente encapsulado, permitindo maior alcance e menor sensibilidade aos infravermelhos circundantes. Pode-se, posteriormente, inserir um módulo de comunicação, por exemplo *ZigBee* ou *Bluetooth*, para indicar o número de ocorrências de deteção, para estudo de eficácia. Ainda como trabalho futuro, propõem-se testes laboratoriais de validação com a tecnologia de alimentação em potência por indução.

7 REFERÊNCIAS

- [1] BCSD Portugal, “Aumentam os ninhos de cegonha-branca,” 2014.
- [2] Rede Eletrica Nacional, S.A, REN em linha com o desenvolvimento susentável, 2003.
- [3] R. Garcia, “Portugal tem quase 3000 ninhos de cegonhas em torres electricas.,” *Publico*, 2014.
- [4] V. Morozhenko, “Infrared Radiation,” 2012.
- [5] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensors, Physics, Designs, and applications*, San Diego, California : Springer-Verlang New York, Inc., 2004.
- [6] D. J. McCafferty, “Applications of thermal imaging in avian science,” *The international Journal of Avian Science*, pp. 4-15, 2012.
- [7] STMicroelectronics, “Signal conditioning for pyroelectric passive infrared (PIR) sensors,” 2013.
- [8] P. Jürgen Schilz, “THERMOELECTRIC INFRARED SENSORS (THERMOPILES) FOR REMOTE TEMPERATURE MEASUREMENTS; PYROMETRY,” 11 July 2000.
- [9] M. S. F. A. T. S. a. M. O. J. Tanaka, “THERMOPILE INFRARED ARRAY SENSOR FOR HUMAN DETECTOR APPLICATION,” 2014.
- [10] J. Polivka, “An Overview of Microwave Sensor Technology,” 2017 April.
- [11] A. M. A. B. S. Aditya Prabaswara, “GNU Radio Based Software-Defined FMCW Radar for Weather Surveillance Application,” *The 6th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications*, pp. 227-230, September 2011.
- [12] European Standard (Telecommunications series), “Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short range devices; Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range; Part 1: Technical characteristics and test methods,” 2007-08.
- [13] I. Ihara, “Ultrasonic Sensing: Fundamentals and Its Applications to”.
- [14] E. S. a. T. S. D. Vatansever, “Alternative Resources for Renewable Energy: Piezoelectric and Photovoltaic Smart Structures,” 2012.
- [15] Rockwell Automation, Inc., “Ultrasonic Sensing,” 2016. [Online]. Available: <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12772/6543185/12041221/12041229/print.html>.
- [16] D. P. Massa, “Choosing an Ultrasonic Sensor for Proximity or Distance Measurement Part 1: Acoustic Considerations,” 1 February 1999. [Online]. Available: <http://www.sensorsmag.com/sensors/acoustic-ultrasound/choosing-ultrasonic-sensor-proximity-or-distance-measurement-825>.
- [17] A. L. K. P. N. A. M. O. B.-L. Ehsan Yavari, “Radar and Occupancy Sensors Performance

- Comparison.," 2014.
- [18] "Evaluation of moderate and low-powered lasers for dispersing double-crested cormorants from their night roosts," *James F. Glahn, Greg Ellis, Paul Fioranelli, Brian S. Dorr*, October 2000.
- [19] B. B. G. S. T. S. R. D. W.P. Gorenzel, "Evaluation of lasers to disperse American crows, *Corvus brachyrhynchos*, from urban night roosts," *INTERNATIONAL JOURNAL OF PEST MANAGEMEN*, 327-331 2002.
- [20] group, Bird Control, 2013. [Online].
- [21] ragonlasers, 2009. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=jWEfMTPQCCA>. [Acedido em 2016].
- [22] Bird Control Group, 2013. [Online]. Available: <http://birdcontrolgroup.com/fr/agrilaser-lite/>. [Acedido em 2016].
- [23] Dragon Laser, [Online]. Available: <http://www.dragonlasers.com/>. [Acedido em 2016].
- [24] A. S. Desoky, "A Review of Bird Control Methods at Airports," 2014.
- [25] B. X. [Online]. Available: <http://www.bird-x.com/>. [Acedido em 2016].
- [26] J. L. G. W. Fuliang Le, "An Uninterrupted Bird Repeller on Transmission Line," *International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 1983-1089, December 2009.
- [27] D. N. Davud Mostafa Tobnaghi, "The Effect of Solar Radiation and Temperature on Solar cells Performance," 2014.
- [28] S. Semedo, *Gestão de energia em redes de sensores sem fios*, Universidade de Coimbra , 2015.
- [29] A. M. A. R. Azhar Ghazali M, "The Performance of Three Different Solar Panels for Solar Electricity Applying Solar Tracking Device under the Malaysian Climate Condition," *Energy and Environment Research*, pp. 235-243, 2011.
- [30] A. A. Ferreira, *Sensores sem fios autónomos, alimentados por painel solar e microbateria de lítio, com controlo de alimentação através de circuitos MPPT de baixa potência*, Universidade do Minho , 2012.
- [31] Y. Y. F. L. D. D. Rohit Moghe, "Design of a Low Cost Self Powered "Stick-on" Current and Temperature Wireless Sensor for Utility Assets," 2010.
- [32] M. D. J. Nina M. Roscoe, "Harvesting Energy from Magnetic Fields to Power Condition Monitoring Sensors," March 2013.
- [33] R. A. D. S. M. M. A. Rashed H. Bhuiyan, "A Miniature Energy Harvesting Device for Wireless Sensors in Electric Power System," *IEEE Sensor Journal*, pp. 1249-1258, 2010.
- [34] Panasonic, "User manual Grid-Eye Evaluation kid".
- [35] Solar China , Solar China, [Online]. Available: <http://solar-panels.solars-china.com/>. [Acedido em

- 2016].
- [36] A. Ferreira, Sensores sem fios autónomos, alimentados por painel solar e microbateria de lítio, com controlo de alimentação através de circuitos MPPT de baixa potência, Universidade do Minho , 2012.
- [37] N. SANTOS, “Supercondensadores o que são? Como Funcionam?,” Marinha Portuguesa , 2014.
- [38] InnoSenT, “Application Note I - Radar Sensing and Detection of” .
- [39] F. Le, J. Luo e G. Wu, “IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics,” *An Uninterrupted Bird Repeller on Transmission Line*, pp. 1983-1089, December 2009.
- [40] M. G. M. T. Penella, “A Review of Commercial Energy Harvesters for Autonomous Sensors,” May 2007 .
- [41] S. China, Solar China, [Online]. Available: <http://solar-panels.solars-china.com/>. [Acedido em 2016].