

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

PAULO RICARDO FIUZA MARQUES

UMA NOVA PROPOSTA PARA MITIGAÇÃO DE DESLIGAMENTOS
FORÇADOS EM LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA CORRELACIONADOS AO *BIRD STREAMER*

Alegrete

2020

PAULO RICARDO FIUZA MARQUES

UMA NOVA PROPOSTA PARA MITIGAÇÃO DE DESLIGAMENTOS
FORÇADOS EM LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA CORRELACIONADOS AO *BIRD STREAMER*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Sistemas de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Machado dos Santos

Alegrete
2020

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F565n Fiuza, Paulo Ricardo

Uma nova proposta para mitigação de desligamentos forçados
em linhas aéreas de transmissão de energia elétrica
correlacionados ao bird streamer / Paulo Ricardo Fiuza.

90 p.

Dissertação(Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa,
MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 2020.

"Orientação: Eduardo Machado dos Santos".

1. Repelente de pássaros. 2. Curicaca. 3. Bird streamer. 4.
Sistemas elétricos de potência. 5. Linhas de transmissão. I.
Título.

PAULO RICARDO FIUZA MARQUES

UMA NOVA PROPOSTA PARA MITIGAÇÃO DE DESLIGAMENTOS
FORÇADOS EM LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA CORRELACIONADOS AO *BIRD STREAMER*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Sistemas de Energia.

Dissertação defendida e aprovada em 14 de Agosto de 2020.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Eduardo Machado dos Santos
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Paulo Cícero Fritzen
UTFPR



Prof. Dr. Chrystian Dalla Lana da Silva
UNIPAMPA

Dedico este trabalho à minha família, pelo carinho e incentivo para que fosse possível a conclusão de mais esta etapa da minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, porque sem Ele nada seria possível.

Sou grato à minha família pelo carinho, apoio e incentivo, que serviram de alicerce para as minhas realizações e à conclusão de mais esta etapa de formação acadêmica. Os seus esforços pela minha educação não foram em vão e valeram a pena. Obrigado por compartilharem dos meus objetivos. Cada resultado alcançado é uma forma de retribuir a dedicação de vocês.

À minha namorada Aline, que sempre esteve ao meu lado e compreendeu o tempo dedicado ao mestrado.

Agradeço ao professor e amigo Eduardo Machado dos Santos por aceitar conduzir e orientar o meu trabalho de pesquisa e, também, pela sua camaradagem desde os tempos de graduação.

Aos amigos Alex, Arian e Marcel, que estiveram presentes ao longo desta etapa acadêmica, com os quais dividi momentos de Grêmio, de estudos e profissionais.

Agradeço aos demais membros do Grupo de Energia e Sistemas Elétricos de Potência (GESEP), pela oportunidade de convívio e pela cooperação mútua durante estes anos.

Também, agradeço aos amigos que estiveram presentes e colaboraram em diversos momentos. Não seria capaz de inumerar a todos, porém, sou grato por contribuírem para a conclusão desta dissertação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), pela estrutura física e corpo docente qualificado, oportunizando a formação em uma Instituição pública de qualidade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

"Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim".

Nikola Tesla

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma metodologia repelente de aves para torres do sistema de transmissão de energia elétrica brasileiro, a fim de auxiliar na obtenção de um método sólido à mitigação de desligamentos forçados indeterminados em linhas de transmissão, os quais sejam correlacionados aos pássaros. As estruturas metálicas do sistema elétrico de potência são excelentes locais para os pássaros criarem seus poleiros, produzindo, conseqüentemente, estorvos no desempenho da transmissão de energia elétrica. A região sul do Brasil possui uma atividade migratória de pássaros bastante ativa, principalmente da ave Curicaca, a qual encontra nas torres da rede aérea excelentes locais de pouso e nidificação. Esses animais podem ser eletrocutados ao encostarem seu corpo nos condutores nus e, devido a sua permanência sobre a estrutura por longos períodos, acabam por defecar sobre os isoladores. O acúmulo de excrementos nos isoladores pode ocasionar no contato físico direto entre o condutor e a estrutura metálica, o que também desencadeia um curto-circuito. Ainda, durante o ato de defecação do pássaro, o jato de excremento ou *bird streamer* pode provocar um arco elétrico entre o condutor e a torre. Assim, o método é demonstrado através de um dispositivo protótipo desenvolvido na Universidade Federal do Pampa, sendo capaz de afugentar essas aves das estruturas metálicas de forma não invasiva, preservando os animais e o ambiente que circunda a rede aérea. Quando um pássaro pousar no topo da torre, um aviso sonoro repulsivo inócuo aos animais será emitido automaticamente. O protótipo compõe-se da interligação entre dois módulos sensores, um gerador de pulso controlado, um módulo de áudio, um amplificador e dois alto-falantes, protegidos por uma caixa metálica das intempéries do tempo e da influência eletromagnética das linhas de transmissão. O dispositivo apresenta potência total de $20,16\text{ W}$, alimentando o seu circuito através de um painel solar de 10 W , acoplado em uma bateria selada de $12\text{ V}/7\text{ A.h}$. O sistema eletrônico foi testado e aferido em laboratório, destacando-se a sua operação simples. Por fim, sua eficácia será analisada em trabalhos futuros, uma vez que necessita de um período maior de operação em campo para tal avaliação.

Palavras-chave: Repelente de pássaros. Curicaca. *Bird streamer*. Sistemas elétricos de potência. Linhas de transmissão.

ABSTRACT

The present work presents the development of a bird repellent methodology for towers of the Brazilian electric power transmission system, in order to assist in obtaining a solid method for mitigating indeterminate forced disconnections in transmission lines, which are correlated to birds. The metallic structures of the electric power system are excellent places for birds to create their perches, consequently producing hindrances in the performance of electric power transmission. The southern region of Brazil has a very active migratory activity of birds, mainly the *Curicaca* bird, which finds excellent landing and nesting sites in the aerial towers. These animals can be electrocuted by touching their bodies against the bare conductors and, due to their permanence on the structure for long periods, end up defecating on the insulators. The accumulation of excrement in the insulators can cause direct physical contact between the conductor and the metallic structure, which also triggers a short circuit. Also, during the act of defecating the bird, the jet of excrement or bird streamer can cause an electric arc between the conductor and the tower. Thus, the method is demonstrated through a prototype device developed at the Federal University of *Pampa*, being able to chase these birds away from the metallic structures in a non-invasive way, preserving the animals and the environment that surrounds the aerial network. When a bird lands on the top of the tower, an innocuous repulsive audible warning to the animals will be automatically issued. The prototype is made up of the interconnection between two sensor modules, a controlled pulse generator, an audio module, an amplifier and two speakers, protected by a metal box from the weather and the electromagnetic influence of the transmission lines. The device has a total power of 20.16 W, feeding its circuit through a 10 W solar panel, coupled in a sealed battery of 12 V/7 A.h. The electronic system was tested and verified in the laboratory, highlighting its simple operation. Finally, its effectiveness will be analyzed in future works, since it requires a longer period of operation in the field for such an evaluation.

Key-words: Bird repellent. *Curicaca*. Bird streamer. Electrical power systems. Transmission lines.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estruturas usuais do SIN: (a; d; e) Circuito simples; e (b; c) Circuito duplo.	32
Figura 2 – Isoladores: (a) de pino; (b) de suspensão; (c) em cadeia; e (d) monocorpo.	32
Figura 3 – Vestígios da presença de pássaros na estrutura do sistema de transmissão.	35
Figura 4 – Fase central (a) e ninho construído sobre ela (b).	37
Figura 5 – Método de análise da classificação de desligamentos forçados da CEEE-GT.	38
Figura 6 – Dispositivos antipouso na LT Santa Maria 1/Alegrete: (a) <i>spikes</i> ; e (b) linha antipoleiro.	39
Figura 7 – <i>Bird streamer</i> em isoladores: (a) curto-circuito; e (b) arco elétrico.	40
Figura 8 – Curicaca (<i>Theristicus Caudatus</i>): (a) no solo; e (b) voando.	41
Figura 9 – Curicacas no sistema de transmissão: (a) sobre a estrutura; e (b) sobre o isolador.	42
Figura 10 – Comunicação entre as aves.	42
Figura 11 – Modelo representativo da captura de um pássaro por predador.	44
Figura 12 – Sensor PIR.	44
Figura 13 – Comandos básicos do YX5200-24SS por teclado externo.	49
Figura 14 – Circuito elétrico característico de um sistema solar <i>off grid</i>	51
Figura 15 – Fluxograma da metodologia do trabalho.	55
Figura 16 – Diagrama em blocos do dispositivo.	59
Figura 17 – Circuito eletrônico do módulo sensor.	60
Figura 18 – Fluxograma de operação do gerador de pulso.	61
Figura 19 – Circuito eletrônico do gerador de pulso.	62
Figura 20 – Circuito eletrônico do módulo de áudio.	63
Figura 21 – Circuito eletrônico do amplificador de áudio.	64
Figura 22 – Circuito eletrônico do dispositivo.	67
Figura 23 – Modelagem 3D e dimensões do dispositivo.	68
Figura 24 – Processos da produção da caixa metálica.	69
Figura 25 – Invólucro metálico do dispositivo.	69
Figura 26 – Ensaio do consumo de corrente dos sensores: (a) inativo; e (b) ativo.	72
Figura 27 – Ensaio do consumo de corrente do dispositivo.	73
Figura 28 – Ensaio do alcance de detecção do dispositivo.	75
Figura 29 – Ensaio do grau de proteção.	75
Figura 30 – Análise da vedação do dispositivo: (a) antes do ensaio; e (b) após o ensaio.	76
Figura 31 – Dispositivo repelente de pássaros.	77
Figura 32 – Localização das LTs de 138 <i>kV</i> e 230 <i>kV</i> da CEEE-GT.	78

Figura 33 – Localização do dispositivo repelente na estrutura. 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Causas dos desligamentos forçados - 08/2014 a 06/2017.	33
Tabela 2 – Desligamentos forçados relacionados às aves - 08/2014 a 07/2015. . . .	34
Tabela 3 – Desligamentos forçados relacionados às aves - 07/2016 a 06/2017. . . .	36
Tabela 4 – Desligamentos por fase - 08/2014 a 07/2015.	38
Tabela 5 – Especificações técnicas do elemento IR DPS101B.	45
Tabela 6 – Descrição dos terminais do elemento IR DPS101B.	46
Tabela 7 – Especificações técnicas do CI BISS0001.	46
Tabela 8 – Descrição dos terminais do CI BISS0001.	47
Tabela 9 – Especificações técnicas do CI ATtiny85.	48
Tabela 10 – Descrição dos terminais do CI BISS0001.	48
Tabela 11 – Especificações técnicas do CI YX5200-24SS.	48
Tabela 12 – Descrição dos terminais do CI YX5200-24SS.	49
Tabela 13 – Descrição dos terminais do cartão de memória <i>TransFlash</i>	50
Tabela 14 – Especificações técnicas do PAM8610.	50
Tabela 15 – Descrição dos terminais do CI PAM8610.	51
Tabela 16 – Descrição dos terminais do módulo sensor.	61
Tabela 17 – Descrição dos terminais do gerador de pulso.	62
Tabela 18 – Descrição dos terminais do módulo de áudio.	63
Tabela 19 – Descrição dos terminais do amplificador de áudio.	65
Tabela 20 – Especificações da fonte de alimentação.	65
Tabela 21 – Descrição dos terminais da fonte de alimentação.	66
Tabela 22 – Consumo de energia dos módulos em mA.	72
Tabela 23 – Valores em reais (<i>R\$</i>) dos componentes do dispositivo.	77

LISTA DE SIGLAS

A/D Analógico ou Digital

ADC Conversor Analógico para Digital, do inglês *Analog to Digital Converter*

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

CD+ Canal Direito positivo

CD- Canal Direito negativo

CE+ Canal Esquerdo positivo

CE- Canal Esquerdo negativo

CEEE-GT Companhia Estadual de Energia Elétrica - Geração e Transmissão

CELG-GT Companhia Energética de Goiás - Geração e Transmissão

CI Circuito Integrado

CMOS Metal-Óxido-Semicondutor Complementar, do inglês *Complementary Metal Oxide Semiconductor*

E/S Entrada ou Saída

EEPROM Memória não Volátil Programável Eletricamente, do inglês *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*

F Flutuação

FAT16/32 Tabela de Alocação de Ficheiros de 16 ou 32 *bits*, do inglês *File Allocation Table 16 or 32 bits*

FET Transistor de Efeito de Campo, do inglês *Field Effect Transistor*

GESEP Grupo de Energia e Sistemas Elétricos de Potência

I_{MR} Corrente Máxima de Recarga

IR Infravermelho, do inglês *InfraRed*

ISP Programável no Circuito, do inglês *In-System Programming*

LED Diodo Emissor de Luz, do inglês *Light Emitting Diode*

LT Linha de Transmissão

MP3 Arquivo de Áudio MPEG 3, do inglês *MPeg audio layer 3*

MPPT Rastreamento do Ponto de Máxima Potência, do inglês *Maximum Power Point Tracking*

NIT Núcleo de Inovação Tecnológica

PIR Infravermelho Passivo, do inglês *Passive InfraRed*

PWM Modulação por Largura de Pulso, do inglês *Pulse Width Modulation*

RISC Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções, do inglês *Reduced Instruction Set Computer*

SAD Sinal de Áudio Direito

SAE Sinal de Áudio Esquerdo

SEP Sistema Elétrico de Potência

SIN Sistema Interligado Nacional

SIPER Sistema Integrado de Cadastramento de Perturbações

SRAM Memória Estática de Acesso Aleatório, do inglês *Static Random Access Memory*

SS Sinal de Saída

T_{SS} Tempo do Sinal de Saída

TF Cartão de Memória *flash*, do inglês *TransFlash*

UNIPAMPA Universidade Federal do Pampa

USB Porta Serial Universal, do inglês *Universal Serial Bus*

V_{AMP} Tensão de operação do AMPLificador

V_{corte} Tensão de Corte

V_{max} Tensão Máxima

VEN Tensão de ENtrada

WMV Arquivos de Vídeo do *Windows*, do inglês *Windows Media Video*

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Por cento, unidade de grandeza adimensional
η	Rendimento elétrico
μm	Micrômetro, unidade de comprimento
μW	<i>Microwatt</i> , unidade de potência elétrica
Ω	<i>Ohm</i> , unidade de resistência elétrica
$^{\circ}C$	Grau <i>Celsius</i> , unidade de escala de temperatura
<i>A</i>	<i>Ampère</i> , unidade de intensidade de corrente elétrica
<i>bit</i>	Dígito binário, do inglês <i>Binary digit</i> , unidade de informática
<i>Byte</i>	Conjunto de 8 <i>bits</i> , unidade de informática
<i>dB</i>	Decibel, unidade de intensidade sonora
<i>F</i>	<i>Farad</i> , unidade de capacitância
<i>h</i>	Hora, unidade de tempo
<i>kHz</i>	<i>Quilohertz</i> , unidade de frequência
<i>km</i>	Quilômetro, unidade de comprimento
<i>kV</i>	<i>Quilovolt</i> , unidade de diferença de potencial
<i>m</i>	Metro, unidade de comprimento
<i>MB</i>	<i>Megabyte</i> , unidade de informática
<i>min</i>	Minuto, unidade de tempo
<i>mm</i>	Milímetro, unidade de comprimento
<i>R\$</i>	Real, moeda brasileira
<i>Rx</i>	Transmissor na comunicação serial, do inglês <i>Transmitter</i>
<i>s</i>	Segundo, unidade de tempo
<i>Tx</i>	Receptor na comunicação serial, do inglês <i>Receiver</i>
<i>V</i>	<i>Volt</i> , unidade de diferença de potencial
V_{cc}	Tensão em Corrente Contínua
<i>W</i>	<i>Watt</i> , unidade de potência elétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Justificativa	26
1.2	Objetivos do Trabalho	27
1.3	Trabalhos Relacionados	28
1.4	Estrutura da Dissertação	29
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
2.1	Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica	31
2.1.1	Estruturas do Sistema de Transmissão	31
2.1.2	Isoladores do Sistema de Transmissão	31
2.2	Influência das Aves sobre o Sistema de Transmissão	32
2.2.1	Excrementos	39
2.2.2	Eletrocussão	40
2.2.3	Curicaca	40
2.3	Interação Biológica dos Pássaros	42
2.4	Sensor Infravermelho Passivo	44
2.4.1	Elemento Infravermelho DPS101B	45
2.4.2	Circuito Integrado BISS0001	46
2.5	Circuito Integrado ATtiny85	46
2.6	Circuito Integrado YX5200-24SS	48
2.7	Cartão de Memória <i>Flash</i>	49
2.8	Circuito Integrado PAM8610	50
2.9	Energia Solar	51
2.10	Considerações do Capítulo	53
3	METODOLOGIA DO TRABALHO	55
3.1	Análise dos Dados e Correlação com o Problema em Estudo	56
3.1.1	Características da Rede Aérea de Transmissão	56
3.1.2	Características dos Desligamentos Forçados	56
3.2	Desenvolvimento da Proposta de Solução	56
3.3	Local de Instalação do Dispositivo	57
3.4	Análise do Funcionamento e Efetividade do Dispositivo	57
3.5	Considerações do Capítulo	58
4	DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO	59
4.1	Etapa 1 - Projeto do Circuito Eletrônico	59
4.1.1	Módulos Sensores	59
4.1.2	Gerador de Pulso	61

4.1.3	Módulo de Áudio	62
4.1.4	Amplificador de Áudio	64
4.1.5	Fonte de Alimentação	65
4.1.6	Circuito Final do Dispositivo	66
4.2	Etapa 2 - Projeto da Estrutura do Dispositivo	68
4.3	Considerações do Capítulo	70
5	EXPERIMENTOS E RESULTADOS	71
5.1	Experimentos de Validação do Protótipo	71
5.2	Premissas para Trabalhos Futuros	77
5.3	Considerações do Capítulo	79
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
6.1	Conclusão	81
6.2	Trabalhos Futuros	82
6.3	Publicações	82
	REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

As falhas ocasionadas pelos excrementos de pássaros são uma das principais causas de interrupções em Linhas de Transmissão (LTs) do Sistema Elétrico de Potência (SEP) brasileiro. Esse tipo de ocorrência é extremamente comum e ameaça a confiabilidade do sistema de transmissão de energia elétrica. Embora seja um transtorno rotineiro nas empresas de transmissão, poucas pesquisas produzidas no Brasil podem ser encontradas (TESSMER; PORT, 1996; OLIVEIRA, 2008; BRASIL, 2016).

Essas interrupções na transmissão de energia elétrica foram listadas pela primeira vez no início do século XX, por uma concessionária do setor elétrico dos Estados Unidos, sendo reportadas inicialmente como causas "desconhecidas" em falhas nas suas redes aéreas. Desde então, o estudo dessa problemática se mostra essencial para o aprimoramento de métodos de mitigação e aumento da confiabilidade das LTs no que diz respeito às perturbações causadas por aves (MICHENER, 1928; NAIDOO; IJUMBA; BRITTEN, 2006).

De acordo com Kreithen (1998), as aves representam um risco à segurança do sistema elétrico, assim como o contrário. Colisões e excrementos nas redes aéreas provocam acidentes fatais, incêndios, danificam equipamentos e interrompem a transmissão e a distribuição de energia elétrica.

As leis de proteção ambiental têm garantido uma maior expectativa de vida e reprodução para esses animais, aliado, também, a uma diminuição de ambientes naturais à nidificação. Como resultado, tem-se um aumento na quantidade desses indivíduos e a busca por locais construídos pelo homem. Nesse contexto, as falhas causadas pelas aves se tornaram em um grave problema e ameaçam seriamente a confiabilidade dos sistemas de energia. Eventos como curtos-circuitos e arcos elétricos ocorridos em locais inóspitos, geralmente, estão ligados aos pássaros (SUNDARARAJAN et al., 2004).

Segundo Burnham et al. (2004), tais eventos ocorrem com frequência em zonas agrícolas, próximos à lagoas, rios e canaviais, uma vez que oferecem alimentos em abundância às aves e escassez de poleiros naturais, como árvores altas. O topo das torres do sistema de transmissão fornece um local seguro com amplo alcance de visão aos pássaros, tornando-se ideal à criação de poleiros e local de caça, principalmente no inverno e na primavera.

Na África do Sul, as aves foram identificadas como a principal causa de falhas no seu sistema de transmissão, correspondendo a 1/3 dos casos de interrupção. Devido a este agravante, no início dos anos 2000, uma empresa de transmissão instalou dispositivos de proteção para pássaros em suas linhas com alta incidência dessas falhas. Os resultados foram satisfatórios após a instalação, apresentando uma queda acentuada no número de problemas nessas linhas. A frequência de faltas diminuiu de 2,38 faltas/100 *km*/ano para 1,35 faltas/100 *km*/ano, analisando-se o período de 1993 a 2009 (TAYLOR, 2001;

MINNAAR; GAUNT; NICOLLS, 2012).

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) identificou, no período compreendido entre 08/2014 a 07/2015 e de 07/2016 a 06/2017, a ocorrência de 1.648 interrupções de origem indeterminada no Sistema Interligado Nacional (SIN), onde, dentre estas, 273 casos estão relacionados com a influência dos pássaros na rede. Assim, as aves ocupam os primeiros lugares entre os motivos que mais causaram esse tipo de falha indeterminada no sistema (TESSMER; PORT, 1996; BRASIL, 2016; BRASIL, 2018).

O problema principal com as aves, pesquisado nesse trabalho, é causado pelos seus excrementos. Esses animais constroem ninhos no topo da torre de transmissão, aglomeram-se e evacuam sobre os isoladores. Quando esse fluxo de excrementos se deposita em excesso sobre o isolador, pode ocorrer um contato total entre a estrutura metálica da torre com o condutor energizado, provocando um curto-circuito, ou um contato parcial, possibilitando a ocorrência de um arco elétrico. Na nomenclatura técnica, esse tipo de problema é conhecido como “*bird streamer*” (SUNDARARAJAN et al., 2004).

Experimentos realizados em laboratório nos Estados Unidos (WEST; BROWN; KINYON, 1971), na África do Sul (BURGER; SADURSKI, 1995) e na China (ZHOU et al., 2009) obtiveram êxito na comprovação dos problemas causados pelos pássaros nos sistemas de potência. Portanto, dispositivos mitigadores para espantar as aves, e também para protegê-las, são necessários e empregados com frequência ao longo das linhas de transmissão com maior incidência estatística de causas ligadas aos pássaros.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma proposta para a mitigação do impacto causado pelas aves sobre o sistema de transmissão brasileiro. São apresentadas a metodologia de desenvolvimento e os resultados experimentais de validação de um protótipo eletrônico repelente, sonoro e não invasivo aos pássaros, o qual objetiva afastar esses animais do topo das estruturas metálicas, protegendo a sua integridade física e sem interferir nas suas interações ambientais nos locais de operação do dispositivo no SIN.

1.1 Justificativa

Anualmente, as quedas na transmissão e distribuição de energia elétrica provocadas pelos pássaros custam milhões de reais às concessionárias do SEP. As empresas do setor têm experimentado uma variedade de dispositivos mitigadores para evitar essas interrupções em seus trechos de transmissão (BURNHAM, 1995; TESSMER; PORT, 1996; OLIVEIRA, 2008).

Em geral, os trabalhos da literatura especializada apresentaram resultados satisfatórios. Entretanto, surgiram novos problemas, como os verificados na utilização de proteções antipoleiro, os quais minimizam o risco de eletrocussão das aves, mas não evitam que estas voltem a pousar sobre as torres, permanecendo o agravante dos seus excrementos. Ou como os problemas encontrados nas luvas isoladoras, que são utilizadas em buchas de transformadores. Essas luvas são fabricadas a partir de polímeros e apresentam desgaste

quando expostas as intempéries do tempo. Com essa degradação, surgem pequenos furos onde os insetos penetram, ocorrendo casos em que pequenos pássaros foram eletrocutados tentando capturá-los (KREITHEN, 1998).

Tem-se também, segundo os trabalhos de Schulte e Schmees (1994) e Kreithen (1998), a técnica da aplicação de luzes piscantes, a qual é extremamente dependente do contato visual entre a ave e o sistema. Esse tipo de dispositivo pode ter o seu desempenho prejudicado pela luminosidade durante o dia, condição climática adversa e, até mesmo, pela distração do pássaro em um estado de alerta, como em uma caçada ou observação de um predador natural.

Kreithen (1998) constata ainda que a implementação de ondas sonoras audíveis é dependente da ruídosidade do ambiente e pode incomodar a audição humana. Portanto, o local de instalação é um fator chave para a sua eficácia. Já o método com ondas inaudíveis, de acordo com Siahaan, Wardijono e Mukhlis (2017), pode levar o pássaro a óbito, caso o animal permaneça no local ou voe em direção ao vórtice emissor.

Muitas dessas metodologias tendem a permanecer sempre ativas, mesmo na ausência de aves. Esse funcionamento constante se torna indesejável quando aborrece os seres humanos e facilita a adaptação dos animais, pois não gera mais estímulos significativos. Além disso, desperdiça energia elétrica e atenua a vida útil do equipamento repelente. São dispendiosas, também, pois possuem alto custo monetário e pouca eficácia na solução, permanecendo uma lacuna na área por um método eficaz, capaz de resistir às intempéries do ambiente e afastar os pássaros das estruturas do sistema de transmissão (KREITHEN, 1998; NILES, 2007).

Portanto, os dispositivos comerciais encontrados representam uma alternativa válida, porém, são inadequados para trabalhar de forma autônoma em ambientes adversos, como no topo de torres. Além disso, os seus custos, as suas estruturas, os seus tamanhos e a agressão ambiental causada precisariam sofrer modificações à aplicação proposta. Dessa forma, o trabalho se justifica pelo desenvolvimento de um protótipo nacional, leve e relativamente pequeno, não prejudicial à fauna brasileira.

1.2 **Objetivos do Trabalho**

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver e prototipar um equipamento robusto para afastar os pássaros das áreas onde estão instalados em estruturas do sistema de transmissão. Por objetivos específicos, citam-se:

- Estudar e analisar a interferência das aves no SIN brasileiro;
- Implementar ferramentas de desenvolvimento de circuitos eletrônicos; e
- Aplicar as pesquisas realizadas na geração de um protótipo que apresente as seguintes características:
 - Operar de forma automática e em tempo real, sem interferência humana

- e em regime permanente;
- o Robustez perante as intempéries do tempo, do local instalado e da adaptação das aves; e
- o Possuir baixo consumo de, energia e custo, com mínimo impacto ambiental.

1.3 Trabalhos Relacionados

Diversas pesquisas foram e estão sendo produzidas em outros países para solucionar problemas correlatos com os pássaros.

Utilizando-se de dispositivos repelentes estáticos estão os trabalhos de Shaw (1968) e de Assouline (1981). O primeiro propôs pontas metálicas (*spikes*) fixadas sobre uma chapa de metal para serem acoplados no local a ser protegido das aves. Já o segundo, divulgou uma estrutura de formato piramidal cujo ângulo de construção produz um efeito de prisma, assustando opticamente as aves. Além disso, os trabalhos de Williams e Murphy (1999) e Cook et al. (2001), acoplaram discos de material dielétrico protetores nos isoladores. Ainda, Donoho (2001) sugeriu que os *spikes* fossem encaixados em uma base plástica de policarbonato resistente a ação do tempo.

Outros autores utilizaram dispositivos móveis para repelir as aves, como Rousseau Jr e Babin (1978), que projetaram um par de discos refletores suspensos em um bastão animado pela ação do vento. LeMessurier (1986) construiu um poleiro sensível ao peso das aves, movendo-se quando pousavam, e Chatten (1995) divulgou uma estrutura circular rotativa, também impulsionada pela força do vento, impedindo o pouso em determinados locais.

Há, ainda, os trabalhos que se utilizam da eletricidade e do eletromagnetismo, como a técnica produzida por Schulte e Schmees (1994), a qual emite luzes cintilantes para afastar ou desviar o voo de pássaros da rota de colisão com aviões.

Ishida (1999) construiu um modelo repelente a partir da geração de um campo magnético diferente do produzido pela Terra. Hastes não magnéticas com ímãs acoplados na ponta e uma espécie de mola na base, que permite o seu balanço quando sob ação do vento ou toque físico, são instaladas no topo da torre de transmissão. O movimento forçado gera um campo magnético de maior intensidade que o da Terra em torno da haste, desorientando as aves, tendo em vista que estas utilizam o campo terrestre como um localizador geográfico. Então, essa variação as desorienta e as obriga a se afastar do local, uma vez que os pássaros interpretam esse campo como uma área de risco.

Seguindo o princípio das ondas sonoras, Lenhardt e Ochs (2001) criaram um pulsador eletrônico de micro-ondas, vibrações audíveis ou supersônicas. Esses estímulos gerados causam uma sensação desagradável nos pássaros, como a tontura. Dessa forma, ficam em estado de alerta sobre o local e, caso tenham pousado na área, são repelidos. Destaca-se também o invento de Thomas e Nichols (2004), o qual utiliza energia estática,

sendo que o dispositivo aplica choques não letais através de um bastão metálico eletricamente carregado. O sistema utiliza o campo eletromagnético gerado em torno da linha de transmissão como fonte de alimentação.

Já o trabalho de Burnham et al. (2004) aborda a modernização do sistema de distribuição e transmissão, onde as torres seriam adaptadas para evitar os acidentes com os pássaros. Tal trabalho propõe a reconfiguração das cruzetas no topo dos postes, a instalação de proteção antipoleiro e luvas para as buchas de transformadores. Acrescentando-se, ainda, uma isolação nos *jumpers* para minimizar os riscos de eletrocussão.

Por fim, com o intuito de afastar aves de plantações agrícolas na Indonésia, desenvolveu-se um circuito oscilador ressonante do tipo *Colpitts*, que emite ondas ultrassônicas através de um atuador ultrassônico piezoelétrico. O protótipo conta com um sensor de presença acoplado em um sistema embarcado, o qual detecta pássaros a uma distância de até 5 m e então propaga ondas na faixa de 60 kHz (SIAHAAN; WARDIJONO; MUKHLIS, 2017).

Embora essas alternativas tenham sido inovadoras, nenhuma delas alcançou sucesso pleno, uma vez que alguns destes dispositivos fornecem riscos à vida das aves, assim como podem sofrer alterações e desgastes em função das intempéries e ação dos ambientes nos quais estão instalados, perdendo assim, com o tempo, a sua funcionalidade. Nesse contexto, a proposta apresentada nesse trabalho consiste em uma solução simples, de baixo custo e de grande eficiência, de modo que o protótipo final deverá ser robusto o bastante para resistir às diferentes condições climáticas e ambientais, sem sofrer danos prejudiciais ao seu correto funcionamento.

1.4 Estrutura da Dissertação

Além do presente Capítulo, o trabalho conta com outros cinco, dispostos da seguinte forma:

O Capítulo 2 aborda a fundamentação teórica dos conceitos que se relacionam à problemática do *bird streamer* e do dispositivo mitigador. Abordam-se as definições sobre os sistemas de transmissão de energia, a influência das aves sobre a rede aérea e as especificações de circuitos eletrônicos.

No Capítulo 3, descreve-se a metodologia do estudo da problemática e do dispositivo desenvolvido, dividindo-se em análise do problema, proposta de um método e prototipação, resultados em laboratório e implantação em campo.

O Capítulo 4 demonstra o desenvolvimento do esquema eletrônico e estrutura metálica de proteção do dispositivo, detalhando-se os seus conceitos construtivos e definições de funcionamento, com os processos do desenvolvimento. Divide-se o Capítulo em duas etapas: projeto do circuito eletrônico e projeto da estrutura do dispositivo.

O Capítulo 5 apresenta os experimentos realizados e a análise dos resultados em laboratório, denotando-se o seu consumo energético, o seu alcance de detecção e a robustez

do protótipo desenvolvido.

Por fim, no Capítulo 6, expõem-se as conclusões sobre o trabalho e os resultados obtidos, bem como as sugestões para trabalhos futuros e as publicações realizadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Capítulo 2 apresenta as características dos componentes que compõem o SEP, como as estruturas metálicas de transmissão e os seus isoladores, bem como sobre a influência das aves na rede aérea e as especificações técnicas dos componentes eletrônicos utilizados no protótipo proposto. A contextualização dos conceitos introduzidos nesse Capítulo objetiva a demonstração do esforço para mitigar e mensurar a significância do problema com as aves. Abordam-se a quantização da problemática no SIN e as noções básicas relacionadas à especificação e fabricação de um dispositivo eletrônico repelente de pássaros.

2.1 Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica

A transmissão de energia elétrica de longa distância é realizada através de condutores de alta tensão. Estes atravessam grandes regiões, exigindo inúmeras estruturas como base de sustentação e isoladores para sua ancoragem em suspensão. Geralmente, esses cabos são nus, desprovidos de qualquer isolamento, propiciando a redução dos custos e peso. Entretanto, sujeitam-se a curtos-circuitos e arcos elétricos oriundos de corpos estranhos (LABEGALINI et al., 1992; NILES, 2007).

2.1.1 Estruturas do Sistema de Transmissão

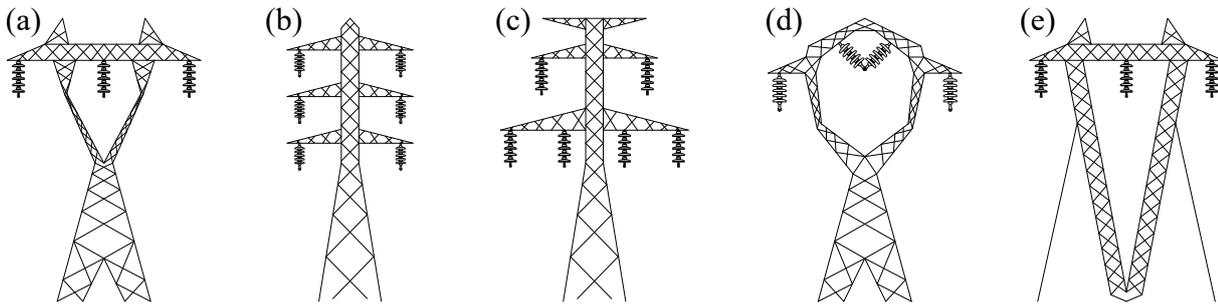
No Brasil, é comum a utilização de suportes ou pórticos do tipo treliçados, usualmente, com perfis de aço-carbono galvanizado, principalmente para tensões acima de 230 *kV*. Apresentam características versáteis para ambientes limitados, como a fabricação em módulos, o que permite ajustes de acordo com o local de instalação, conferindo-lhe, ainda, peso reduzido e arquitetura agradável, reduzindo a agressão visual na paisagem inserida (LABEGALINI et al., 1992; CAMARGO, 2006).

Há dois modelos de estruturas, sendo estas autoportantes e estaiadas. A primeira transfere para o solo, mediante suas fundações, todos os esforços incidentes sobre ela, subdividindo-se em rígida (Figuras 1-a; 1-b; e 1-c), flexível e mista. Já as estruturas do segundo tipo empregam tirantes ou estais que absorvem esses esforços sofridos (Figura 1-e). Essas ainda podem ser classificadas de acordo com a disposição dos condutores em plano horizontal (Figuras 1-a; e 1-e), vertical (Figura 1-b) ou triangular (Figuras 1-c; e 1-d) (LABEGALINI et al., 1992).

2.1.2 Isoladores do Sistema de Transmissão

São os responsáveis pela sustentação mecânica dos condutores na estrutura. Construídos a partir de materiais dielétricos como porcelana vidrada, vidro temperado e sintético composto.

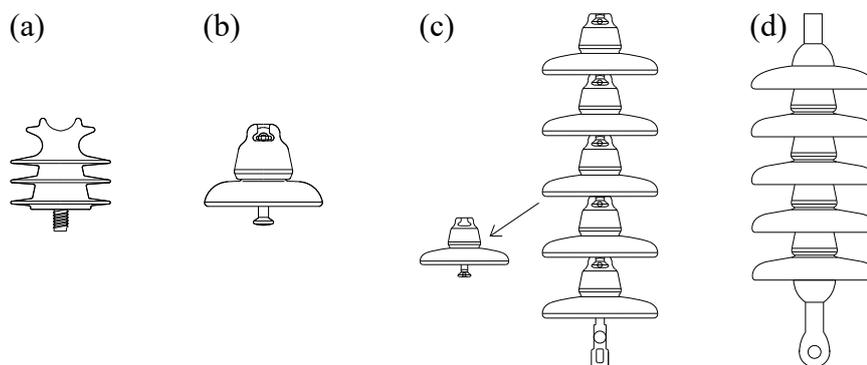
Figura 1 – Estruturas usuais do SIN: (a; d; e) Circuito simples; e (b; c) Circuito duplo.



Fonte: Adaptado de Fiuza et al. (2019).

No SIN, utilizam-se isoladores de pino/rígidos e de suspensão, demonstrados na Figura 2. Os rígidos são comumente empregados em redes de média tensão. Sua dificuldade de montagem e fragilidade são proporcionais ao aumento da faixa de tensão. Em redes de alta tensão e superior, instalam-se isoladores de suspensão, compostos por uma cadeia de múltiplos isoladores de disco ou do tipo monocorpo (LABEGALINI et al., 1992; CAMARGO, 2006).

Figura 2 – Isoladores: (a) de pino; (b) de suspensão; (c) em cadeia; e (d) monocorpo.



Fonte: Adaptado de Fiuza et al. (2019).

2.2 Influência das Aves sobre o Sistema de Transmissão

As torres do sistema de transmissão brasileiro são, frequentemente, construídas em terrenos ermos de campo aberto, transformando-se em atraentes locais para os pássaros criarem ninhos (NILES, 2007; OLIVEIRA, 2008).

Segundo Brasil (2018), ocorreram 3.380 desligamentos forçados em equipamentos e linhas de transmissão do SIN no período entre agosto de 2014 e julho de 2015, 3.796 desligamentos entre julho de 2015 e junho de 2016 e 3.768 entre julho de 2016 e junho de 2017. Um desligamento forçado diz respeito à saída de operação de um componente em condições não programadas. Na Tabela 1, é apresentada a estratificação das causas dos desligamentos forçados nos períodos supracitados.

Tabela 1 – Causas dos desligamentos forçados - 08/2014 a 06/2017.

Causa do Desligamento Forçado	Período		
	2014/2015	2015/2016	2016/2017
Indeterminada	957	886	691
Descarga Atmosférica	486	614	683
Equipamentos e Acessórios	375	428	416
Queimada/Fogo sob a Linha	346	394	429
Falhas Humanas	480	394	440
Proteção, Medição e Controle	201	239	250
Corpos Estranhos e Objetos	73	175	232
Fiação AC – DC	129	168	103
Vegetação	148	162	210
Meio Ambiente/Fenômenos Naturais	76	157	310

Fonte: Adaptado de Brasil (2018, p. 40).

Em muitos desligamentos forçados as concessionárias atribuem os eventos envolvendo os pássaros como sendo de causa indeterminada. São classificados assim porque, geralmente, os defeitos ocorrem em regiões de difícil acesso para a inspeção e, também, pela falta de vestígios da presença de pássaros no local da falha. Outra adversidade encontrada por algumas dessas empresas, é resultante da utilização de registradores de perturbação com tecnologia defasada. Esse tipo de problema obriga as equipes de inspeção a percorrerem longos trechos da linha, dificultando uma localização precisa do ponto do defeito (BRASIL, 2018).

Dessa forma, verifica-se que há empecilhos significativos na identificação da causa exata e, como na maioria das ocorrências o religamento é efetuado automaticamente, a inspeção na linha se torna dispensável. Sendo assim, as transmissoras do sistema são induzidas a classificarem as interferências causadas pelos pássaros como de origem desconhecida ou indeterminada.

No período entre 08/2014 a 07/2015 ocorreram 957 desligamentos forçados de causa indeterminada. Desse montante, 199 desligamentos possuem ligação com as aves, como apresentado na Tabela 2 (BRASIL, 2016).

De acordo com Brasil (2016), a Companhia Energética de Goiás - Geração e Transmissão (CELG-GT) realizou investigações mais detalhadas nas linhas de Itapaci/Barro Alto e Planalto/Anhanguera, verificando que a causa dos seus desligamentos indeterminados ocorreram pela presença de ninhos de pássaros em algumas das suas torres. As falhas classificadas inicialmente como descarga atmosférica e corpo estranho/objeto, também foram atribuídas às aves.

O desligamento ocorrido na LT Gurupi/Miracema da Furnas foi identificado como pássaro Curicaca. Já a falha da LT Jacuí/Santa Maria 1 da Companhia Estadual de Energia Elétrica - Geração e Transmissão (CEEE-GT), também classificada como pássaro Curicaca, foi reclassificada como causa indeterminada. A falha apresenta as características

das interrupções causadas por aves, porém, a CEEE-GT optou por reclassificá-la como indeterminada pela falta de elementos que comprovem uma ligação direta com esses animais (BRASIL, 2016).

Tabela 2 – Desligamentos forçados relacionados às aves - 08/2014 a 07/2015.

	Linha de Transmissão	Causa	Qtd.
CEEE-GT	138 kV Santa Maria 1/Alegrete C1 RS	Indeterminada	66
	138 kV Jacui/Santa Maria 1 C1 RS	Pássaro Curicaca	1
		Indeterminada	7
	230 kV Bage 2/Livramento 2 C1 RS	Indeterminada	13
	230 kV C. Industrial/V. Aires C1 RS	Animais/Pássaros	6
		Indeterminada	7
	230 kV Itaúba/Nova Sta Rita C1 RS	Indeterminada	6
	230 kV Passo Real/V. Aires C1 RS	Indeterminada	4
	230 kV Pre. Medici/Camaqua C1 RS	Indeterminada	39
	230 kV Pre. Medici/Quinta C1 RS	Indeterminada	25
	230 kV Santa Maria 3/Alegrete 2 C1 RS	Indeterminada	6
230 kV Scharlau/Charqueadas C1 RS	Indeterminada	17	
CELG-GT	230 kV Itapaci/Barro Alto C1 GO	Descarga Atmosférica	3
		Indeterminada	5
	230 kV Planalto/Anhanguera C1 GO	Corpo estranho	1
Indeterminada		4	
Furnas	500 kV Gurupi/Miracema C1 TO	Pássaro Curicaca	2

Fonte: Adaptado de Brasil (2016).

Com relação aos casos indeterminados da Tabela 2, não houve confirmação nas inspeções pós-ocorrência no local da falha. Contudo, o período em que os desligamentos ocorreram são típicos da presença desses animais. Além disso, as equipes encontraram indícios da presença de pássaros em algumas torres próximas aos locais onde ocorreram esses desligamentos. Dessa forma, mesmo que as inspeções não tenham identificado sinais de descarga por cadeia de isoladores sujas de excrementos, a CEEE-GT sugere ser essa a causa de parte dos seus desligamentos indeterminados (BRASIL, 2016).

A classificação como causa indeterminada dos desligamentos forçados nas demais LTs possui dois diagnósticos prováveis, ligação com os pássaros ou com a umidade elevada do ar. As duas hipóteses levantadas possuem características de ocorrência semelhantes, que são:

- Natureza fugitiva do defeito;
- Falta do tipo fase-terra e com indícios de baixa impedância;
- Ocorrem, geralmente, em uma condição climática de tempo bom, associada a uma umidade elevada do ar;
- Maior incidência no período noturno, entre os horários das 19 horas às 6 horas do dia seguinte; e

- Ocorrem no período de inverno do hemisfério sul e em meses típicos do período reprodutivo do pássaro Curicaca.

Os desligamentos de natureza fugitiva são aqueles em que, prontamente, há a retirada do componente de serviço, em condições não programadas. Isto pode ocorrer de forma automática, retornando à operação automaticamente ou tão logo as manobras sejam executadas, sem correção, reparo ou reposição de componentes (BRASIL, 2016).

Os defeitos com possível causa relacionada às aves podem ser confirmados com inspeções no local pós-ocorrência, as quais analisam a presença de fezes, penas e ninhos na estrutura/isolador da torre, como observado na Figura 3.

Figura 3 – Vestígios da presença de pássaros na estrutura do sistema de transmissão.



Fonte: Adaptado de Brasil (2016, p. 59 e 193).

Quanto a probabilidade dos desligamentos terem ligação com a umidade elevada do ar, conforme Brasil (2016), a CEEE-GT sugere esse problema como possível causa, porque os trechos com maior incidência de desligamentos forçados indeterminados estão inseridos em áreas com uma umidade do ar acentuada, característica do inverno gaúcho. Contudo, necessita-se de um estudo a parte sobre o tema, também conhecido como *Sudden Flashover*. Assim, o presente trabalho não entrará em detalhes quanto a essa problemática.

No período entre 07/2015 e 06/2016 ocorreram 886 desligamentos forçados de causas indeterminadas. Porém a estratificação desses desligamentos não foi publicada pela ANEEL.

Já no período entre 07/2016 e 06/2017, ocorreram 691 desligamentos forçados de

causa indeterminada. Desse montante, 74 desligamentos possuem ligação com as aves, como apresentado na Tabela 3 (BRASIL, 2018).

Tabela 3 – Desligamentos forçados relacionados às aves - 07/2016 a 06/2017.

	Linha de Transmissão	Causa	Qtd.
CEEE-GT	230 kV Scharlau 2/Charqueadas C1 RS	Curicaca	5
		Indeterminada	6
		Falha Isolação	1
	230 kV Lajeado 2/Nova Sta Rita C1 RS	Curicaca	5
		Indeterminada	10
		Curicaca	4
230 kV Bage 2/Livramento 2 C1 RS	Indeterminada	5	
	Falha Isolação	3	
CTEEP	138 kV N. Avanhandava/Valparaiso C2 SP	Curicaca	2
Eletronorte	5kV Miranda II/São Luís II C1 MA	Pássaro	1
Furnas	500 kV S. Da Mesa/Gurupi C1 GO/TO	Curicaca	1
		Indeterminada	9
	500 kV S. Da Mesa/Samambaia C2 GO/DF	Curicaca	5
State Grid	500 kV Samambaia/Itumbiara C1 DF/MG	Indeterminada	5
	230 kV Dourados/Ivinhema 2 C1 MS	Curicaca	3
TAESA	500 kV Serra Mesa 2/Rio das Eguas C1 GO/BA	Curicaca	1
Transminas	345 kV Itutinga/Juiz de Fora 1 C1 MG	Curicaca	4
		Indeterminada	3

Fonte: Adaptado de Brasil (2018).

Verifica-se que 32 ocorrências possuem ligação direta com o pássaro Curicaca e as outras 42 possuem ligação indireta, as quais são classificadas como de origem indeterminada ou como de falha/defeito na isolação.

Segundo Brasil (2018), Furnas realizou investigações mais detalhadas nas suas LTs de S. da Mesa/Gurupi e S. da Mesa/Samambaia, verificando, após essas inspeções em campo, que a causa dos seus desligamentos indeterminados foi pela presença do pássaro Curicaca.

As falhas classificadas como causa indeterminada e como defeito/falha na isolação da Tabela 3, possuem ligação indireta com as aves, pois não houve confirmação nas inspeções pós-ocorrência. Contudo, as características dos desligamentos e os indícios encontrados em campo são típicos da presença desses animais (BRASIL, 2018).

Brasil (2018) ressalta ainda que se deve analisar o padrão de ocorrências e o histórico das LTs, se estão associadas a contaminação da cadeia de isoladores por dejetos de pássaros, como nos trechos das LTs Scharlau 2/Charqueadas e Bage 2/Livramento, nas quais a CEEE-GT suspeita que as falhas na isolação foram causadas por pássaros, porém, sem confirmação pela inspeção em campo.

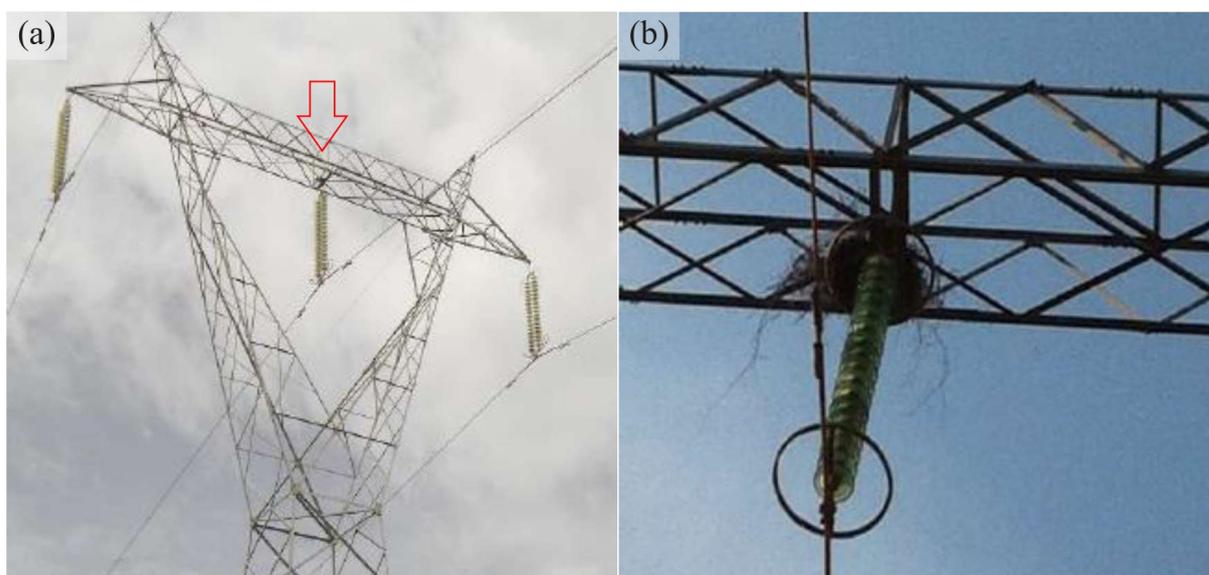
Verifica-se a partir das Tabelas 2 e 3 que os desligamentos de origem indetermi-

nada podem ter ligação com as aves, devido as dificuldades encontradas na determinação efetiva da influência desses animais sobre o SIN. Cita-se o caso observado na LT Samambaia/Itumbiara da *State Grid*, onde uma das suas ocorrências foi classificada inicialmente como queimada sob a LT. Porém, após uma análise criteriosa, constatou-se que esse desligamento foi causado por excremento de Curicaca. Então, percebe-se que, provavelmente, há mais desligamentos relacionados aos pássaros, tendo em vista as dificuldades de análise da causa do defeito (BRASIL, 2018).

Têm-se, também, desligamentos oriundos da presença de pássaros em subestações, mas o presente trabalho se delimitou na identificação das ocorrências em linhas de transmissão.

De acordo com Brasil (2016) e Brasil (2018), a natureza elétrica mais frequente nesses desligamentos forçados resulta do contato entre fase e terra na cadeia de isoladores, por curto-circuito ou arco elétrico, identificando-se, ainda, uma maior incidência na linha disposta no centro da torre de transmissão, local favorável à construção de ninhos, como demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Fase central (a) e ninho construído sobre ela (b).



Fonte: Brasil (2016, p. 59).

No período entre 08/2014 e 07/2015 algumas análises estratificadas de LTs, do estado do Rio Grande do Sul, apresentam as faltas por fase, indicando 34 na fase A, 45 na B e 37 na C, conforme Tabela 4.

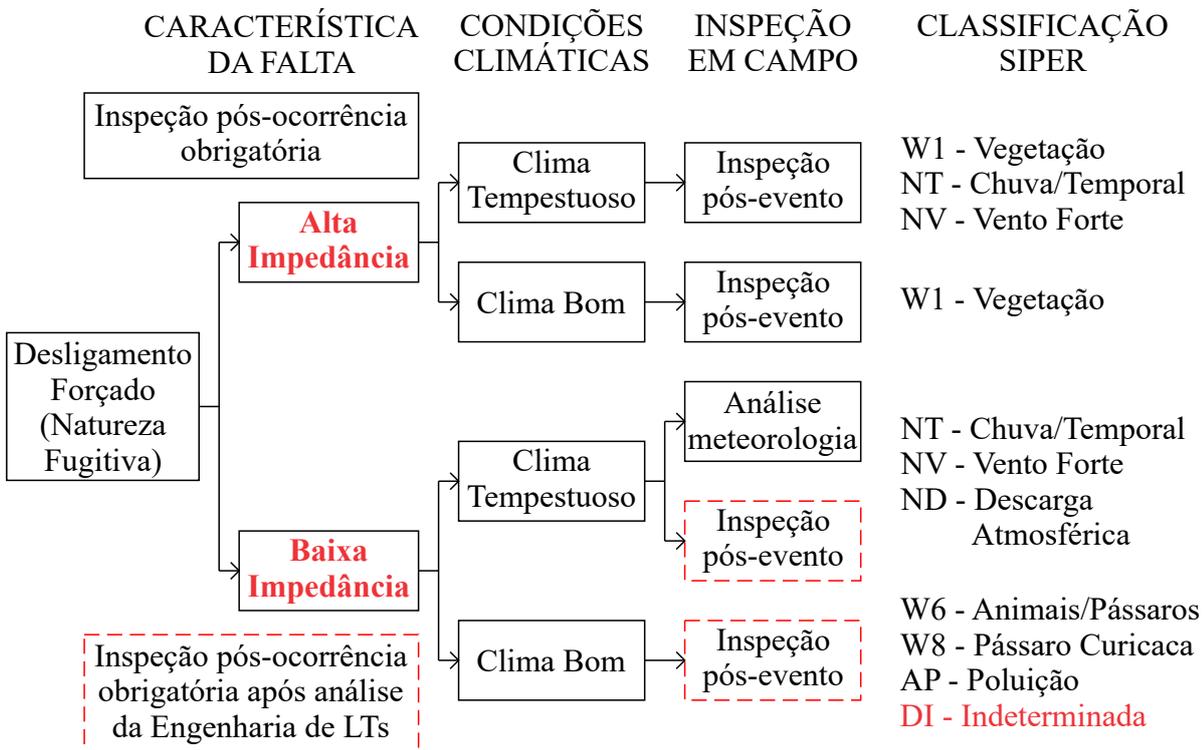
Na Figura 5, é apresentado o fluxograma do método de análise utilizado pela CEEE-GT para determinação da natureza de classificação dos seus desligamentos forçados.

Tabela 4 – Desligamentos por fase - 08/2014 a 07/2015.

Linha de Transmissão	Desligamentos		
	Fase A	Fase B	Fase C
138 kV Santa Maria 1/Alegrete C1 RS	16	27	33
230 kV C. Industrial/V. Aires C1 RS	11	4	1
230 kV Scharlau/Charqueadas C1 RS	7	14	3

Fonte: Adaptado de Brasil (2016).

Figura 5 – Método de análise da classificação de desligamentos forçados da CEEE-GT.



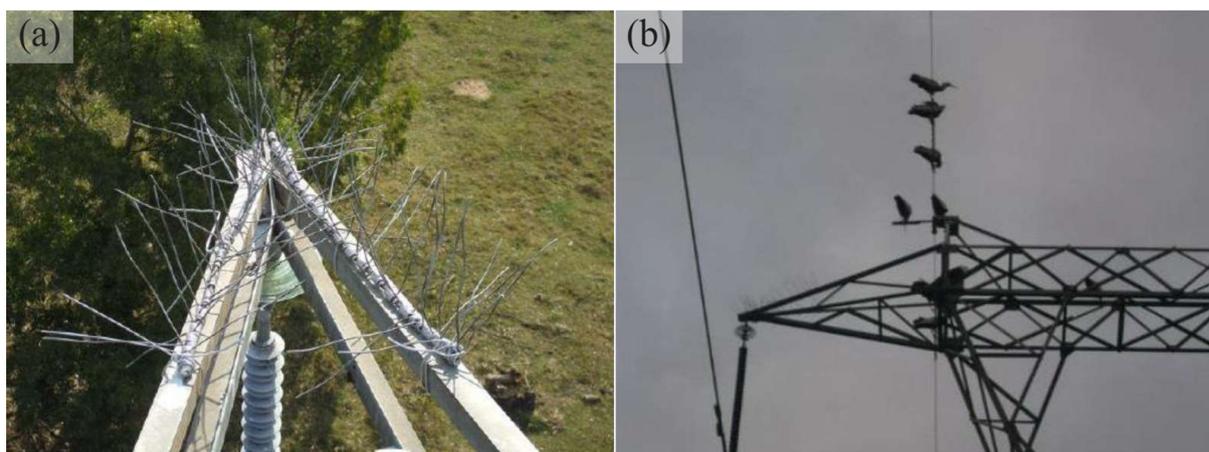
Fonte: Brasil (2016, p. 194).

Os desligamentos forçados causados por Animais/Pássaros, Pássaro Curicaca e Indeterminada possuem as mesmas características na metodologia de análise da CEEE-GT, sendo classificadas no Sistema Integrado de Cadastramento de Perturbações (SIPER) como W6, W8 e DI, respectivamente. O fluxograma de verificação dessas causas de defeitos busca determinar se o evento é caracterizado por baixa impedância, boa condição climática e, geralmente, precisa de inspeção pós-evento, corroborando, assim, com as dificuldades encontradas nas análises pós-ocorrência e confirmação da causa de falhas, descritas anteriormente.

Segundo Brasil (2016) e Brasil (2018), após o grande número de desligamentos de origem indeterminada no período entre 08/2014 e 07/2015, a CEEE-GT foi inserida na Campanha de Fiscalização referente aos Desligamentos de Causa Indeterminada. Esse programa visa melhorar a identificação dessas ocorrências e a redução no número de

desligamentos, fomentando a elaboração de documentos normativos com o Processo de Apuração de Desligamentos em Linhas de Transmissão e o mapeamento de dispositivos antipouso instalados (Figura 6), onde se analisa a efetividade desses dispositivos e a correção de desarmes do sistema.

Figura 6 – Dispositivos antipouso na LT Santa Maria 1/Alegrete: (a) *spikes*; e (b) linha antipoleiro.



Fonte: Brasil (2016, p. 193).

Foram instalados 42 dispositivos antipouso, como *spikes* e linhas antipoleiros, em diferentes pórticos da área de concessão da CEEE-GT. Contudo, as suas equipes de campo identificaram que, conforme eles instalam os dispositivos antipouso, os pássaros tendem a migrar para as torres próximas, o que acaba por discorrer em novos desligamentos no mesmo trecho (BRASIL, 2018).

Por fim, Vosloo et al. (2011) cita que os pássaros podem causar arcos elétricos e/ou curtos-circuitos de duas formas ao longo das linhas de transmissão: através dos seus excrementos ou por eletrocussão.

2.2.1 Excrementos

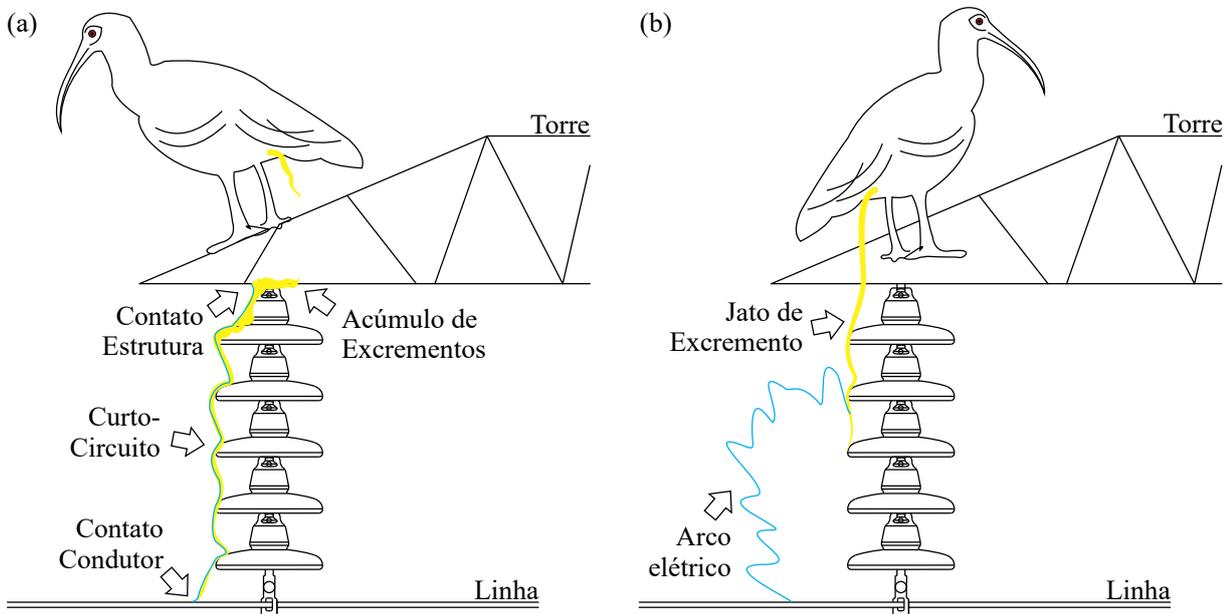
Quando os pássaros defecam sobre a torre, os seus dejetos podem criar um caminho condutor que une, parcial ou totalmente, o espaço entre a estrutura e os condutores de alta tensão, provocando curtos-circuitos e/ou arcos voltaicos (SUNDARARAJAN et al., 2004).

Os excrementos das aves realizam o “contornamento” da parte externa do isolador, favorecido ainda pelo acúmulo de poeira, de sais e de umidade na superfície do mesmo. Dessa forma, ocorre o contato físico entre as partes metálicas do suporte, o excremento e o condutor, provocando um curto-circuito, representado na Figura 7-a (ROOYEN; VOSLOO; HARNESS, 2002; NAIDOO; IJUMBA; BRITTEN, 2006).

Além disso, como verificado em Rooyen, Vosloo e Harness (2002) e Naidoo, Ijumba e Britten (2006), os referidos excrementos influenciam na redução da rigidez dielé-

trica do ar entre o condutor e as partes metálicas do suporte, possibilitando a ocorrência de um arco elétrico, descrito na Figura 7-b. Esse fenômeno tem maior probabilidade de acontecer em dias com elevada umidade do ar.

Figura 7 – *Bird streamer* em isoladores: (a) curto-circuito; e (b) arco elétrico.



Fonte: Fiuza et al. (2019)

2.2.2 Eletrocussão

O choque elétrico no pássaro ocorre quando ele realiza a conexão involuntária entre o condutor e as partes metálicas da torre com o seu corpo, principalmente com as suas asas. As aves de grande porte pousadas sobre o topo do pórtico ao realizarem a abertura de suas asas acabam tocando no cabo condutor, gerando um curto-circuito e, conseqüentemente, na sua morte por eletrocussão. Entretanto, esse tipo de problema é observado com maior frequência em linhas de 138 *kV* ou de tensões inferiores, devido ao menor espaçamento entre os condutores e as partes metálicas das estruturas de sustentação (ROOYEN; VOSLOO; HARNESS, 2002).

2.2.3 Curicaca

A *Theristicus Caudatus* (Boddaert, 1783), conhecida popularmente como Curicaca, observada na Figura 8-a, pertence a ordem Pelecaniformes e família Threskiornithidae, que apresentam aves pernaltas com bico longo e curvo. Medem, aproximadamente, 690 *mm* de altura com uma envergadura de 1.400 *mm*, comprimento de ponta a ponta das asas abertas. Geralmente o macho é maior que a fêmea. Possui asas largas de coloração clara e caracteriza-se pelas marcas pretas na região perioftálmica. Durante o seu voo é possível observar a parte inferior negra e uma mancha branca no lado superior da asa, demonstrado na Figura 8-b (SICK, 1997; LORENZETTO et al., 2004; SIGRIST, 2009).

Figura 8 – Curicaca (*Theristicus Caudatus*): (a) no solo; e (b) voando.

Fonte: (a) Thomas (2012); e (b) Merighi (2019)

Segundo Matheu e Hoyo (1992) e Sick (1997), as Curicacas são aves de natureza migratória. Encontram-se espalhadas por toda a América do Sul, sendo típicas de paisagens abertas, verificando-se um grande número de indivíduos no Brasil.

São localizadas em campos naturais e áreas de cultivo, como capoeiras, beiras de matas secas, caatingas, cerrados, plantações e pastos sujos, onde encontram fartura de alimentos (SCHERER NETO, 1982; BELTON, 1994; SICK, 1997; LORENZETTO et al., 2004).

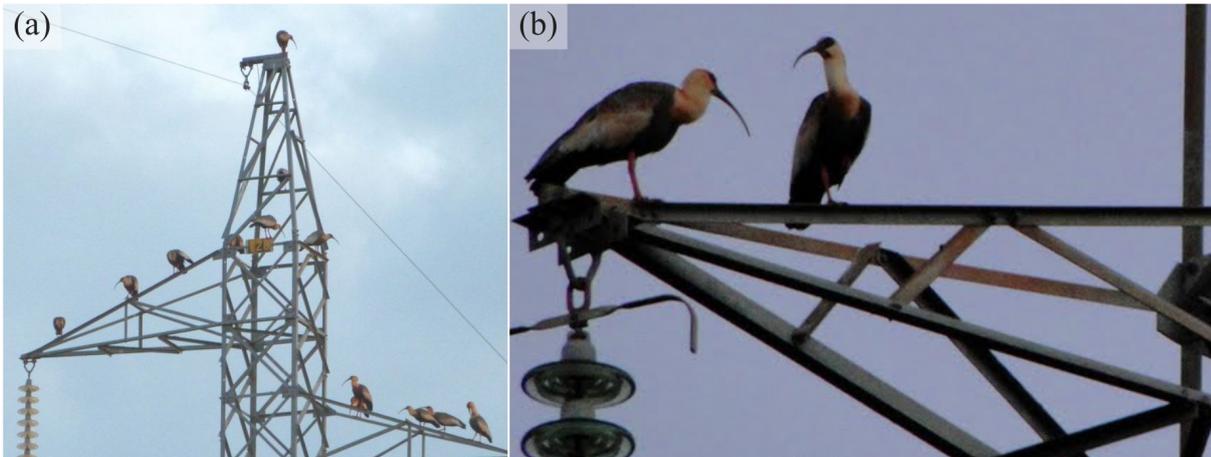
O revolvimento do solo para o preparo das lavouras expõe invertebrados, aumentando a disponibilidade de alimentos, atraindo-as para as áreas agrícolas. Buscam, também, locais com queimadas, rastreando presas de pequeno porte assustadas com os focos de incêndio (SICK, 1997; SIGRIST, 2009).

Consumem invertebrados de solo como insetos, aracnídeos, quilópodes, anelídeos e moluscos; alguns pequenos vertebrados, como anfíbios, mamíferos e répteis; e até mesmo pequenas aves. Seu bico comprido e curvado é adaptado para a extração de alimentos situados dentro da terra (MATHEU; HOYO, 1992; SICK, 1997).

Habitualmente, indivíduos desta espécie interagem em duplas e, ao entardecer, reúnem-se em bandos, constituindo uma colônia como estratégia de manter o local seguro e vocalizar durante a noite e ao amanhecer. O seu período reprodutivo compreende os meses de julho a dezembro, podendo variar de forma tardia ou antecipada, conforme o favorecimento do ambiente em relação a presença de predadores, alimentos e locais para a nidificação (SICK, 1997; DAL CORNO, 2012).

Destaca-se que, as Curicacas apresentam fácil adaptação aos diferentes habitats e perturbações ambientais, ocupando áreas antropizadas para a nidificação e pouso, inclusive no topo de torres do sistema de transmissão de energia elétrica, como se verifica na Figura 9 (OLIVEIRA, 2008; SIGRIST, 2009).

Figura 9 – Curicacas no sistema de transmissão: (a) sobre a estrutura; e (b) sobre o isolador.



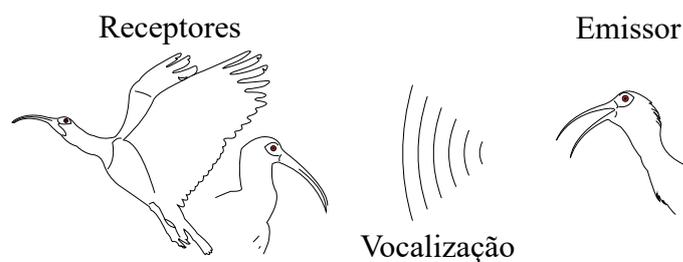
Fonte: (a) Bichos (2015); e (b) Andrade et al. (2005)

Além disso, possuem comportamento agonístico passivo quando expostas a perturbações externas, como de outros animais ou humanos. Utilizam-se da vocalização para se comunicar com os outros indivíduos da colônia, como para alertar os demais e/ou afastar um possível predador nas proximidades. Contudo, permanecendo a ameaça, deslocam-se para longe do local. A presença de predadores como aves de rapina podem assustá-las, causando sua fuga, prejudicando a nidificação e a utilização do local como poleiro (DONAZAR, 1994; DAL CORNO, 2012).

2.3 Interação Biológica dos Pássaros

Segundo Thorpe (2013), a emissão de sons é uma das formas mais comuns pelas quais os animais se comunicam entre si. A vocalização de pássaros, por exemplo, visa espantar predadores, alertar outras aves sobre um perigo, atrair um parceiro, identificar a sua prole na colônia, comunicar-se com o bando enquanto voam ou defender o seu território, como apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Comunicação entre as aves.



Fonte: Fiuza et al. (2019)

Algumas espécies de aves produzem entonações de alertas diferentes, conforme a origem da ameaça. Vocalizam uma entonação de canto para um predador aéreo, como uma

águia ou coruja, e outra para um predador terrestre, como um gato ou cobra. Diferindo-se, ainda, entre um pedido de socorro e um alerta (STARKEY; STARKEY, 1973; SCHMIDT; JOHNSON, 1983).

De acordo com Thompson et al. (1968), há uma variedade de sons que assustam os pássaros, gerados naturalmente, como de predadores, ou sintetizados, como de sirenes. A vocalização de um pássaro predatório, como o grito de um falcão, e chamadas de socorro de uma ave sob ameaça, causam medo em outros pássaros e a evasão deles do local. Sons sintetizados, como explosões e vozes humanas, também assustam algumas aves.

Conforme Conover (1994), a vocalização de chamadas de socorro é projetada por um emissor para alertar outros indivíduos da colônia, sobre um predador que capturou esse interlocutor. Assim, aumenta-se a probabilidade de sobrevivência dos demais pássaros receptores. Portanto, o grito/som de socorro não visa aumentar as chances de sobrevivência do emissor ao ataque, mas sim de evitar que seus pares tenham destino similar.

Destaca-se que as aves ao captarem um chamado de socorro tendem a sobrevoar o local de onde o som foi emitido, a fim de obter informações sobre a área e do predador, para evita-los futuramente (KRUUK, 1976; CURIO; ERNST; VIETH, 1978). Esse grito de desespero de um pássaro fragilizado poderá, ainda, atrair outros predadores, maximizando o risco à colônia sobre o local (PERRONE JR, 1980; HOGSTEDT, 1983).

Segundo Conover (1994), geralmente a reprodução de chamadas de socorro assusta as aves de forma eficaz somente por um curto período. Os indivíduos que se aproximam da fonte do som, esperam ver uma ave sendo fisicamente atacada por um predador. Caso não identifiquem um perigo visual, reduz-se a eficácia dessa técnica, facilitando a sua habituação.

Conover e Perito (1981), Conover (1985), Conover (1987) complementam que, se as reproduções de chamadas de socorro forem combinadas com um modelo de predador, mesmo que estático como uma estátua, os pássaros tendem a aumentar o seu estado de alerta e evasão do local. Especialmente com um modelo representando a captura do emissor do som. Demonstra-se, na Figura 11, a representação de um molde assustador aos pássaros.

Pesquisas sobre a reprodução artificial da comunicação entre os pássaros, como chamadas de socorro, são realizadas desde os anos 50 (FRINGS; JUMBER, 1954). Muitos desses estudos buscam métodos para afastar as aves de áreas onde causam perturbações, como campos de produção agrícola (SUMMERS, 1985) e de geração eólica (KHAN, 2014).

Figura 11 – Modelo representativo da captura de um pássaro por predador.

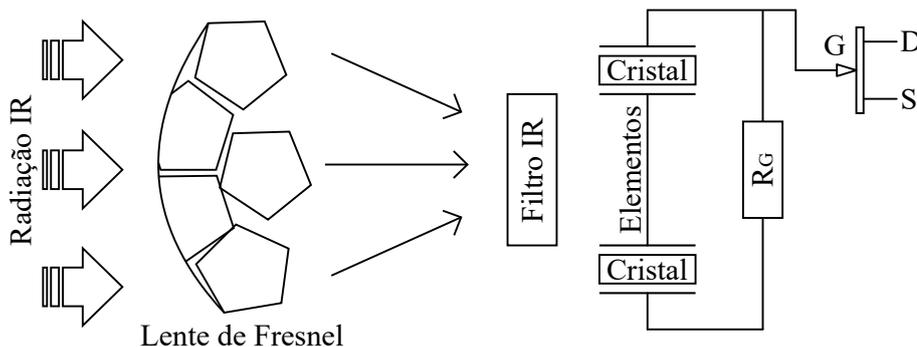


Fonte: Fiuza et al. (2019)

2.4 Sensor Infravermelho Passivo

O sensor Infravermelho Passivo, do inglês *Passive InfraRed* (PIR), detecta a variação de luz Infravermelho, do inglês *InfraRed* (IR), emitida por corpos irradiantes dentro do seu campo de visão, com alcance médio de 5 m e detecção de comprimento de onda em torno de $11 \mu m$. Tais sensores transformam energia térmica em energia elétrica a partir do Efeito Piroelétrico, onde a mudança na temperatura corporal de um material causa a expansão térmica do cristal produzindo uma diferença de potencial elétrico. Então, quando exposto ao calor sob a forma de IR, o material cristalino localizado no interior do detector, gera uma carga elétrica temporária na sua superfície. Esse potencial elétrico acompanha linearmente o aumento da radiação, sendo monitorado por um Transistor de Efeito de Campo, do inglês *Field Effect Transistor* (FET), também disposto no sensor, conforme Figura 12. O dispositivo recebe essa variação de forma passiva (entrada) e, então, gera um sinal elétrico (saída), que pode ser interpretado por uma unidade de controle e executar uma determinada função (ZAPPI; FARELLA; BENINI, 2006; SATHISHKUMAR; RAJINI, 2015).

Figura 12 – Sensor PIR.



Fonte: Adaptado de Murata (2009).

Originalmente o elemento sensor possui uma pequena área de cobertura, filtro IR de proteção dos elementos, utilizando-se assim um domo plástico construído com lentes de *Fresnel*, que focalizam a luz IR, aumentando consideravelmente seu campo de visão. São utilizados dois elementos cristalinos conectados de forma a se compensarem potencialmente, a fim de suprimir a interferência resultante da variação de temperatura, vibração e luz solar. Então, quando um corpo quente se move na frente do sensor, um elemento se excita primeiro que o outro, enquanto que, para fontes de IR como a luz solar, ambos elementos são excitados simultaneamente, anulando um ao outro.

Ressalta-se que o objetivo desses sensores é identificar a variação do movimento de um corpo quente e não a sua intensidade IR. Tais sensores são amplamente utilizados em câmeras de monitoramento, localizadas em ambientes externos, devido ao seu funcionamento em condições de baixa luminosidade, e por apresentar tamanho, consumo de energia e custo bastante reduzidos, além de possuir durabilidade significativa (BRYANT; BRAUN, 2003; ZAPPI; FARELLA; BENINI, 2006).

2.4.1 Elemento Infravermelho DPS101B

O DPS101B é um elemento sensor infravermelho passivo, desenvolvido para captar radiações de calor com comprimentos de onda na faixa dos $12 \mu m$. Pequenos sinais térmicos, menores que $1 \mu W$, são suficientes para produzir uma mudança no seu nível de tensão da saída, oscilando entre alto e baixo (MURATA, 2009; CHIP, 2012). Observam-se na Tabela 5, outras informações pertinentes sobre esse elemento infravermelho.

Tabela 5 – Especificações técnicas do elemento IR DPS101B.

<ul style="list-style-type: none"> • Tensão de operação e limites: 3,3 ou 5 V e $2,2 \sim 15 V$ • Corrente de operação: 5 V / 500 μA • Tensão do sinal de saída: 3,3 ou 5 V • Espectro de resposta: 5 – 14 μm • Nível de ruído: <70 mV • Temperatura de operação: $-30^\circ \sim 70^\circ C$
--

Fonte: Chip (2012).

A sua tensão de alimentação apresenta faixa de operação entre $2,2 \sim 15 V$, baixo consumo de energia, temperatura de operação entre $-30^\circ \sim 70^\circ C$ e alcance médio de detecção de 6 m, com um ângulo de até 138° . Suporta ambientes com umidade relativa de até 95 %, possuindo uma proteção hermética satisfatória (CHIP, 2012). Na Tabela 6, tem-se a descrição dos pinos do DPS101B.

Tabela 6 – Descrição dos terminais do elemento IR DPS101B.

Terminal	Descrição
D	<i>Drain</i>
S	<i>Source</i>
G	<i>Gate</i>

Fonte: Adaptado de Chip (2012).

2.4.2 Circuito Integrado BISS0001

O BISS0001 é um Circuito Integrado (CI) desenvolvido para o controle de elementos sensores PIR, que realiza o processamento do sinal gerado por estes elementos. Demonstrem-se na Tabela 7, as informações sobre esse componente de controle.

Tabela 7 – Especificações técnicas do CI BISS0001.

• Tensão de operação e limites: 3,3 ou 5 V e 1,8 ~ 6 V
• Corrente de operação (sem carga): 5 V / 100 μA
• Tensão do sinal de saída: 3,3 ou 5 V
• Temperatura de operação: -20° ~ 70°C

Fonte: Tontek (2017).

A sua tensão de alimentação apresenta faixa de operação entre 1,8 ~ 6 V, baixo consumo de energia, temperatura de operação entre -20° ~ 70°C e excelente imunidade a ruídos eletromagnéticos (CHIP, 2013; TONTEK, 2017). Na Tabela 8, apresenta-se a descrição dos pinos do BISS0001.

As portas RR1 e RC1 permitem o controle da largura do pulso de saída em VO. Já as portas RR2 e RC2 controlam o tempo de bloqueio entre detecções do sensor, utilizando-se por padrão o tempo de, aproximadamente, 3,5 s (TONTEK, 2017).

2.5 Circuito Integrado ATtiny85

O ATtiny85 é um microcontrolador de tecnologia Metal-Óxido-Semicondutor Complementar, do inglês *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS), de 8 bits, que possui baixo consumo de potência e é baseado na arquitetura do Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções, do inglês *Reduced Instruction Set Computer* (RISC). O seu núcleo combina o conjunto de instruções com 32 registros de trabalho de uso geral, sendo esses registros conectados diretamente à unidade lógica aritmética, permitindo que dois registros independentes sejam acessados em apenas uma instrução executada com ciclo de *clock* único. Esse atributo resulta em uma maior eficiência de processamento, permitindo a otimização do consumo de energia *versus* a velocidade de processamento (ATMEL, 2013).

Tabela 8 – Descrição dos terminais do CI BISS0001.

Terminal	Descrição
A	Função trigger: repetir (1) não repetir (0)
VO	Tensão de saída
RR1	Controle da largura do pulso de VO
RC1	
RR2	Controle do tempo de bloqueio entre detecção
RC2	
VSS	Ground (Gnd)
VREF	Tensão de referência (1) e reset (0)
VC	Detecção: ativada ($VC > 0,2 \times VREF$) desativada ($VC < 0,2 \times REF$)
IB	Corrente de polarização
VDD	Tensão de operação (Vcc)
OUT2	Saída do ampop* de 2º estágio
INN2	Entrada do ampop* de 2º estágio
INP1	Entradas do ampop* de 1º estágio
INN1	
OUT1	

*amplificador operacional

Fonte: Adaptado de Tontek (2017).

Tal dispositivo apresenta, também, as seguintes características:

- 8 *k bytes* de memória *flash* Programável no Circuito, do inglês *In-System Programming* (ISP), permitindo, assim, a regravação do CI pela interface serial;
- 512 *bytes* de Memória não Volátil Programável Eletricamente, do inglês *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory* (EEPROM), e de Memória Estática de Acesso Aleatório, do inglês *Static Random Access Memory* (SRAM);
- 6 portas digitais de Entrada ou Saída (E/S);
- 4 portas com Conversor Analógico para Digital, do inglês *Analog to Digital Converter* (ADC) de 10 *bits*;
- possui um temporizador/contador de 8 *bits* com modos de comparação; e
- um temporizador *watchdog* programável com oscilador interno (ATMEL, 2013).

Expõem-se, na Tabela 9, outras informações pertinentes sobre esse microcontrolador.

O mesmo dispõe, ainda, de conexão via Porta Serial Universal, do inglês *Universal Serial Bus* (USB), simplificando a inserção do *bootloader* e a regravação do *firmware*. Na Tabela 10, descreve-se a disposição e nomenclatura dos seus terminais.

Tabela 9 – Especificações técnicas do CI ATtiny85.

• Tensão de operação e limites: 5 V e 1,8 ~ 5,5 V
• Corrente de operação: 1,8 V / 300 μA
• Temperatura de operação: -40° ~ 85°C

Fonte: Atmel (2013).

Tabela 10 – Descrição dos terminais do CI BISS0001.

Terminal	Descrição
PB5	ADC 0, E/S 5 e <i>reset</i>
PB3	ADC 3, E/S 3 e USB <i>data-</i>
PB4	ADC 2, E/S 4 e USB <i>data+</i>
GND	<i>Ground</i> (Gnd)
PB0	E/S 0 e serial (MOSI)
PB1	E/S 1 e serial (MISO)
PB2	ADC 1 e E/S 2
VCC	Tensão de operação (Vcc)

Fonte: Adaptado de Atmel (2013).

2.6 Circuito Integrado YX5200-24SS

O YX5200-24SS é um circuito integrado desenvolvido para o controle de cartões de memória e de dispositivos USB, o qual realiza o processamento de integração ou decodificação de arquivos nos formatos Arquivo de Áudio MPEG 3, do inglês *MPEG audio layer 3* (MP3), e Arquivos de Vídeo do *Windows*, do inglês *Windows Media Video* (WMV), contidos no cartão de memória ou dispositivo USB. Suporta dispositivos de armazenamento no formato Tabela de Alocação de Ficheiros de 16 ou 32 *bits*, do inglês *File Allocation Table 16 or 32 bits* (FAT16/32) com o tamanho máximo de 32 *GB* (XIN, 2013). Observam-se, na Tabela 11, outras características técnicas desse CI.

Tabela 11 – Especificações técnicas do CI YX5200-24SS.

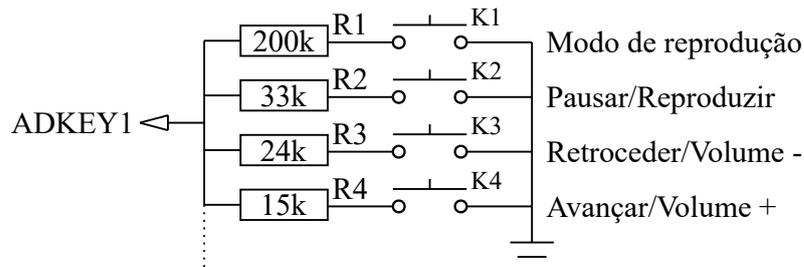
• Tensão de operação e limites: 4,2 V e 3,2 ~ 5 V
• Corrente de operação (sem carga): 15 mA
• Taxa de amostragem: 8 k ~ 48 kHz
• Saída: 24-bits ADC
• Faixa dinâmica de 90 dB
• SNR: 85 dB
• Temperatura de operação: -40° ~ 80°C

Fonte: Xin (2013).

Esse circuito integrado comporta até 99 pastas com 255 áudios cada, o nome das pastas deve iniciar por 01 até 99 e dos áudios de 001 a 255. Contém dois modos de controle

principais, por suas duas portas Analógico ou Digital (A/D) ADKEY1 e ADKEY2, para controle externo por botões (Figura 13) e, também, pela sua porta serial (*Tx* e *Rx*), possibilitando o seu controle por comandos seriais. Ambas as funcionalidades permitem acesso às funções reproduzir, pausar, avançar para o próximo áudio, retroceder para o áudio anterior, ajustar o volume, entre outras (XIN, 2013).

Figura 13 – Comandos básicos do YX5200-24SS por teclado externo.



Fonte: Adaptado de Xin (2013).

A Tabela 12 denota a distribuição e descrição dos terminais do YX5200-24SS.

Tabela 12 – Descrição dos terminais do CI YX5200-24SS.

Terminal	Descrição
DACL	Saída de áudio canal esquerdo
DACR	Saída de áudio canal direito
VDDIO	Tensão de saída de 3,3 V
VDD	Tensão de operação (V_{cc})
VSS	<i>Ground</i> (Gnd)
DACVSS	
GPIOA6	Teclado externo ADKEY1
GPIOB4	<i>Clock</i>
GPIOB3	Resposta de comando
GPIOB2	Barramento de dados
VCOM	Desacoplamento

Fonte: Adaptado de Xin (2013).

2.7 Cartão de Memória *Flash*

O Cartão de Memória *flash*, do inglês *TransFlash* (TF), é um pequeno módulo de armazenamento em memória *flash*, com dimensões de 11x15x1 mm e capacidade de armazenamento de até 128 MB. A sua tensão de operação é de 3,3 V e pode oscilar no intervalo limítrofe de 2,7 a 3,6 V. Consome até 58 mA e pode operar em temperaturas entre -40° e 85°C, sendo capaz de suportar uma umidade relativa de até 85 % (SANDISK, 2004). A Tabela 13 apresenta a descrição dos seus terminais.

Tabela 13 – Descrição dos terminais do cartão de memória *TransFlash*.

Terminal	Descrição
D2	Barramento de dados (<i>bit</i> 2)
CD/D3	Detecção de cartão / Barramento de dados (<i>bit</i> 3)
CMD	Resposta de comando
VDD	Tensão de operação (V_{cc})
CLK	<i>Clock</i>
VSS	<i>Ground (Gnd)</i>
D0	Barramento de dados (<i>bit</i> 0)
D1	Barramento de dados (<i>bit</i> 1)
\overline{CD}	Detecção de cartão (inversor)

Fonte: Adaptado de SanDisk (2004)

2.8 Circuito Integrado PAM8610

Circuito integrado destinado à amplificação de sinais de áudio, possuindo baixo consumo de energia e aquecimento bastante reduzido. Dissipa grande parte do calor produzido nos alto-falantes. Fornece desempenho de áudio de qualidade, classe D, arquitetura de modulação sem filtro e de baixa interferência eletromagnética. Dispensa a utilização de grandes indutores e capacitores entre os seus canais de saída e os alto-falantes, os quais são, geralmente, exigidos por amplificadores tradicionais de classe D, apresentando, assim, tamanho físico significativamente pequeno (DIODES, 2013). Verificam-se, na Tabela 14, outras informações sobre esse circuito integrado.

Tabela 14 – Especificações técnicas do PAM8610.

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Tensão de operação e limites: 12 V e 7 ~ 15 V • Corrente máxima (saída de 20 W): 1,67 A • Canais de saída: 10 % de $THD + N$ • Nível de ruído: -90 dB; • Eficiência: ~ 92 % • Temperatura operação: -65° ~ 150°C |
|--|

Fonte: Adaptado de Diodes (2013).

A potência máxima desse CI é de 20 W, quando comportando dois alto-falantes de 8 Ω e de 10 W. Possui, também, proteção contra sobre corrente/aquecimento, curto-circuito e supressão de ruído (DIODES, 2013). Na Tabela 15, expõe-se o seu diagrama de pinos.

Tabela 15 – Descrição dos terminais do CI PAM8610.

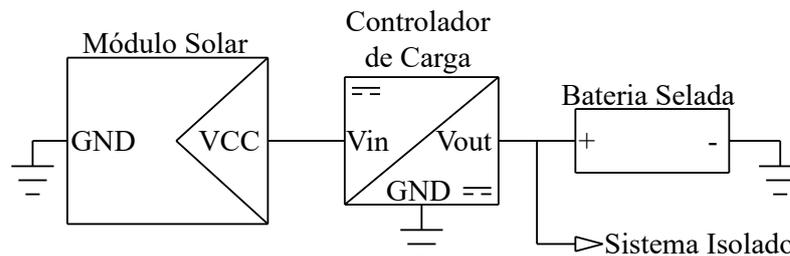
Terminal	Descrição
RINN	Entrada - do canal de áudio direito
RINP	Entrada + do canal de áudio direito
LINP	Entrada + do canal de áudio esquerdo
LINN	Entrada - do canal de áudio direito
LOUTN	Saída - do canal esquerdo
LOUTP	Saída + do canal esquerdo
AGND	Ground (<i>Gnd</i>)
AVCC	Tensão de operação (<i>Vcc</i>)
ROUTN	Saída - do canal direito
ROUTP	Saída + do canal direito

Fonte: Adaptado de Diodes (2013).

2.9 Energia Solar

Sistemas isolados da rede elétrica (*off grid*) demandam a utilização de aparelhos que supram a ausência dessa conexão. Dentre as opções disponíveis para o dispositivo proposto, recorreu-se à energia solar, que é representada por painel solar, controlador de carga e bateria. Obtém-se a energia fotovoltaica da franca conversão da luz solar em eletricidade, fenômeno que é conhecido como efeito fotovoltaico. Define-se esse efeito como o surgimento de uma diferença de potencial nas extremidades de um material semicondutor, que surge da excitação dos elétrons presentes nas suas bandas de energia, ocasionada pela incidência dos raios solares (PINHO; GALDINO, 2014). Apresenta-se na Figura 14, o circuito elétrico característico utilizado em sistemas solares autônomos de pequeno porte.

Figura 14 – Circuito elétrico característico de um sistema solar *off grid*.



Fonte: Adaptado de Pinho e Galdino (2014)

A célula fotovoltaica é o elemento central da geração de energia elétrica obtida da exposição solar. Fabricada, geralmente, utilizando-se o silício como material semicondutor, divide-se em dois tipos principais: monocristalinas e policristalinas. As primeiras apresentam maior eficiência, uma vez que são submetidas a um processo de confecção mais rígido e controlado sobre o grau de pureza do semicondutor. Já as policristalinas, apresentam qualidade inferior no grau de pureza dos cristais, conferindo-lhes, nesse quesito, inferioridade na sua fabricação. Porém, essa redução no controle da qualidade resulta em

um custo de aquisição menor. Por fim, as células fabricadas são encapsuladas em módulos com um vidro de proteção e estrutura metálica, protegendo-as das intempéries (PINHO; GALDINO, 2014).

Os controladores de carga regulam a carga e descarga das baterias, resguardando-as da sobrecarga e/ou descarga profunda, aumentando a vida útil desses armazenadores. Quando a bateria atinge plena carga, o regulador corta o fornecimento de corrente do módulo solar para a bateria. Similarmente ao exposto, no momento em que a bateria se aproximar de um nível crítico de tensão, o controlador corta o fluxo de corrente entre o consumidor externo e a bateria. Esses dispositivos de proteção são indicados para pequenos sistemas, compostos por componentes com baixo consumo energético (PINHO; GALDINO, 2014).

Ainda, de acordo com Pinho e Galdino (2014), os gerenciadores de carga são divididos em dois tipos principais: por Modulação por Largura de Pulso, do inglês *Pulse Width Modulation* (PWM) e por Rastreamento do Ponto de Máxima Potência, do inglês *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). O PWM corta o nível de tensão excedente, a fim de manter a corrente constante, enquanto o MPPT faz o rastreamento do ponto de maior geração entre as curvas de tensão e corrente, extraindo a máxima potência do módulo, reduzindo drasticamente as perdas de energia, em oposição ao PWM. Contudo, o custo do PWM é inferior ao do MPPT.

Pinho e Galdino (2014) complementam que, a profundidade de descarga, ou carga mínima, é o percentual de energia consumida de uma bateria. Exemplificando-se, caso ocorra o consumo de 4 *A.h* de um armazenador com capacidade de fornecimento de 10 *A.h*, resultar-se-á em uma taxa de profundidade de descarga de 40 %. Já a sobrecarga, ocorre quando da incidência de uma tensão externa ser maior que a tensão de recarga da bateria, após o acumulador atingir o seu nível de plena carga. Assim, a plena carga é o fornecimento de tensão na faixa de operação em regime permanente, produzindo o fenômeno da flutuação, que busca manter o nível de tensão próximo ao de plena carga. Acrescenta-se, ainda, que a autodescarga é o processo natural no qual ocorre uma descarga progressiva do armazenador, oriunda de grandes períodos em inércia, sem fluxo de corrente com um consumidor externo, devendo-se essa anomalia a processos químicos no seu interior.

As baterias comumente utilizadas em sistemas isolados são as de chumbo-ácido seladas, estas possuem o eletrólito confinado interiormente e, para evitar as perdas de água para o ambiente externo, realizam um ciclo interno com o oxigênio. Esse tipo de bateria descarta a necessidade de manutenções periódicas e confere maior proteção aos seus eletrólitos. Além disso, suportam diversas descargas profundas e apresentam baixa taxa de autodescarga, quando comparadas com as demais baterias de chumbo-ácido, requerendo-se, contudo, uma recarga constante para evitar danos pela sulfatação. Frisa-se que, a corrente de recarga de baterias seladas não deve ultrapassar 10 % da sua

corrente máxima de fornecimento. Aconselha-se, ainda, utilizar esse tipo de bateria em ambientes onde a temperatura não ultrapasse a faixa entre -10° e $45^{\circ}C$. Destaca-se que, inferindo-se esses limites por longos períodos de operação, o armazenador pode apresentar pontos críticos no seu material interno, perdendo gradativamente a sua eficiência (PINHO; GALDINO, 2014).

2.10 Considerações do Capítulo

A contextualização fornecida pelo referencial teórico, introduzida neste Capítulo e oriunda das pesquisas realizadas sobre o presente estudo, corrobora com o esforço à mitigação e mensuração da problemática com o *bird streamer*. Tal capítulo aborda as características da rede aérea de transmissão de energia elétrica e a correlação com as influências das atividades biológicas das aves, em especial ao pássaro pertencente a ordem Pelecaniformes conhecido popularmente como Curicaca.

Por fim, são também apresentadas as informações técnicas sobre os componentes eletrônicos que compõem o dispositivo proposto, com a organização e explanação sobre os dados retirados de *datasheet's* e de outras referências bibliográficas, informações as quais auxiliaram na fabricação e nas especificações de consumo energético, temperatura de operação, entre outras definições do dispositivo.

No Capítulo 3, apresenta-se a metodologia desenvolvida para o trabalho, com o método de pesquisa e prototipação, bem como são discutidas as premissas sobre as inspeções em campo.

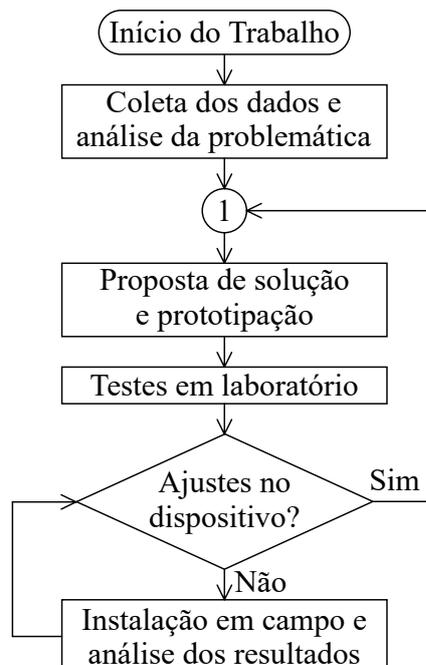
3 METODOLOGIA DO TRABALHO

O presente Capítulo tem por finalidade apresentar a metodologia utilizada no trabalho, baseando-se em quatro etapas distintas, porém interconectadas:

1. Análise da problemática dos desligamentos forçados nas redes aéreas de transmissão do SEP brasileiro relacionados ao *bird streamer*;
2. Proposta de método e desenvolvimento de um protótipo à solução do problema;
3. Testes preliminares do dispositivo em laboratório; e
4. Implementação *in loco*, análise dos resultados e desempenho do método desenvolvido.

A metodologia proposta consiste na análise dos dados fornecidos pelas concessionárias de energia e do relatório anual de desligamentos forçados da ANEEL, verificando-se a correlação entre a problemática da presença de aves nas estruturas metálicas com os desligamentos intempestivos do sistema. Mediante a verificação desses dados, define-se então a proposta de solução, realizando-se o projeto do dispositivo e os testes laboratoriais. Por fim, implanta-se o dispositivo em campo, avaliando-se o seu desempenho na solução do problema e robustez com as intempéries do ambiente. Efetuando-se, quando necessárias, as correções e melhorias do projeto nas etapas de desenvolvimento laboratorial e nos testes de implementação local. A Figura 15 apresenta os processos metodológicos descritos.

Figura 15 – Fluxograma da metodologia do trabalho.



Fonte: Autor.

3.1 Análise dos Dados e Correlação com o Problema em Estudo

Esta etapa compreende a obtenção e interpretação dos dados, objetivando-se a similitude da fundamentação teórica apresentada no Capítulo 2 com o *bird streamer*, demonstrando-se os conceitos construtivos das torres do sistema de transmissão de energia elétrica e seus isoladores, as características dos desligamentos forçados e a influência das aves no sistema da rede aérea de transmissão de energia elétrica.

3.1.1 Características da Rede Aérea de Transmissão

Realiza-se a análise das características construtivas das torres do sistema de transmissão, frisando-se as particularidades incidentes sobre as cadeias de isoladores, como localização geográfica da instalação e o seu nível de isolação elétrica.

3.1.2 Características dos Desligamentos Forçados

Analisa-se os desligamentos intempestivos do sistema, organizando-se as ocorrências por período do ano, horário de maior incidência, causa do desligamento e natureza elétrica, objetivando-se, assim, a quantização dos dados coletados das concessionárias e agência reguladora de energia.

Reitera-se ainda, como apresentando na Seção 2.2, as características típicas dos desligamentos forçados causados pelas aves:

- Natureza fugitiva do defeito;
- Falta do tipo fase-terra e com indícios de baixa impedância;
- Ocorre, geralmente, em uma condição climática de tempo bom, associada a uma umidade elevada do ar; e
- Maior incidência no período noturno, entre os horários das 19 horas às 6 horas do dia seguinte, e em meses típicos do período reprodutivo do pássaro Curicaca.

3.2 Desenvolvimento da Proposta de Solução

O objetivo desta etapa é produzir uma hipótese factível para o enfrentamento das interrupções no fornecimento de energia elétrica, causadas pela combinação de fatores como umidade e o acúmulo de dejetos de poluição e/ou pássaros. Assim, conforme a execução da caracterização e quantização do problema se corrobora para o prognóstico da origem dos desligamentos intempestivos, neste caso, diretamente relacionados com a poluição ambiental do local instalado, seja pelo fator humano, como da fauna. Dessa forma, têm-se duas possibilidades de mitigação sobre o problema, a limpeza regular das cadeias de isoladores e/ou evitar a aproximação de animais no topo da torre.

A primeira possibilidade, que é a limpeza periódica dos isoladores, não se apresenta como uma prática desejável à concessionária de transmissão. Existem centenas de

cadeias de isoladores ao longo dos trechos de transmissão de energia, o que demandaria considerável tempo de trabalho em campo para limpeza. Ademais, o sistema conta com uma incidência pluviométrica regular, a qual realiza uma limpeza de forma natural e constante, com precipitações distribuídas ao longo do ano.

Desse modo, desenvolve-se, neste trabalho, um dispositivo que afaste animais do topo das torres, de forma não invasiva à fauna. Conforme os métodos apresentados na Seção 1.3, onde se verificaram as características desses, optou-se pelo projeto de pesquisa de um repelente sonoro de pássaros, metodologia com pouco referencial científico no Brasil. Realizando-se, também, testes preliminares em laboratório com o objetivo de validar a implementação do proposto.

3.3 Local de Instalação do Dispositivo

O dispositivo proposto deve ser implantado em trechos ao longo da linha de transmissão, onde se avaliará o seu desempenho e monitoramento da efetividade perante a problemática dos pássaros. Recomendando-se a instalação do dispositivo em trechos da rede aérea onde há maior incidência de ocorrências dos desligamentos intempestivos, conforme perfil traçado na análise das características dessas interrupções forçadas.

3.4 Análise do Funcionamento e Efetividade do Dispositivo

Baseia-se na análise das ocorrências de desligamentos forçados nos locais onde o dispositivo foi instalado, avaliando-se o seu desempenho e efetividade na redução dos casos de interrupção por pássaros. Nessa etapa, métodos de localização de falta são de suma importância, pois auxiliarão na análise remota dos pontos com dispositivo instalado, fornecendo uma precisão satisfatória na identificação do ponto de interrupção. Contribuindo-se, assim, com o trabalho de inspeção em campo pós-ocorrência, facilitando a localização e posterior análise da efetividade do método desenvolvido neste trabalho.

Na caracterização dos desligamentos intempestivos, devem-se seguir os seguintes procedimentos para inspeção em campo:

- Identificar horário aproximado da ocorrência de falta;
- Causa visual do desligamento, como dejetos de pássaros ou sujeira sobre isoladores;
- Local aproximado da interrupção, para posterior verificação de possível rota de migração de aves ou área com alta incidência de umidade e/ou nevoeiro; e
- Análise climática do local no horário estimado da ocorrência, como temperatura, umidade e velocidade do vento.

Esse fluxo de informações procedimentais possibilita uma melhor análise dos resultados, atestando a efetividade do dispositivo desenvolvido.

3.5 Considerações do Capítulo

O presente Capítulo demonstrou a metodologia adotada na pesquisa do referencial teórico e o planejamento estratégico para o desenvolvimento do trabalho, bem como as premissas para a implantação em campo e análise do desempenho, visando esclarecer os procedimentos realizados e, também, possibilitar a criação de novos trabalhos correlatos.

Apresenta-se, no Capítulo 4, o desenvolvimento físico do dispositivo proposto para a mitigação da problemática envolvendo o *bird streamer*.

4 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO

O presente Capítulo descreve o desenvolvimento do dispositivo, apresentando a sua prototipação. Com uma descrição detalhada do trabalho, sobre os seus conceitos construtivos e definições de funcionamento, tem-se a intenção de explicar de forma clara os processos do desenvolvimento e evidenciar as dificuldades encontradas.

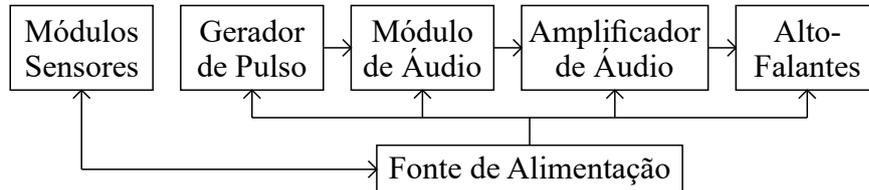
O Capítulo 4 está dividido em duas etapas principais, onde cada etapa representa os processos de criação do projeto, sendo estas:

- Etapa 1 – Projeto do Circuito Eletrônico; e
- Etapa 2 – Projeto da Estrutura do Dispositivo.

4.1 Etapa 1 - Projeto do Circuito Eletrônico

O protótipo é fabricado a partir de módulos eletrônicos disponíveis no mercado internacional de sistemas embarcados. Contudo, trata-se de uma metodologia pioneira dentro do âmbito nacional. A etapa do desenvolvimento do circuito eletrônico pode ser dividida de acordo com os blocos da Figura 16.

Figura 16 – Diagrama em blocos do dispositivo.



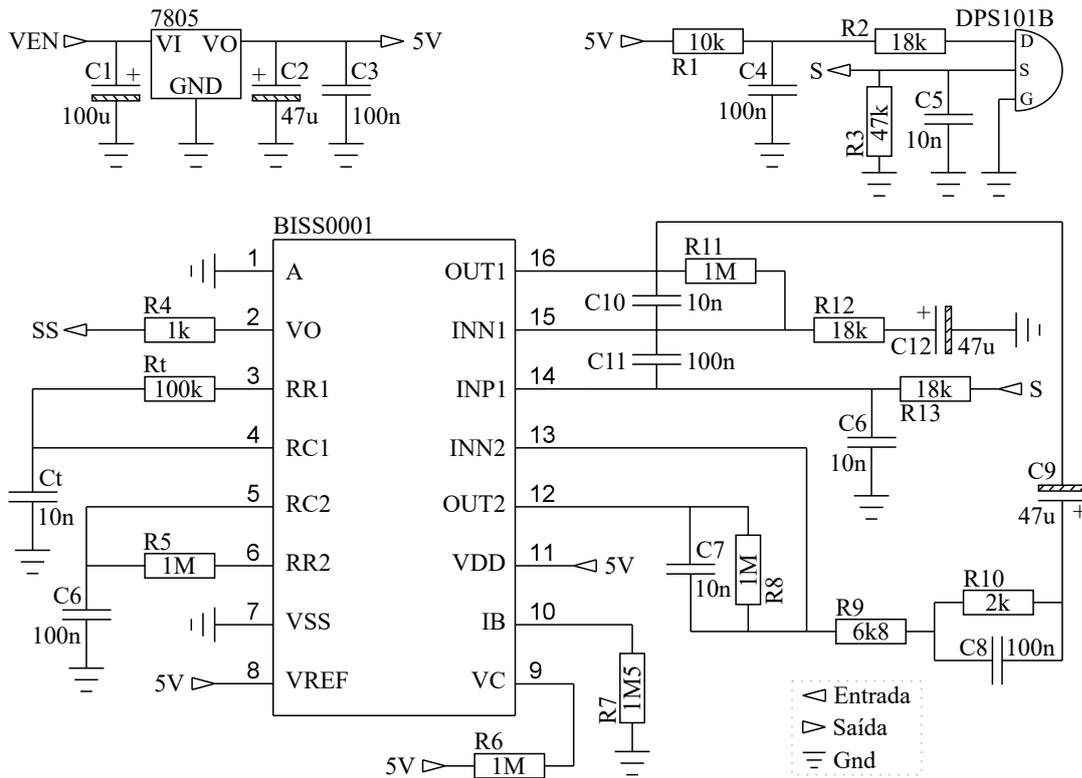
Fonte: Autor.

O dispositivo é composto por dois módulos sensores, um gerador de pulso, um módulo de áudio, um amplificador de áudio, dois alto-falantes e uma fonte de alimentação, sendo um método desenvolvido, especificamente, para a implantação no topo das estruturas metálicas do sistema de transmissão de energia elétrica.

4.1.1 Módulos Sensores

As aves são animais endotérmicos, apresentando comprimento de onda compatível com sensores de infravermelho. Dessa forma, a análise sensorial do dispositivo é realizada por dois sensores de presença do tipo infravermelho passivo. O circuito eletrônico do sensor PIR utiliza como componentes centrais o elemento DPS101B, o sensor piroelétrico IR passivo e o circuito integrado BISS0001 como unidade de controle. A Figura 17 apresenta o circuito eletrônico do sensor infravermelho passivo utilizado no dispositivo desenvolvido.

Figura 17 – Circuito eletrônico do módulo sensor.



Fonte: Adaptado de Chip (2013) e Tontek (2017)

A tensão de operação do módulo sensor é de 5 V, deste modo o nível de tensão de 12 V da Tensão de ENtrada (VEN), fornecido pela bateria, é reduzido para 5 V pelo regulador de tensão 7805.

A largura de pulso do Sinal de Saída (SS) é regulada pelas portas RR1 e RC1, representadas pelos componentes resistor R_t e capacitor C_t . Eles ajustam o Tempo do Sinal de Saída (T_{SS}) em que o SS permanecerá em nível alto. Assim, definem-se os valores de $100\text{ k}\Omega$ e 10 nF , respectivamente, que mantêm o SS ativo por, aproximadamente, 25 s (Equação 4.1).

$$T_{SS}(s) = 24.576 \times 100k \times 10n = 24,576s \quad (4.1)$$

Onde 24.576 é um valor estipulado pelo fabricante do circuito integrado BISS0001.

Aplica-se nível baixo (zero) no terminal A, para que o sensor realize somente uma detecção por ciclo. Dessa forma, o detector aguarda o término de T_{SS} mais o tempo de bloqueio de 3,5 s para realizar uma nova detecção.

Ainda, cabe destacar que, como os sensores de presença verificam em tempo real se os pássaros pousaram no topo da torre, possibilita-se manter os demais componentes do dispositivo desligados, reduzindo drasticamente o consumo de energia elétrica e dificultando a adaptação das aves aos estímulos. A Tabela 16 apresenta o diagrama em blocos e a terminologia do módulo sensor.

Tabela 16 – Descrição dos terminais do módulo sensor.

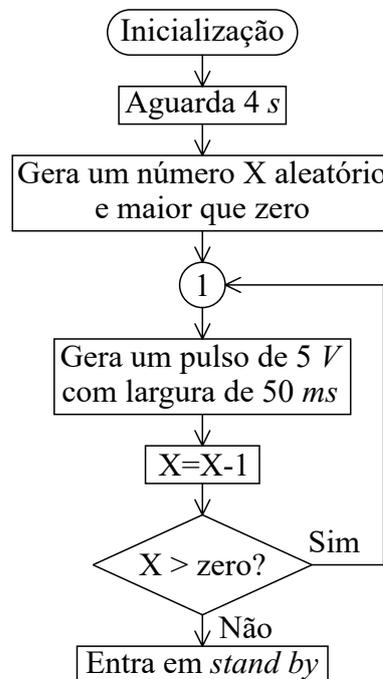
Diagrama	Terminal	Descrição
	VEN	Tensão de entrada: 12 V
	SS	Saída do sinal do módulo
	GND	Comum de referência

Fonte: Autor.

4.1.2 Gerador de Pulso

O controle da reprodução aleatória de um áudio é realizado pelo CI ATtiny85, a partir do momento da detecção de presença pelos sensores, os demais componentes do circuito são energizados, incluindo-se esse microcontrolador. Assim sendo, após o seu processamento de inicialização, na faixa dos *ms*, o ATtiny85 aguarda 4 *s*, que corresponde ao intervalo de inicialização do módulo de áudio, e gera pulsos aleatórios que são enviados para o módulo de áudio, no intuito de se reproduzir aleatoriamente um som repelente. O seu fluxograma é descrito na Figura 18.

Figura 18 – Fluxograma de operação do gerador de pulso.

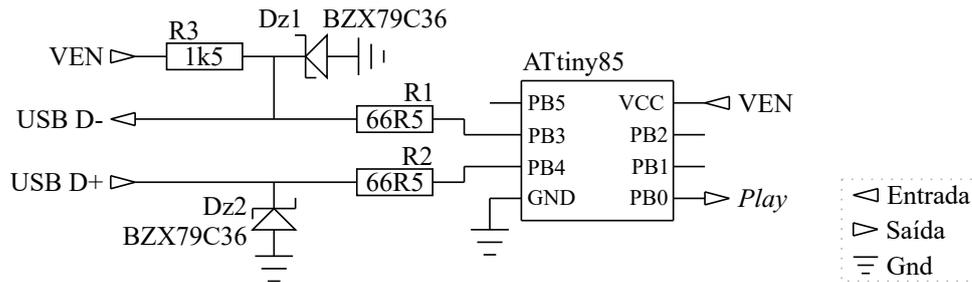


Fonte: Autor.

O valor de X é produzido aleatoriamente, ajustando-se no *firmware* o intervalo de sorteio, respeitando a quantidade de áudios contidos no cartão de memória, ou seja, o X pode variar de 1 a 255. A geração do(s) pulso(s) de 5 V com largura de 50 *ms*,

visa simular a utilização de um botão externo, uma vez que a comunicação serial entre os módulos é mais susceptível a falhas. Dessa forma, tem-se uma lógica de operação simples e otimizada para o ATtiny85. Após o envio do seu trem de pulso(s), o controlador entra no modo de *stand by*, isto é, entra em estado de aguardo até o término da detecção do módulo sensor, para a sua desenergização. A Figura 19 expõe o diagrama eletrônico do gerador de pulso.

Figura 19 – Circuito eletrônico do gerador de pulso.



Fonte: Adaptado de Kettenburg (2012).

A gravação do microcontrolador é efetuada pelas portas USB D+ e USB D-. A saída *Play* é o trem de pulso(s) enviado para o módulo de áudio.

Optou-se por esse modelo de controlador devido às suas características se adequarem à finalidade do dispositivo. Ressaltando-se o seu enquadramento satisfatório dentro das necessidades de processamento e número de portas para o projeto, haja vista suas características operacionais, bem como sua robustez para aplicações deste tipo. Ademais, tal dispositivo é bastante favorecido pelo seu baixo custo e tamanho reduzido. Demonstra-se, na Tabela 17, o diagrama em blocos e a terminologia do gerador de pulso.

Tabela 17 – Descrição dos terminais do gerador de pulso.

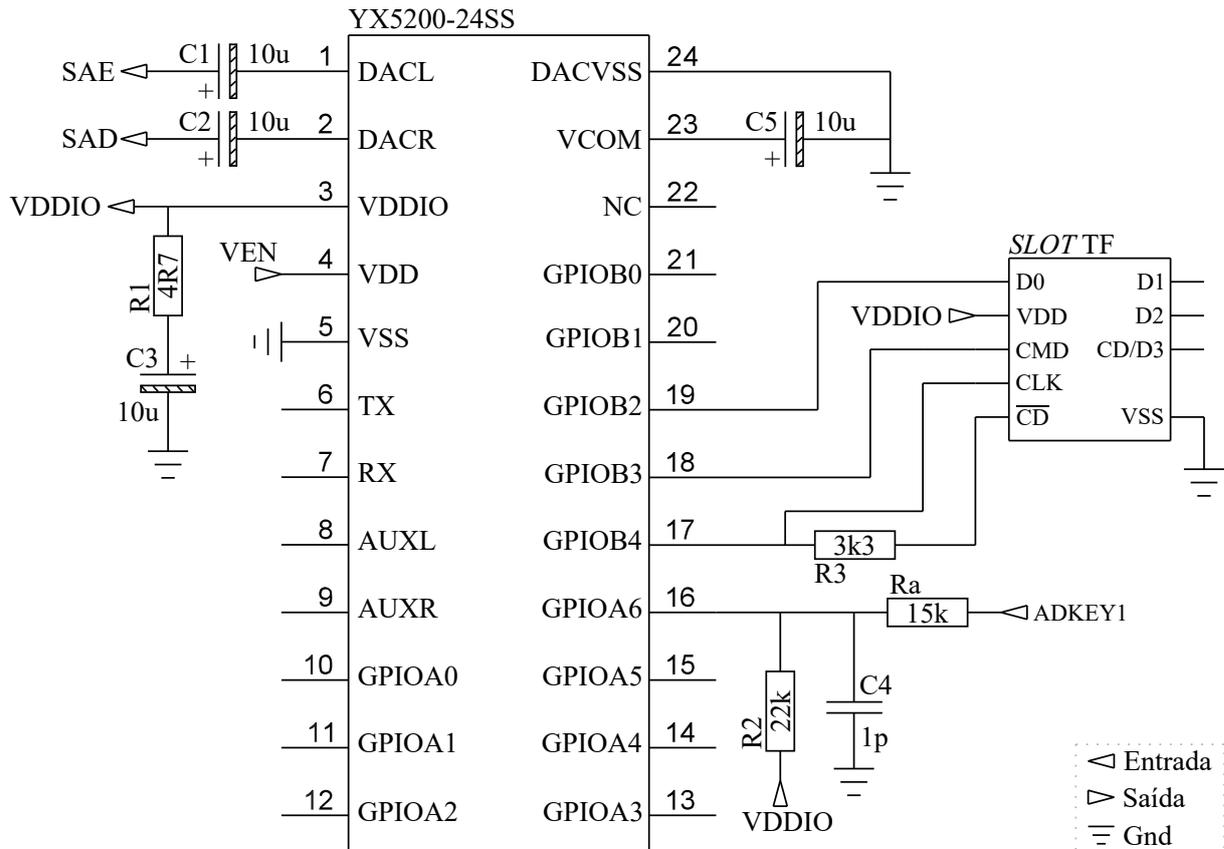
Diagrama	Terminal	Descrição
VEN	VEN	Tensão de entrada: 5 V
<i>Play</i>	<i>Play</i>	Saída do trem de pulso (s)
GND	GND	Comum de referência

Fonte: Autor.

4.1.3 Módulo de Áudio

Responsável pelo armazenamento e execução dos sons repelentes para as aves. Utilizam-se como componentes centrais, no seu circuito eletrônico, o suporte para TF e o circuito integrado YX5200-24SS, que tem por função atuar como unidade de controle. Na Figura 20, exibe-se o circuito eletrônico do módulo de áudio utilizado no dispositivo desenvolvido.

Figura 20 – Circuito eletrônico do módulo de áudio.



Fonte: Adaptado de Xin (2013).

As saídas Sinal de Áudio Esquerdo (SAE) e Sinal de Áudio Direito (SAD) enviam o sinal de áudio produzido para o amplificador. E o VDDIO é um nível de tensão de 3,3 V gerado pelo próprio circuito integrado YX5200-24SS.

O valor do resistor R_a é de 15 k Ω , então, quando o microcontrolador enviar o trem de pulso(s), o terminal ADKEY1 é conectado ao *Gnd* durante esse trem, executando a função de avançar do YX5200-24SS. Esse CI acessa de forma direta o TF contido no *slot*, reproduzindo os áudios espantadores de aves, armazenados no cartão. São mostrados, na Tabela 18, o diagrama em blocos e a terminologia do módulo de áudio.

Tabela 18 – Descrição dos terminais do módulo de áudio.

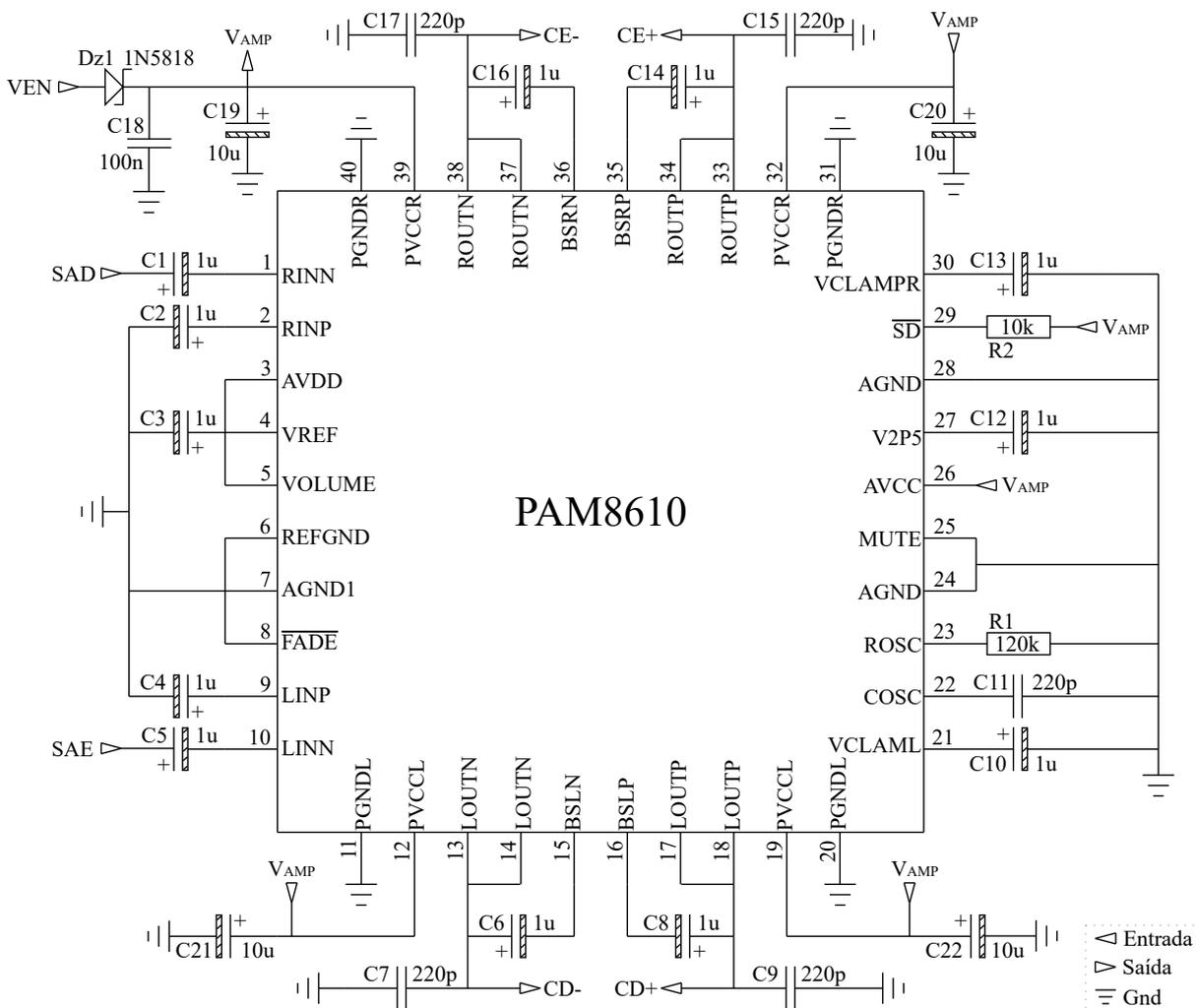
Diagrama	Terminal	Descrição
	VEN	Tensão de entrada: 5 V
	ADKEY1	Entrada do pulso externo
	SAE	Saída do sinal de áudio esquerdo
	SAD	Saída do sinal de áudio direito
	GND	Comum de referência

Fonte: Autor.

4.1.4 Amplificador de Áudio

Injeta um ganho de potência no áudio reproduzido pelo módulo de áudio, pois o sinal gerado por este módulo apresenta baixa intensidade energética, na ordem de mW . Utiliza-se como componente central, no seu circuito eletrônico, o circuito integrado PAM8610, que atua como unidade amplificadora. Tem-se, na Figura 21, o circuito eletrônico do amplificador de áudio utilizado no dispositivo desenvolvido.

Figura 21 – Circuito eletrônico do amplificador de áudio.



Fonte: Adaptado de Diodes (2013).

A Tensão de operação do AMPlificador (V_{AMP}) resulta da saída entre a VEN de alimentação e a etapa de proteção do circuito. A Tabela 19 demonstra o diagrama em blocos e a terminologia do amplificador de áudio.

O sinal de áudio, oriundo do respectivo módulo, é recebido pelo PAM8610 através das entradas SAD e SAE. Por conseguinte, como o circuito integrado possui dois canais de saída, direito e esquerdo, o sinal amplificado é enviado para o alto-falante do canal direito pelas saídas Canal Direito negativo (CD-) e Canal Direito positivo (CD+). Analogamente, o mesmo ocorre para o alto-falante do canal esquerdo, onde as saídas são Canal Esquerdo

negativo (CE-) e Canal Esquerdo positivo (CE+).

Tabela 19 – Descrição dos terminais do amplificador de áudio.

Diagrama		Terminal	Descrição
		VEN	Tensão de entrada: 12 V
		SAD	Entrada do sinal de áudio direito
		SAE	Entrada do sinal de áudio esquerdo
		CE+	Saída do canal esquerdo positivo
		CE-	Saída do canal esquerdo negativo
		CD+	Saída do canal direito positivo
		CD-	Saída do canal direito negativo
		GND	Comum de referência

Fonte: Autor.

4.1.5 Fonte de Alimentação

O dispositivo é alimentado por uma bateria selada de chumbo ácido regulada por válvula, com uma tensão nominal V de 12 V e capacidade de fornecimento de corrente $I_{A.h}$ de 7 A.h. Essa bateria é recarregada por um módulo fotovoltaico policristalino com Potência nominal em Máxima Potência P_{MP} de 10 W, corrente I_{MP} de 0,6 A, tensão V_{MP} de 16,5 V e com um rendimento η de 10 %. A carga da bateria é regulada por um controlador de carga PWM, para sistemas *off grid* de pequeno porte, com capacidade de operação com uma corrente I de até 10 A. Estão contidas, na Tabela 20, as características dos itens que compõem a fonte de alimentação.

Tabela 20 – Especificações da fonte de alimentação.

Placa Solar		Bateria Selada		Controlador de Carga	
P_{MP} (W)	10	V (V_{cc})	12	V (V_{cc})	12/24
V_{MP} (V_{cc})	16,5	$I_{A.h}$ (A)	7	I (A)	10
I_{MP} (A)	0,6	F (V)	13,5 a 13,8	V_{corte} (V_{cc})	10,8
η (%)	10	I_{MR} (A)	1,92	$V_{máx}$ (V_{cc})	14
Peso (kg)	1,2	Peso (kg)	2	Peso (kg)	0,2

Fonte: Autor.

Essas características consideram as condições nominais de operação em temperatura ambiente de 25°C e irradiação solar de 1000 W/m², onde o painel solar apresenta uma variação da sua potência nominal de ± 3 %. A bateria possui uma Flutuação (F) de tensão entre 13,5 e 13,8 V, com uma Corrente Máxima de Recarga (I_{MR}) de 1,92 A. O gerenciador de carga é do tipo PWM e apresenta detecção automática da tensão de operação V de 12/24 V, com saída constante de tensão e, proteções contra curto-circuito e sobrecarga. Efetua o carregamento da bateria com uma Tensão Máxima (V_{max}) de 14 V e possui uma Tensão de Corte (V_{corte}) de 10,8 V.

Idealmente, o armazenador de $12\text{ V}/7\text{ A.h}$ é recarregado em 11 horas e 40 minutos (Equação 4.2), quando conectado nessa placa solar de $12\text{ V}/0,6\text{ A.h}$ e partindo do estado de carga mínima até a plena carga. Contudo, como o nível de irradiância solar no Brasil apresenta uma irradiância média de $1000\text{ W}/m^2$ por cerca de 6 horas de sol pico diárias (TIBA et al., 2000), estimam-se dois dias para uma recarga completa, tendo em vista, condições climáticas favoráveis à geração de energia solar.

$$t = \frac{7\text{A.h}}{0,6\text{A.h}} = 11,6667 = 11\text{ h e } 40\text{ min} \quad (4.2)$$

Verifica-se que os parâmetros do módulo solar estão dentro dos critérios de carregamento da bateria selada pelo controlador de carga. O painel fornece $0,6\text{ A}$, valor abaixo do limite de corrente de $1,92\text{ A}$ de recarga da bateria, por, aproximadamente, 6 horas de sol pico, sendo este tempo satisfatório para manter o dispositivo em pleno funcionamento.

Por fim, apresenta-se na Tabela 21, o diagrama em blocos e a terminologia da fonte de alimentação utilizada.

Tabela 21 – Descrição dos terminais da fonte de alimentação.

Diagrama	Terminal	Descrição
VCC	VCC	Tensão de saída: 12 V
GND	GND	Comum de referência

Fonte: Autor.

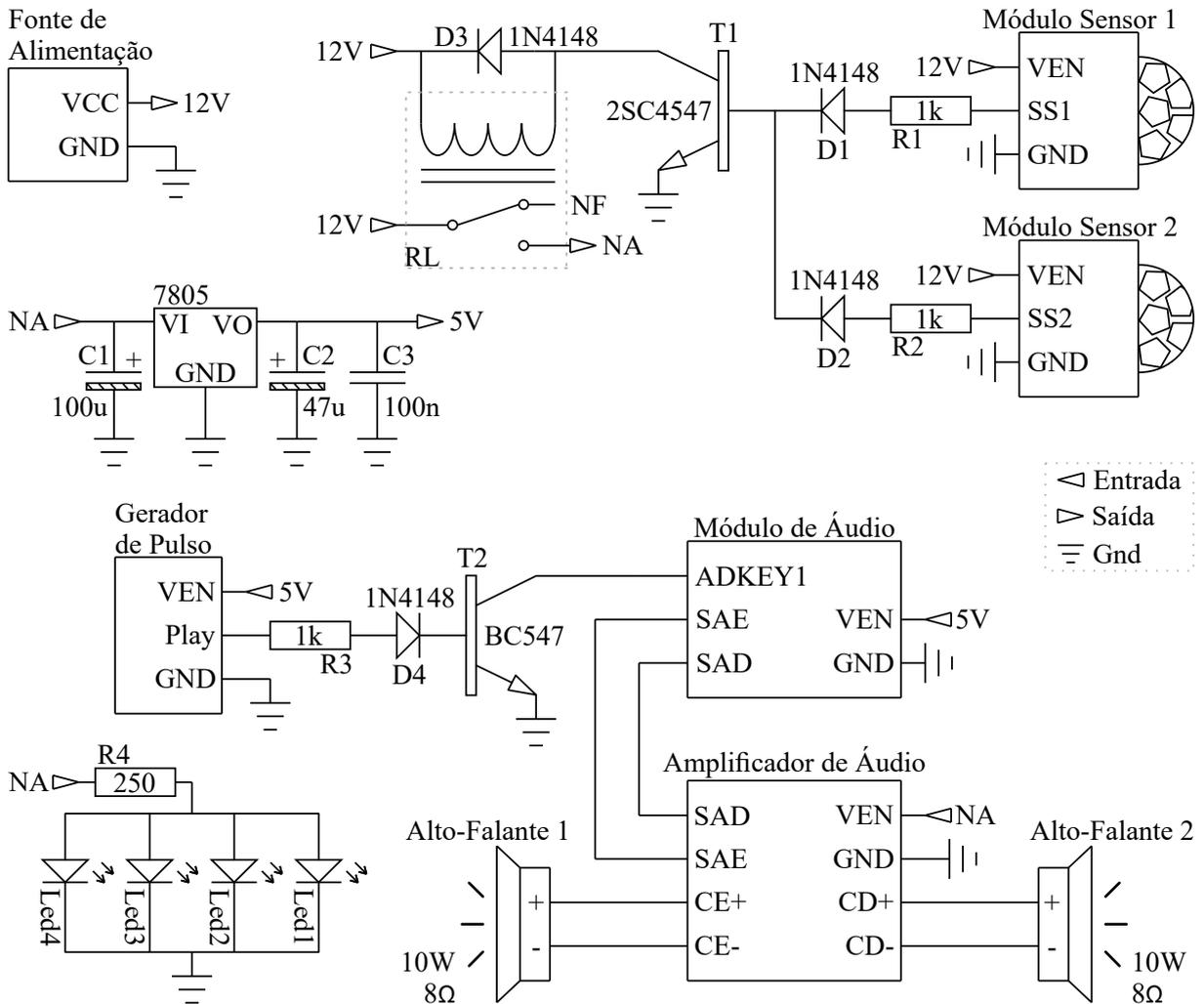
4.1.6 Circuito Final do Dispositivo

O circuito eletrônico do dispositivo desenvolvido é composto pela conexão entre os componentes dos módulos sensores, do módulo de áudio, do amplificador de áudio e da fonte de alimentação. A Figura 22 contém esse diagrama, utilizando-se de blocos representando os elementos eletrônicos descritos anteriormente.

Acrescenta-se no circuito final do dispositivo, além dos demais módulos já apresentados, a utilização de quatro Diodos Emissores de Luz, do inglês *Light Emitters Diodes* (LEDs), vermelhos de alto brilho, que simulam os olhos de um predador de aves. Os LEDs Led1 e Led2 ficam dispostos acerca do módulo sensor 1 e os Led3 e Led4 próximos ao módulo sensor 2.

A placa principal é alimentada pela bateria de chumbo-ácido de 12 V que, por sua vez, é recarregada pelo painel fotovoltaico de 10 W e o nível de tensão de 5 V é obtido do regulador de tensão 7805. Assim, o barramento de 12 V alimenta os módulos sensores e módulo de amplificação, enquanto que, o de 5 V , alimenta o gerador de pulso e o módulo de áudio.

Figura 22 – Circuito eletrônico do dispositivo.



Fonte: Autor.

Somente os sensores permanecem energizados em regime permanente, sendo os demais módulos conectados à saída do relé RL de 12 V. Os sinais gerados pelos sensores possuem dois níveis de tensão, alto ou baixo, e são enviados para a base do transistor T1, que opera como uma chave abre e fecha. Quando ocorre o gatilho do T1, o RL libera a passagem de corrente para os demais módulos do dispositivo por, aproximadamente, 25 s, alimentando o amplificador de áudio, os LEDs vermelhos e o regulador de tensão 5 V, que fornece o nível de tensão adequado para o gerador de pulso e o módulo de áudio.

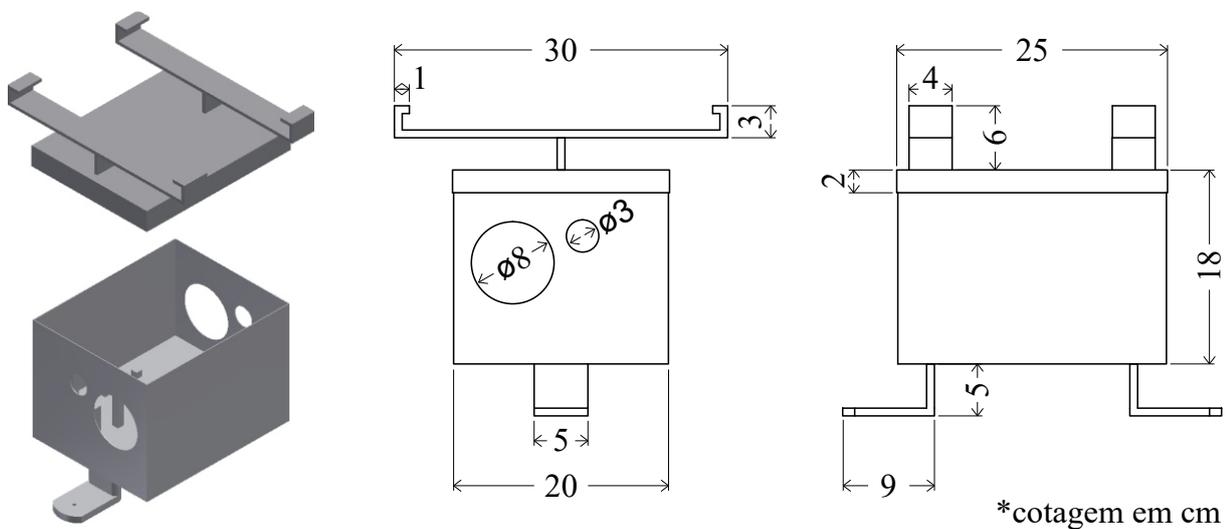
A entrada ADKEY1 do módulo de áudio controla o início da reprodução de um dos sons. Dessa forma, mediante a energização completa do dispositivo, o gerador de pulso envia um trem de pulso(s) aleatório à base do transistor T2, componente de chaveamento, conectado nessa entrada. O som repelente reproduzido pelo módulo de áudio é definido pelo número de pulsos produzidos pelo gerador de pulso, ou seja, um pulso reproduz o áudio de nome 001.MP3, dois pulsos 002.MP3 e, assim, sucessivamente. Reitera-se que, como o YX5200-24SS possui um atraso de inicialização de até, aproximadamente, 3,5 s, todo trem de pulso(s) gerado apresenta um retardo de 4 s na borda de subida do seu

primeiro pulso.

4.2 Etapa 2 - Projeto da Estrutura do Dispositivo

Definiu-se, preliminarmente, a criação de um invólucro que comportasse no seu interior os componentes eletrônicos, bateria e controlador de carga do dispositivo e, sobre a área externa, o painel solar, visando criar uma estrutura pequena, leve e de fácil manuseio para futura instalação e manutenção. Na Figura 23, apresenta-se a caixa metálica desenhada em ambiente virtual, com suas respectivas dimensões.

Figura 23 – Modelagem 3D e dimensões do dispositivo.



Fonte: Autor.

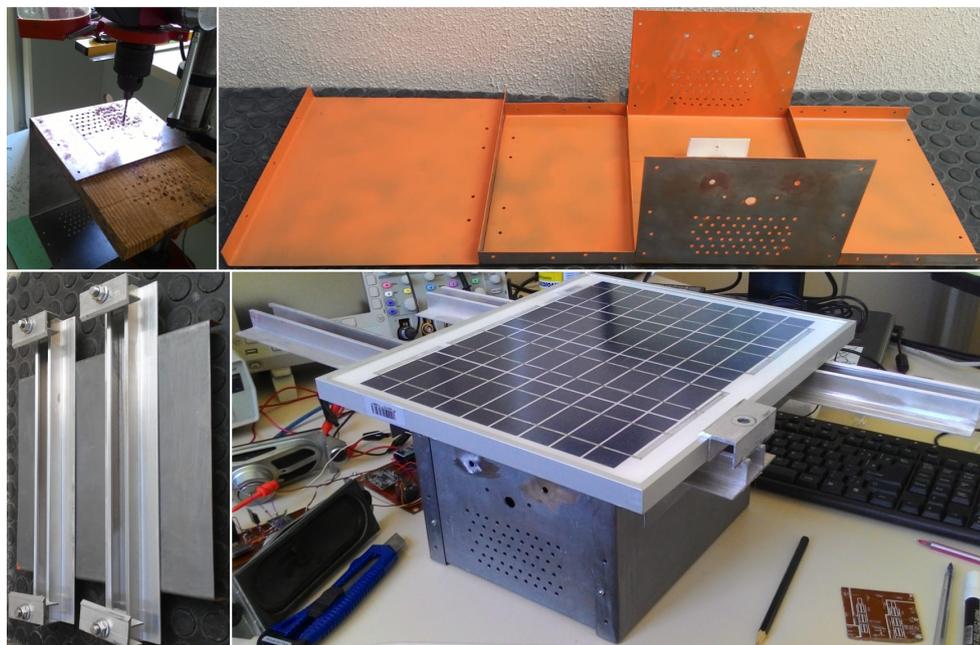
Vale destacar, também, a importância da caixa ser metálica e com isolamento térmica. O primeiro fato visa atuar como uma gaiola de *Faraday*, protegendo os componentes eletrônicos do dispositivo das interferências eletromagnéticas oriundas das linhas de transmissão. Já o segundo, a vedação térmica, busca proteger os componentes internos da ação das intempéries do tempo, como umidade, poeira e temperaturas além dos limites suportados pelos componentes.

Assim sendo, conforme as dimensões especificadas inicialmente, efetuaram-se a dobra e corte de uma chapa metálica com espessura de 1 *mm*. Na sequência foram realizadas algumas modificações no projeto físico, transferindo-se o alto-falante para a área interna do invólucro, a fim de diminuir a sua exposição à radiação solar e interferência eletromagnética. Dessa forma, foram alteradas as furações especificadas no desenho inicial. Demonstrem-se, na Figura 24, algumas etapas do processo de produção do invólucro.

Após a execução das dobras, cortes e furações nas chapas, montaram-se as suas laterais com o corpo central (formato de U), cuja conexão foi realizada com rebites. A tampa da caixa metálica é fixada em uma das laterais por duas dobradiças e, na outra extremidade, por parafusos, conferindo-lhe mobilidade e fácil acesso em manutenções

futuras. Além disso, fixaram-se sobre a tampa do invólucro dois perfis metálicos para acomodar o painel solar.

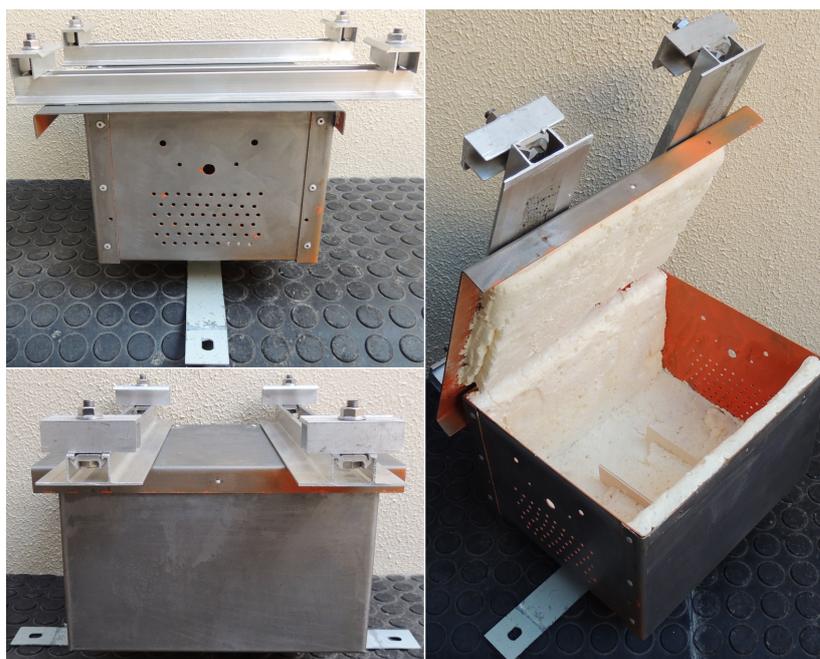
Figura 24 – Processos da produção da caixa metálica.



Fonte: Autor.

Aplicou-se, também, nas paredes do invólucro, uma camada de 15 *mm* de manta térmica de poliuretano e silicone acético nas furações rebitadas. A Figura 25 mostra a versão final da caixa metálica.

Figura 25 – Invólucro metálico do dispositivo.



Fonte: Autor.

4.3 Considerações do Capítulo

O desenvolvimento físico/prototipação do dispositivo proposto foi apresentado e descrito neste Capítulo. Este foi dividido em duas partes, onde, na primeira, o enfoque incidu sobre o projeto eletrônico, com as suas especificações e considerações. Já na segunda parte, delimitou-se no desenvolvimento do invólucro de proteção do dispositivo proposto, fornecendo detalhes sobre os processos da prototipação, como os conceitos construtivos e as características de funcionamento.

No Capítulo 5, são apresentados os resultados experimentais do dispositivo produzido.

5 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

O Capítulo 5 visa validar a operacionalização do protótipo desenvolvido, mediante apresentação dos resultados obtidos em experimentos feitos em laboratório. Complementando, ainda, com a descrição das soluções executadas para as dificuldades enfrentadas. Sugestiona-se, também, para trabalhos futuros, a definição do local de situação e instalação em campo do dispositivo, a fim de atestar a sua efetividade, verificando-se os efeitos no ambiente, com possíveis ajustes e elucidações de problemas diagnosticados. Dessa forma, o Capítulo está dividido em duas partes.

Na primeira, demonstram-se o consumo energético do sistema, alcance dos sensores e testes de robustez, com as análises preliminares em laboratório. Já na segunda parte, são apresentadas as sugestões de local para instalação do dispositivo e as premissas acerca da implantação do repelente no topo da estrutura metálica.

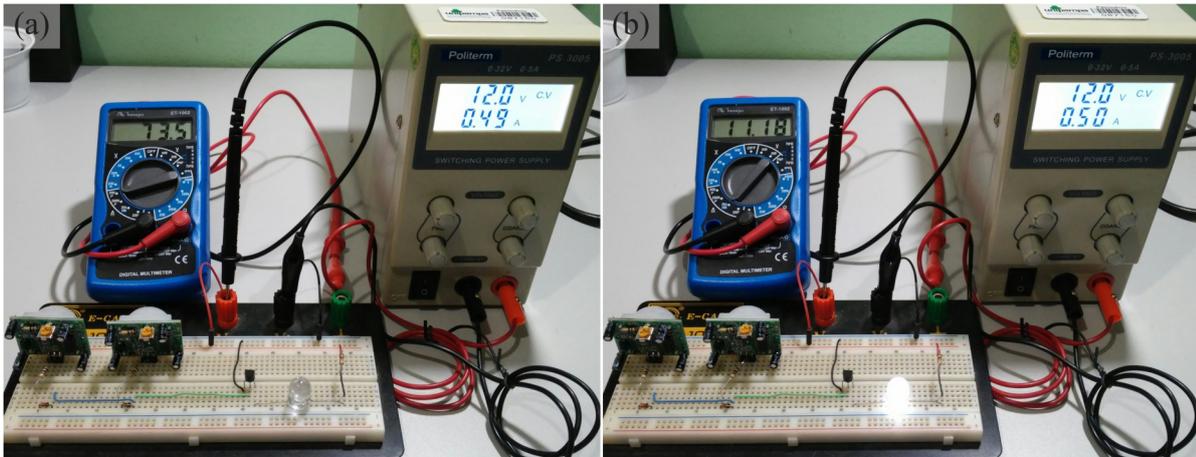
5.1 Experimentos de Validação do Protótipo

Os primeiros testes realizados foram os de verificação dos consumos de corrente dos componentes do dispositivo, ou seja, dos módulos sensores, do gerador de pulso, do módulo de áudio, do amplificador de áudio e dos LEDs vermelhos. Vale destacar que o protótipo possui dois modos de operação: o inativo, que é o estado no qual o sistema está aguardando uma detecção (*stand by*); e o ativo, quando os sensores detectam a presença de uma ou mais aves.

Assim sendo, analisa-se inicialmente o consumo energético total dos módulos sensores, que consomem energia em regime permanente no sistema. Onde se configura o multímetro na escala de corrente contínua em $200 \mu A$, para o estado inativo, e em $20 mA$, para o estado ativo. Verificando-se, então, a passagem de corrente entre a saída da fonte regulada (cabo banana vermelho + ponteira vermelha do multímetro) e a entrada do barramento de alimentação dos sensores (ponteira preta do multímetro + borne vermelho da *protoboard*), conforme Figura 26.

Observa-se que, enquanto os elementos PIR se mantêm no modo inativo (representado pelo LED branco apagado na Figura 26-a), mede-se uma corrente de consumo de $73,5 \mu A$. Quando um dos elementos detecta uma variação de IR e ativa o circuito (representado pelo LED branco aceso na Figura 26-b), tem-se um consumo de $10,23 mA$, e quando os dois elementos detectam simultaneamente uma alteração de IR, confere-se uma corrente de $11,18 mA$. Salienta-se que os valores medidos em ambos os estados são aproximados.

Figura 26 – Ensaio do consumo de corrente dos sensores: (a) inativo; e (b) ativo.



Fonte: Autor.

Realiza-se o procedimento descrito, também, nos demais componentes do dispositivo. Apresentando-se, assim, na Tabela 22, o consumo dos módulos contidos no circuito eletrônico do dispositivo.

Tabela 22 – Consumo de energia dos módulos em mA.

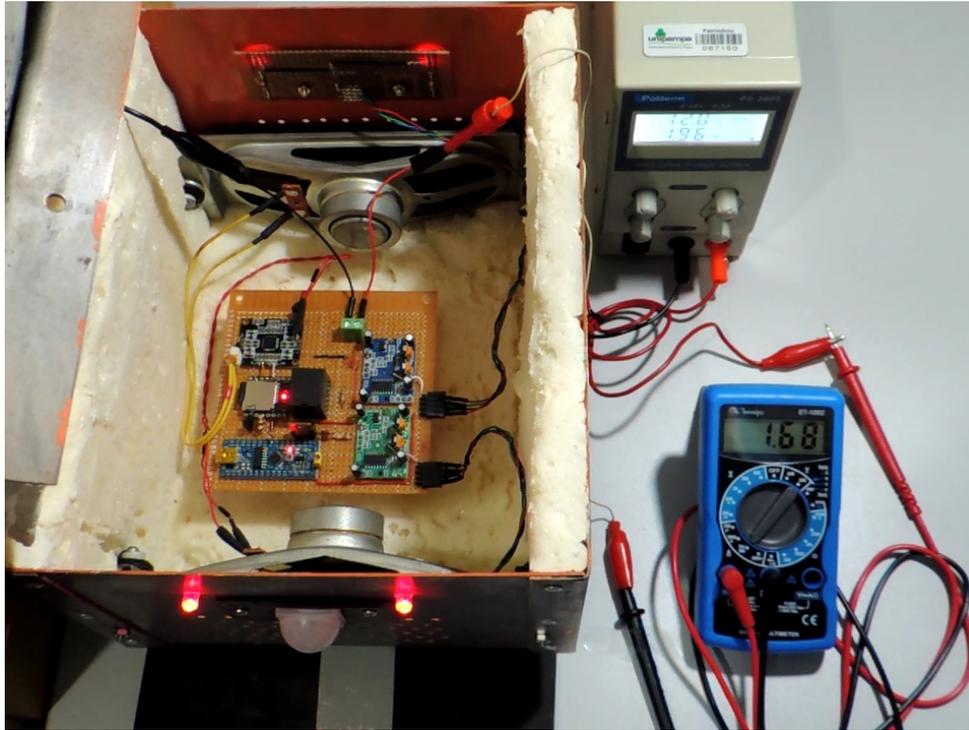
Componente	Estado (mA)	
	Inativo	Ativo
Módulos sensores PIR	0,0735	11,18
Gerador de pulso	0	13,02
Módulo de áudio	0	25,61
Amplificador de áudio	0	1.570,1
Led's vermelhos	0	56,52
Regulador de tensão 5 V	0	4,27
CONSUMO TOTAL	0,0735	1.680,7

Fonte: Autor.

Após a verificação do consumo energético individual dos componentes do método proposto, examina-se o seu consumo global, isto é, quando os componentes são interligados e acionados em potência máxima. Neste processo, mantém-se a ponteira vermelha na saída da fonte regulada e, insere-se a ponteira preta na entrada do barramento de 12 V do circuito do dispositivo (*jumper* vermelho), modificando-se a escala do multímetro para 10 A. Este processo é exposto na Figura 27.

O consumo do dispositivo enquanto não há detecção, é o mesmo drenado pelos módulos sensores quando os elementos PIR estão inativos, pois o relé mantém desabilitado o barramento de alimentação dos demais componentes do circuito. Contudo, quando ocorre uma detecção, o circuito do dispositivo consome, aproximadamente, 1,68 A ou 20,16 W por 20 s, tempo de execução de um áudio e período dentro dos 25 s em que os sinais dos detectores se mantêm em nível alto.

Figura 27 – Ensaio do consumo de corrente do dispositivo.



Fonte: Autor.

Para efeito de análise da autonomia do protótipo se considera um caso hipotético real, em uma situação severa, com uma média de 90 ativações diárias do dispositivo, assim, calcula-se, na Equação 5.1, o tempo em que o sistema se manterá operando em potência máxima.

$$t_{ativo} = 90 \times 20 = 1800s = 30 \text{ min} \quad (5.1)$$

Verifica-se um funcionamento de 30 minutos (0,5 horas) por dia e, consequentemente, um período de 1.410 minutos (23,5 horas) em inatividade. Na Equação 5.2, estima-se o produto da potência máxima do dispositivo pelo tempo em que permanece ativo e, na Equação 5.3, o produto da potência em *stand by* pelo período em que permanece inativo.

$$C_{ativo} = 20,16W \times 0,5h = 10,0842 \text{ W.dia} \quad (5.2)$$

$$C_{inativo} = 0,882mW \times 23,5h = 20,727 \text{ mW.dia} \quad (5.3)$$

Com base nos resultados obtidos em (5.2) e (5.3), observa-se que, no intervalo de 24 horas, o dispositivo consome 10,0842 W no estado ativo (C_{ativo}) e 20,727 mW no estado inativo ($C_{inativo}$). Somando-se esses dois consumos, tem-se o consumo total de energia estimado para o aparelho proposto, conforme a Equação 5.4.

$$C_{total} = 10,0842 + 0,020727 = 10,105 \text{ W.dia} \quad (5.4)$$

Refletindo-se os valores aferidos para o consumo universal da bateria de 12 V/7 A.h, observa-se um consumo diário total de, aproximadamente, 10,105 W (C_{total}) com

uma tensão de alimentação de 12 V. Por conseguinte, drena-se uma corrente de 842,077 mA dia. Ademais, destaca-se que a bateria de 7 A.h pode suprir o funcionamento do dispositivo nessas condições adversas descritas por, aproximadamente, 199 horas, 30 minutos e 24 segundos sem irradiação solar, conforme verificado na Equação 5.5.

$$t_{bateria_caso} = \frac{7A.h}{842,077mA \cdot \frac{dia}{24h}} = 199,5066h = 199 \text{ h, } 30 \text{ min e } 24 \text{ s} \quad (5.5)$$

Isto é, são 90 ativações diárias ou 3,75 ocorrências por hora, onde se divide o consumo diário por 24 horas, obtendo-se o consumo A.h do dispositivo. Estimando-se, então, uma autossuficiência de, no mínimo, oito dias sem a recarga da bateria pela energia solar.

Ainda, considerando-se um acumulador de carga utilizado em longo prazo, deve-se avariado pelos diversos ciclos de descargas e sob a incidência constante de temperaturas além dos seus limites suportados. Apresentando uma taxa de fornecimento de energia de 75 % da sua capacidade, esse armazenador suportaria o consumo do dispositivo por, aproximadamente, 149 horas, 37 minutos e 48 segundos, ou seja, acerca-se dos seis dias de autonomia, demonstrado na Equação 5.6.

$$t_{bateria_75} = \frac{7A.h \times 0,75}{842,077mA \cdot \frac{dia}{24h}} = 149,63h = 149 \text{ h, } 37 \text{ min e } 48 \text{ s} \quad (5.6)$$

Mesmo em um estágio final de operação, a bateria ainda conseguirá manter o dispositivo em plena operação, conferindo uma autonomia robusta ao protótipo desenvolvido.

Por conseguinte, para um estado ativo ininterrupto, o protótipo se mantém atuante por, aproximadamente, 4 horas, 9 minutos e 54 segundos em um único dia, de acordo com a Equação 5.7. E, para o estado inativo, pode-se manter o dispositivo em operação contínua por até 11 anos, segundo o valor calculado na Equação 5.8.

$$t_{bateria_ativo} = \frac{7A.h}{1,68A.h} = 4,165h = 4 \text{ h, } 9 \text{ min e } 54 \text{ s} \quad (5.7)$$

$$t_{bateria_inativo} = \frac{7A.h}{73,5\mu A.h} = 95.238,1h = 10 \text{ anos e } 10 \text{ meses} \quad (5.8)$$

Dessa forma, infere-se que o consumo diário do dispositivo é totalmente suprido pelo acumulador especificado, mesmo nos casos críticos dimensionados. Reitera-se, ademais, do exposto na Seção 4.1.5, o qual diz respeito ao tempo ideal de recarga da bateria, que necessita de até 11,4 horas de sol pico (dois dias) para atingir a plena carga, a partir do nível zero de carga. Entretanto, na prática, o armazenador é recarregado diariamente no período diurno, mesmo em dias com baixa incidência solar sobre o módulo, suprimindo, no mínimo, o modo inativo e evitando um descarregamento irreversível. Soma-se, também, a proteção realizada pelo controlador de carga, a fim de evitar essa descarga profunda na tensão da bateria.

Na sequência, foi verificado o alcance máximo dos detectores de movimento com um ensaio de simulação da presença de um pássaro Curicaca nas imediações do protótipo. Utilizando-se, para isto, do movimento vertical da mão, dentro de uma área proporcional às dimensões físicas desse animal, exposto na Figura 28.

Figura 28 – Ensaio do alcance de detecção do dispositivo.



Fonte: Autor.

Constatou-se um alcance máximo de $6,5\text{ m}$, com o corpo quente entrando horizontalmente na linha de detecção. Os LEDs vermelhos acesos indicam a ativação completa do dispositivo. Ademais, de acordo com as especificações técnicas do elemento PIR, após os 7 m , o sensor apresenta uma queda significativa na detecção de movimentos. Complementa-se que, no topo da estrutura metálica, a ave realiza movimentos mais abruptos e espalhafatosos ao procurar a realização do pouso no local, o que beneficia a maximização do alcance do PIR.

Objetivando-se a verificação do grau de proteção do dispositivo, para implantação no ambiente hostil encontrado no topo das torres da rede aérea de transmissão, efetuou-se um ensaio com a simulação de um ambiente sob forte umidade relativa do ar e/ou com precipitação pluviométrica, demonstrado na Figura 29.

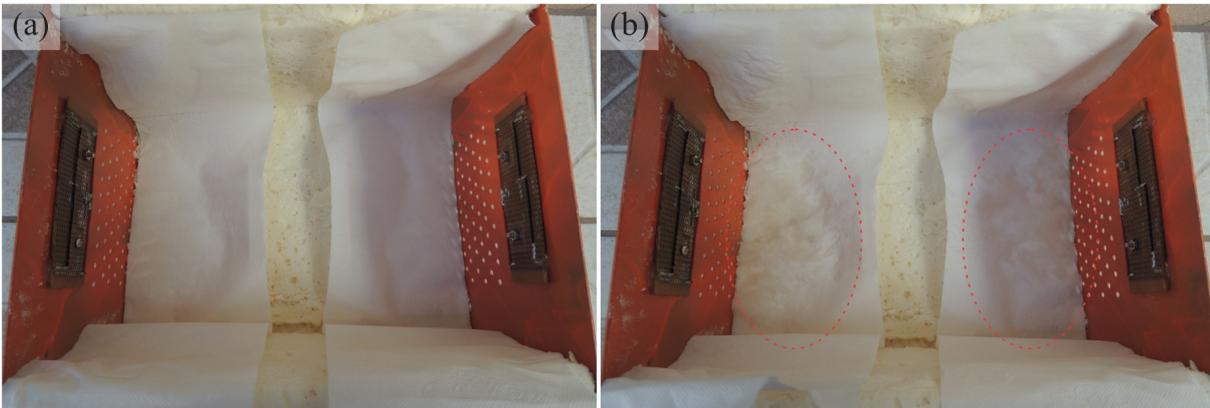
Figura 29 – Ensaio do grau de proteção.



Fonte: Autor.

O emissor de jato d'água está posicionado a uma distância em linha reta de, aproximadamente, 92 cm do dispositivo, com um ângulo na faixa dos 50° . Manteve-se o jato acionado por 30 segundos ininterruptos sobre os dois lados com aberturas da caixa. Verificando-se a vedação do dispositivo através da utilização de duas fitas de papel dispostas na área interna do invólucro, as quais possibilitam a análise do volume de água infiltrado. Apresenta-se, na Figura 30, o resultado desse ensaio.

Figura 30 – Análise da vedação do dispositivo: (a) antes do ensaio; e (b) após o ensaio.



Fonte: Autor.

Identifica-se na área tracejada em vermelho, da Figura 30-b, a umidificação do papel inserido no fundo da caixa metálica de proteção. Esse problema é oriundo das aberturas de saída de ar projetadas para a propagação das ondas sonoras, produzidas pelos alto-falantes, e à liberação de possíveis gases gerados pela bateria. Contudo, grande parte da água infiltrada foi escoada pelas pequenas fendas entre as chapas metálicas, mantendo-se o circuito do dispositivo protegido do contato direto com a umidade. Em longo prazo, possíveis problemas de oxidação poderão surgir, podendo-se analisar essa ocorrência nas verificações *in loco* periódicas, que devem ocorrer para manter o dispositivo em plenas condições de funcionamento. Além disso, caso ocorra um acúmulo acentuado de água, pode-se contornar esse problema com a realização de pequenos furos esparsos no fundo do invólucro.

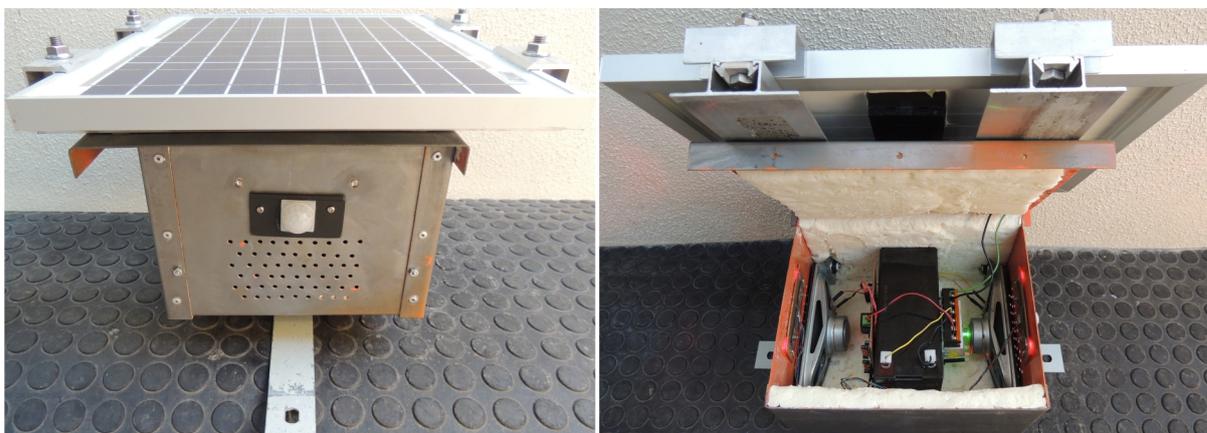
Portanto, observa-se que a caixa metálica do protótipo oferece um índice de proteção aceitável, protegendo o seu interior da entrada de poeira, com um número de aberturas limitadas e sem depósitos prejudiciais. Demonstrando, também, ser resistente a jatos de água, evitando-se o gotejamento e os respingos sobre os componentes eletrônicos.

A Figura 31 exibe uma foto em perspectiva isométrica do dispositivo produzido pelo Grupo de Energia e Sistemas Elétricos de Potência (GESEP) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).

O método transmite um aviso incômodo benigno aos pássaros e humanos, protegendo a rede aérea de transmissão de energia elétrica e a vida das aves. Estão contidos no cartão de memória, do dispositivo, arquivos de áudio em formato MP3. Sendo compostos por sons de predadores, como de águias e onças, e outros barulhos assustadores aos pássaros, como de sirenes, bombas e vozes/gritos humanos.

A sua operação, no ambiente instalado, independe das intempéries manifestadas no local, como a falta de luminosidade, umidade, calor e da prévia atenção dos animais objetos de estudo. Finalmente, demonstram-se, na Tabela 23, os valores em R\$ dos componentes do dispositivo proposto, assim como, o seu custo total.

Figura 31 – Dispositivo repelente de pássaros.



Fonte: Autor.

Tabela 23 – Valores em reais (R\$) dos componentes do dispositivo.

Componente	Quantidade	Valor unitário (R\$)
Módulo sensor PIR	2	3,05
Gerador de pulso	1	10,36
Módulo de áudio	1	4,82
Amplificador de áudio	1	4,55
Alto-falante 8 Ω /10 W	2	17,47
Bateria selada 12 V/7 A.h	1	49,90
Módulo solar 12 V/10 W	1	99,99
Controlador de carga 12 V/3 A	1	59,90
Caixa metálica e suportes	1	60
Outros		20,38
TOTAL		350,95

Fonte: Autor.

O frete é desconsiderado na precificação final do protótipo desenvolvido, tanto para os componentes adquiridos no mercado nacional, como para os importados.

5.2 Premissas para Trabalhos Futuros

Tendo em vista o curto espaço de tempo entre a prospecção da nova proposta objeto de estudo, prototipação e testes iniciais, aliados a falta de recursos financeiros à fabricação de mais dispositivos, impossibilitou-se a obtenção dos resultados da sua implantação em campo. Além disso, por se tratar de um sistema que depende da presença e aproximação natural das aves sobre a estrutura, sem interferir no ambiente ou forçar resultados, dificultou-se a arguição acerca da efetividade do mesmo. Contudo, sugere-se para trabalhos futuros a execução dos procedimentos que serão descritos a seguir.

Recomenda-se a instalação do dispositivo em diferentes pontos do trecho da rede aérea de transmissão, principalmente em locais com maior incidência da presença de aves,

a fim de se obter resultados consistentes. Dessa forma, conforme o embasamento teórico realizado no presente trabalho, apresentado na Seção 2.2, definem-se os trechos das linhas de transmissão entre Santa Maria 1/Alegrete (138 kV) e Santa Maria 3/Alegrete 2 (230 kV), como os locais ideais para a experimentação em campo, localizados na Figura 32. A soma das ocorrências identificadas nesses trechos totalizam 72 casos, classificados como indeterminados, em 2016.

Figura 32 – Localização das LTs de 138 kV e 230 kV da CEEE-GT.

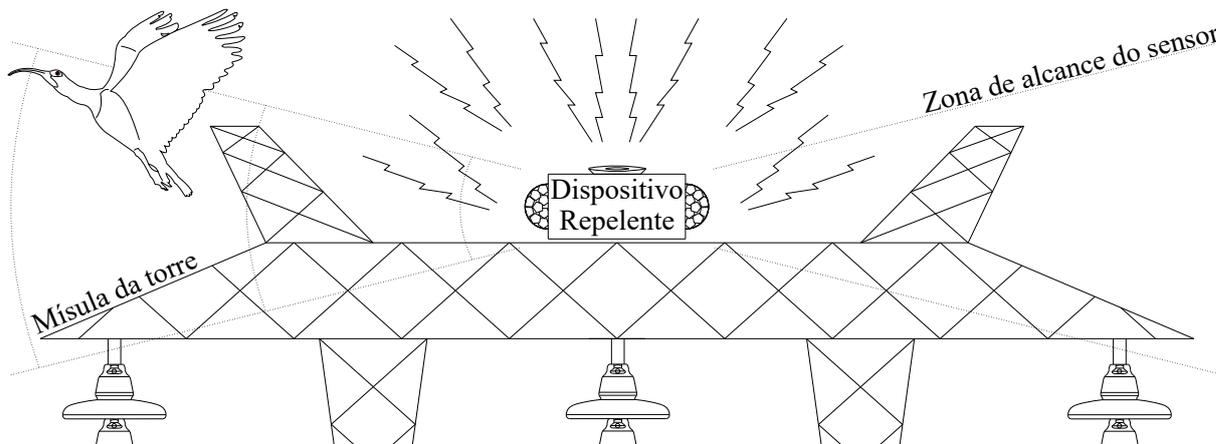


Fonte: Adaptado de Rio Grande do Sul (2020).

Essas LTs contam com torres do tipo autoportantes rígidas com condutores no plano horizontal e cadeias de isoladores em suspensão. Aconselha-se a identificação das estruturas que receberão os protótipos junto à concessionária de transmissão, considerando-se as áreas com maior incidência estatística de desligamentos indeterminados e da presença de aves ou rota migratória. Na Figura 33, expõe-se a disposição recomendada do dispositivo no topo da torre da rede aérea de transmissão.

Em tempo, incide sobre a mísula da estrutura metálica diversas intempéries de origem conhecida e desconhecida, estando o dispositivo protegido da influência eletromagnética das linhas de transmissão, possíveis ataques de aves, incidência pluviométrica e calor externo. No entanto, ainda assim o seu funcionamento está sujeito a toda sorte. Percebe-se, então, a importância da execução de experimentos em longo prazo, para que se possibilite identificar e solucionar os novos problemas que, possivelmente, surgirão e, assim, tornar essa proposta de mitigação em um produto comercial efetivo.

Figura 33 – Localização do dispositivo repelente na estrutura.



Fonte: Autor.

5.3 Considerações do Capítulo

O Capítulo 5 apresenta a validação da operacionalização do dispositivo, mediante execução de experimentos realizados em ambiente laboratorial, com testes de consumo energético e de robustez, simulando as situações reais de aplicação. O protótipo mostrou uma autonomia de funcionamento bastante satisfatória, aliada a uma proteção sólida às intempéries que serão enfrentadas em campo.

Além disso, devido aos problemas encontrados no processo de desenvolvimento do dispositivo, são propostas premissas para trabalhos futuros, como a definição do local de instalação e fixação sobre a estrutura metálica, objetivando a obtenção de resultados em longo prazo, a fim de, constatar a eficácia do protótipo em um ambiente real.

Por fim, têm-se no Capítulo 6 as conclusões sobre o trabalho, as sugestões para trabalhos futuros e as publicações realizadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusão

O presente documento oferece um dispositivo com uma grande capacidade de repelência de aves do topo de torres de transmissão de energia elétrica, propiciando eficácia na transmissão, com economia energética e monetária, em detrimento às muitas oriundas das interrupções indesejadas e não programadas, as quais são cobradas das concessionárias responsáveis pelo serviço de transmissão de energia elétrica.

O dispositivo foi implantado e testado com sucesso em laboratório, obtendo-se resultados satisfatórios do sistema proposto. A bateria de $12\text{ V}/7\text{ A.h}$ supre satisfatoriamente o consumo energético do dispositivo, que apresenta uma potência instalada de $20,16\text{ W}$ e consumo de $1,68\text{ A}$. Entretanto, constatou-se que uma fonte de alimentação baseada em energia solar, com módulo fotovoltaico e bateria selada de chumbo-ácido, agregam negativamente no peso do protótipo, total de $3,9\text{ kg}$, sendo esta, a sua principal desvantagem.

Demonstrou-se, um caso crítico com 90 ativações diárias do dispositivo, consumindo toda a energia contida na bateria em 199 horas, 30 minutos e 24 segundos. Contudo, o consumo real será muito inferior ao caso exemplificado, visto que, segundo as características biológicas dos pássaros, esses tendem a se assustar e se afastarem do local, emitindo avisos para os demais indivíduos da sua colônia, os quais passam a evitar o pouso no local onde o dispositivo está instalado. Ainda, vale ressaltar a recarga produzida pelo módulo solar acoplado, capaz de suprir no mínimo o modo inativo dos sensores, mesmo em dias com baixa incidência solar.

Destaca-se que, alimentando-se o dispositivo de forma contínua, os sensores PIR iniciam a análise da radiação térmica do local sob seu alcance, enviando um pulso de sinal, em nível alto, quando ocorre uma variação de IR, ativando os demais componentes do dispositivo. Na sequência, o gerador de pulso habilita que o módulo de áudio envie ao amplificador um dos áudios, armazenados no cartão TF, para execução. Como a saída do módulo de áudio possui baixa intensidade, isto é, volume audível insignificante, realiza-se a maximização da sua potência elétrica no módulo amplificador. Após a amplificação, o sinal sonoro é propagado no ambiente por dois alto-falantes com potência de 10 W cada. Essa radiação sonora é detectada pelo sistema auditivo do pássaro, alertando-o sobre o risco de permanecer na área protegida pelo repelente e, conseqüentemente, afastando-o do local.

A atuação dos sensores é independente um do outro. À medida que o pássaro entra na área de alcance de um dos sensores, este detecta o seu movimento no alcance de até 7 m , emitindo um alarme aleatório. Após o término do áudio emitido, o sistema retorna ao estado inicial e, ocorrendo nova detecção de movimento, outro som é emitido. Os arquivos armazenados no cartão de memória estão em formato MP3 e são compostos

por sons de predadores, como de águias e onças, e outros barulhos assustadores aos pássaros, como de sirenes, bombas e vozes/gritos humanos.

Ademais, as mísulas das estruturas metálicas do sistema de transmissão de extra-alta tensão possuem, em média, 15 m de largura. E quanto menor o nível de tensão da linha, menor o tamanho da mísula. Assim sendo, observa-se que a estrutura permanece dentro da região limítrofe dos sensores infravermelhos, o que possibilita a aplicação do dispositivo proposto como alternativa para mitigar a influência das aves sobre a operação das linhas de transmissão e suas cadeias de isoladores.

Por fim, ressalta-se que, na prática, não há um método permanente que sempre afastará as aves das torres do sistema elétrico de transmissão. Os pássaros são seres notavelmente bem sucedidos na arte de adaptação ao ambiente, inteligentes e observadores, tornando qualquer habitat acessível para eles. Dessa forma, é essencial o conhecimento do comportamento e das interações das aves, para possibilitar o desenvolvimento de um produto mitigador eficaz. Nesse contexto, acredita-se que o dispositivo proposto é promissor e tende a desempenhar de forma eficaz a tarefa de repelir aves das redes aéreas de transmissão de energia elétrica.

6.2 Trabalhos Futuros

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- Aprimorar esse sistema com testes em campo por um período mínimo de 1 ano. Acoplado-se, ainda, uma câmera no protótipo para monitoramento das ocorrências e a inserção de um contador de ativações no *firmware* do módulo gerador de pulso, armazenando esses dados coletados no cartão de memória. As informações produzidas por esses componentes auxiliarão na análise da eficácia do dispositivo proposto;
- Considerar a substituição da energia solar, como fonte de alimentação, por uma fonte alimentada por tensões induzidas oriundas das LTs, através de acoplamento indutivo com o campo eletromagnético produzido pela rede; e
- Pesquisar sobre os desligamentos forçados causados pela umidade elevada do ar, fenômeno conhecido como *Sudden Flashover*.

6.3 Publicações

- Artigo “*Proposal of Curicaca Bird Repellent Device in Towers of the Electric Power Transmission Network*” publicado no XIII *Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission* - CLAGTEE 2019; e
- Patente de invenção e modelo de utilidade sob a análise no Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT) da UNIPAMPA.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. D. et al. Influência do comportamento de pássaros no desempenho de linhas de transmissão. In: **XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE)**. Curitiba: Instituto CGTI, 2005. Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/01/INFLUE%CC%82NCIA-DO-COMPORTAMENTO-DE-PA%CC%81SSAROS-NO-DESEMPENHO-DE-LINHAS-DE-TRANSMISSA%CC%83O.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2020. Citado na página 42.
- ASSOULINE, D. **Device to keep birds from alighting on buildings**. Depositante: David Assouline, 1981. US patent n. 4.269.008. Depósito: 19 nov. 1979. Concessão: 26 mai. 1981. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/b1/b7/a7/5f0492b9304e14/US4269008.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2020. Citado na página 28.
- ATMEL. **Atmel 8-bit AVR Microcontroller with 2/4/8K Bytes In-System Programmable Flash: ATtiny25/V / ATtiny45/V / ATtiny85/V**. San Jose: Atmel Corporation, 2013. 234 p. Disponível em: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85_Datasheet.pdf. Acesso em: 07 jan. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 46, 47 e 48.
- BELTON, W. **Aves do Rio Grande do Sul: distribuição e biologia**. 1. ed. São Leopoldo: UNISINOS, 1994. 584 p. Citado na página 41.
- BICHOS, S. **Curicacas - Fotos e Vídeo**. [S.l.]: Salva Bichos, 2015. Disponível em: http://2.bp.blogspot.com/_LWrO_GnogvU/VP70yxfnixI/AAAAAAAAACd4/wglQmPNp2nA/s1600/curicaca5.png. Acesso em: 12 jan. 2019. Citado na página 42.
- BRASIL, A. N. E. E. L. **Relatório de Análise: desligamentos forçados do Sistema de Transmissão / Agência Nacional de Energia Elétrica**. Brasília: ANEEL, 2016. 346 p. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656808/0/Relat%C3%B3rio+de+An%C3%A1lise+-+Desligamentos+For%C3%A7ados+-+Edi%C3%A7%C3%A3o+2016/2efb3df3-89ba-41cf-b4cf-aa275ed4ce05?version=1.0>. Acesso em: 06 jan. 2020. Citado 8 vezes nas páginas 25, 26, 33, 34, 35, 37, 38 e 39.
- BRASIL, A. N. E. E. L. **Relatório de Análise: desligamentos forçados do Sistema de Transmissão / Agência Nacional de Energia Elétrica**. Brasília: ANEEL, 2018. 685 p. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656808/0/Relat%C3%B3rio+de+An%C3%A1lise+de+Desligamentos+For%C3%A7ados+do+Sistema+de+Transmiss%C3%A3o+-+Edi%C3%A7%C3%A3o+2017/7a991934-f7b4-5835-07e1-4349bd513f96>. Acesso em: 07 jan. 2020. Citado 7 vezes nas páginas 26, 32, 33, 36, 37, 38 e 39.
- BRYANT, P.; BRAUN, H.-W. **Some applications of a motion detecting camera in remote environments**. San Diego: High Performance Wireless Research and Education Network, 2003. Disponível em: <http://hpwren.ucsd.edu/Tech/Iqeye/>. Acesso em: 10 jan. 2020. Citado na página 45.

BURGER, A. A.; SADURSKI, K. J. Experimental investigation of bird initiated ac flashover mechanisms. In: **1995 Cigré Study Committee 33-95 (Workgroup 07) Seminar**. África do Sul: CIGRE, 1995. Citado na página 26.

BURNHAM, J. T. et al. Preventive measures to reduce bird-related power outages-part i: electrocution and collision. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 19, n. 4, p. 1843–1847, out. 2004. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1339354>. Acesso em: 31 mar. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 29.

BURNHAM, J. T. Bird streamer flashovers on fpl transmission lines. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 10, n. 2, p. 970–977, abr. 1995. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/400832>. Acesso em: 30 mar. 2020. Citado na página 26.

CAMARGO, C. d. B. **Transmissão de energia elétrica: Aspectos fundamentais**. 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2006. 277 p. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

CHATTEN, V. **Method and mechanical apparatus for deterring birds**. Depositante: Victor Chatten, 1995. US patent n. 5.452.536. Depósito: 26 ago. 1994. Concessão: 26 set. 1995. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/50/41/8a/3b7f5358af59a2/US5452536.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2020. Citado na página 28.

CHIP, S. **DPS101B Pyroelectric Infrared Sensor Datasheet**. Shenzhen: Silvan Chip Electronics Tech. Co., Ltd., 2012. 4 p. Disponível em: <http://www.sc-tech.cn/DPS101B.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.

CHIP, S. **BISS0001 PIR controller Datasheet**. Shenzhen: Silvan Chip Electronics Tech. Co., Ltd., 2013. 2 p. Disponível em: <http://www.sc-tech.cn/en/BISS0001.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 60.

CONOVER, M. R. Protecting vegetables from crows using an animated crow-killing owl model. **The Journal of Wildlife Management**, v. 49, n. 3, p. 643–645, jul. 1985. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3801687>. Acesso em: 03 fev. 2020. Citado na página 43.

CONOVER, M. R. Acquisition of predator information by active and passive mobbers in ring billed gull colonies. **Behaviour**, v. 102, n. 1/2, p. 41–57, jan. 1987. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4534611>. Acesso em: 04 fev. 2020. Citado na página 43.

CONOVER, M. R. How birds interpret distress calls: implications for applied uses of distress call playbacks. In: **1994 Sixteenth Vertebrate Pest Conference**. Santa Clara: University of California, 1994. v. 16, p. 233–234. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1011context=vpc16>. Acesso em: 05 fev. 2020. Citado na página 43.

CONOVER, M. R.; PERITO, J. J. Response of starlings to distress calls and predator models holding conspecific prey. **Zeitschrift für Tierpsychologie**, v. 57, n. 2, p. 163–172, ago. 1981. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-0310.1981.tb01320.x>. Acesso em: 06 fev. 2020. Citado na página 43.

COOK, M. R. et al. **Insulated electrical equipment**. Depositante: Tyco Electronics U.K. Limited; Georgia Power Company, 2001. US patent n. 6.248.956 B1. Depósito: 11 mar. 1997. Concessão: 19 jun. 2001. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/96/e8/ac/a5a2d0ed04594d/US6248956.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2020. Citado na página 28.

CURIO, E.; ERNST, U.; VIETH, W. The adaptive significance of avian mobbing ii. cultural transmission of enemy recognition in blackbirds: Effectiveness and some constraints. **Zeitschrift für Tierpsychologie**, v. 48, n. 2, p. 184–202, jan./dez. 1978. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1439-0310.1978.tb00255.x>. Acesso em: 23 fev. 2020. Citado na página 43.

DAL CORNO, R. d. B. **Biologia reprodutiva de curicaca (*Theristicus caudatus*) no sul do Brasil, no domínio da Mata Atlântica - RS**. 58 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos, São Leopoldo, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.

DIODES. **PAM8610 10W Stereo Class-D Audio Power Amplifier With DC Volume Control**. Plano: Diodes Incorporated, 2013. 15 p. Disponível em: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/PAM8610.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 50, 51 e 64.

DONAZAR, J. A. Breeding performance in relation to nest-site substratum in a buff-necked ibis (*theristicus caudatus*) population in patagonia. **The Condor**, v. 96, n. 4, p. 994–1002, nov. 1994. Disponível em: <https://academic.oup.com/condor/article-abstract/96/4/994/5126335>. Acesso em: 08 fev. 2020. Citado na página 42.

DONOHO, B. A. **Preventive device against nuisance from birds**. Depositante: Bruce A. Donoho, 2001. US patent n. 6.250.023. Depósito: 19 out. 1999. Concessão: 26 jun. 2001. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/5b/46/c1/6281bfd4e4b6db/US6250023.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2020. Citado na página 28.

FIUZA, P. R. et al. Proposal of curicaca bird repellent device in towers of the electric power transmission network. In: **2019 XIII Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission - CLAG-TEE**. Santiago do Chile: CLAGTEE, 2019. p. 66–67. Disponível em: <http://www.clagtee2019.pucv.cl/2019/book/bookofabstractsCLAGTEE2019.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2020. Citado 4 vezes nas páginas 32, 40, 42 e 44.

FRINGS, H.; JUMBER, J. Preliminary studies on the use of a specific sound to repel starlings (*sturnus vulgaris*) from objectionable roosts. **Science**, v. 119, n. 3088, p. 318–319, mar. 1954. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/119/3088/318>. Acesso em: 09 fev. 2020. Citado na página 43.

HOGSTEDT, G. Adaptation unto death: Function of fear screams. **The American Naturalist**, v. 121, n. 4, p. 562–570, abr. 1983. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2460982>. Acesso em: 21 fev. 2020. Citado na página 43.

ISHIDA, T. **Magnetic device for repelling birds**. Depositante: Takashi Ishida, 1999. US patent n. 5.884.426. Depósito: 04 ago. 1997. Concessão: 23 mar. 1999. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/9a/5c/ec/deb7d17b0bb7ba/US5884426.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2020. Citado na página 28.

- KETTENBURG, E. **ATtiny85 Digispark Schematic**. Portland: Digistump LLC, 2012. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/digistump-resources/files/97a1bb28_DigisparkSchematic.pdf. Acesso em: 07 jan. 2020. Citado na página 62.
- KHAN, S. Warning sounds and color for reducing bird and bat mortality at wind turbines. In: **2014 9th International Forum On Strategic Technology (IFOST)**. Cox's Bazar: IEEE, 2014. p. 322–325. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6991131>. Acesso em: 10 fev. 2020. Citado na página 43.
- KREITHEN, M. L. **Method and system for warning birds of hazards**. Depositante: The University of Pittsburgh, 1998. US patent n. 5.774.088. Depósito: 08 mai. 1997. Concessão: 30 jun. 1998. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/d1/1e/42/b171fb158e90a2/US5774088.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 27.
- KRUUK, H. The biological function of gulls' attraction towards predators. **Animal Behaviour**, v. 24, n. 1, p. 146–153, fev. 1976. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000334727680108X>. Acesso em: 22 fev. 2020. Citado na página 43.
- LABEGALINI, P. R. et al. **Projetos mecânicos das linhas aéreas de transmissão**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1992. 548 p. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- LEMESSURIER, D. H. **Bird frightening devices**. Depositante: David H. LeMessurier, 1986. US patent n. 4.597.357. Depósito: 09 nov. 1984. Concessão: 01 jul. 1986. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/a9/55/ae/5b18bdb8cbf17a/US4597357.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2020. Citado na página 28.
- LENHARDT, M. L.; OCHS, A. L. **Methods and apparatus for alerting and/or repelling birds and other animals**. Depositante: Virginia Commonwealth University, 2001. US patent n. 6.250.255 B1. Depósito: 06 ago. 1999. Concessão: 26 jun. 2001. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/66/42/e0/7397640140a443/US6250255.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020. Citado na página 28.
- LORENZETTO, A. et al. Padrão de atividade diária em dois ninhos de curicacas (*Theristicus caudatus*, threskionithidae) no parque estadual de vila velha – pr. In: **2004 XII Congresso Brasileiro de Ornitologia (CBO)**. Blumenau: Sociedade Brasileira de Ornitologia, 2004. p. 278–279. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.
- MATHEU, E.; HOYO, J. del. Family threskiornithidae (ibises and spoonbills). In: HOYO, J. del; ELLIOTT, A.; SARGATAL, J. (Ed.). **Handbook of the Birds of the World**. Bellaterra: LYNX EDICIONS, 1992. v. 1, p. 472–507. Citado na página 41.
- MERIGHI, G. **Curicaca - Buff-necked Ibis (Theristicus caudatus)**. [S.l.]: Canal do Birdwatcher, 2019. Disponível em: <https://3.bp.blogspot.com/-rpBkLlkG4yk/XcVfw-54cmI/AAAAAAAAAhTQ/VJZlkdIwckQL60NvDaX9cOcRzK3IOKiIQCK4BGAYYCw/s1600/curicaca%2B1.jpg>. Acesso em: 12 jan. 2019. Citado na página 41.

- MICHENER, H. Where engineer and ornithologist meet: transmission line troubles caused by birds. **The Condor**, v. 30, n. 3, p. 169–175, mai. 1928. Disponível em: <https://academic.oup.com/condor/article-abstract/30/3/169/5264586?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 11 fev. 2020. Citado na página 25.
- MINNAAR, U. J.; GAUNT, C. T.; NICOLLS, F. Characterisation of power system events on south african transmission power lines. **Electric Power Systems Research**, v. 88, p. 25–32, jul. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779612000351?via%3Dihub>. Acesso em: 01 abr. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- MURATA. **Pyroelectric Infrared Sensors**. Nagaokakyo: Murata Manufacturing Co., Ltd., 2009. 16 p. Disponível em: <http://www.farnell.com/datasheets/2199770.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 45.
- NAIDOO, K.; IJUMBA, N. M.; BRITTEN, A. C. Bird streamer initiated breakdown characteristics under hvdc conditions. In: **2006 International Conference on Power System Technology - PowerCon**. Chongqing: IEEE, 2006. p. 1–7. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4115904>. Acesso em: 02 abr. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 39.
- NILES, M. S. **Protection of electrical power systems**. Depositante: Cantega Technologies Inc., 2007. US patent n. 7.244.470 B2. Depósito: 21 jul. 2004. Concessão: 17 jul. 2007. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/93/95/56/7de9be771ca7d0/US7244470.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 27, 31 e 32.
- OLIVEIRA, A. C. de. **Ocupação ambiental e características populacionais de curicacas *Theristicus caudatus* em linhas de transmissão de alta tensão**. 54 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2008. Citado 4 vezes nas páginas 25, 26, 32 e 41.
- PERRONE JR, M. Factors affecting the incidence of distress calls in passerines. **The Wilson Bulletin**, v. 92, n. 3, p. 404–408, set. 1980. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4161370>. Acesso em: 20 fev. 2020. Citado na página 43.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: CEPREL-CRESESB, 2014. 530 p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 07 jan. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 51, 52 e 53.
- RIO GRANDE DO SUL, C. E. E. E. **Transmissão**. Porto Alegre: Grupo Companhia Estadual de Energia Elétrica, 2020. Disponível em: <https://www.cee.com.br/cee/transmissao/subestacoes-e-linhas-de-transmissao>. Acesso em: 08 jan. 2020. Citado na página 78.
- ROOYEN, C. V.; VOSLOO, H.; HARNESS, R. Eliminating bird streamers as a cause of faulting on transmission lines. In: **2002 Rural Electric Power Conference. Papers Presented at the 46th Annual Conference (Cat. No. 02CH37360)**. Colorado Springs: IEEE, 2002. p. B2–8. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1002289>. Acesso em: 07 abr. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 40.

ROUSSEAU JR, J. F.; BABIN, C. E. **Wind rotated reflective sca-recrow**. Depositante: John F. Rousseau, Jr., et al., 1978. US patent n. 4.131.079. Depósito: 05 out. 1977. Concessão: 26 dez. 1978. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/40/f7/de/400a02dd85296e/US4131079.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2020. Citado na página 28.

SANDISK. **SanDisk TransFlash Memory Module: The small, scalable, semi-removable solution for next-generation embedded flash data storage applications**. Sunnyvale: SanDisk Corporation, 2004. 4 p. Disponível em: <https://www.waveshare.com/w/upload/7/77/SD-card-specifications.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 50.

SATHISHKUMAR, M.; RAJINI, S. Smart surveillance system using pir sensor network and gsm. **International Journal of Advanced Research in Computer Engineering Technology (IJARCET)**, v. 4, n. 1, p. 70–74, jan. 2015. Disponível em: <http://ijarcet.org/wp-content/uploads/IJARCET-VOL-4-ISSUE-1-70-74.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2020. Citado na página 44.

SCHERER NETO, P. Aspectos bionômicos e desenvolvimento de *theristicus caudatus* (boddaert, 1783) (aves, threskiornitidae). **Dusenía**, v. 13, n. 4, p. 145–149, Jan. 1982. Citado na página 41.

SCHMIDT, R.; JOHNSON, R. Bird dispersal recordings: An overview. In: KAUKENEN, D. E. (Ed.). **Vertebrate Pest Control and Management Materials: Fourth Symposium**. 1. ed. Filadélfia: ASTM International, 1983, (STP817). p. 43–65. Citado na página 43.

SCHULTE, P.; SCHMEES, S. **Process and apparatus for the avoidance of airplane collisions**. Depositante: Hella Kg Hueck Co., 1994. US patent n. 5.319.367. Depósito: 12 set. 1991. Concessão: 7 jun. 1994. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/0b/fa/c2/779ab01ca4f283/US5319367.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

SHAW, R. E. **Continuous one-piece bird repellent structure**. Depositante: Robert Edward Shaw, 1968. US patent n. 3.407.550. Depósito: 23 jan. 1967. Concessão: 29 out. 1968. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/53/28/7a/00228930ca55b5/US3407550.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2020. Citado na página 28.

SIAHAAN, Y.; WARDIJONO, B. A.; MUKHLIS, Y. Design of birds detector and repellent using frequency based arduino uno with android system. In: **2017 2nd International Conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)**. Yogyakarta: IEEE, 2017. p. 239–243. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8285503>. Acesso em: 03 abr. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.

SICK, H. **Ornitologia brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. v. 1. 912 p. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.

SIGRIST, T. **Guia de campo avis brasilis - Avifauna Brasileira: Descrição das espécies**. 1. ed. São Paulo: Avis Brasilis, 2009. v. 2. 1092 p. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.

STARKEY, E. E.; STARKEY, J. F. Description of an aerial-predator alarm call for mallard (*anas platyrhynchos*) ducklings. **The Condor**, v. 75, n. 3, p. 364–366, jul. 1973. Disponível em: <https://academic.oup.com/condor/article-abstract/75/3/364/5202762?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 15 fev. 2020. Citado na página 43.

SUMMERS, R. W. The effect of scarers on the presence of starlings (*Sturnus vulgaris*) in cherry orchards. **Crop Protection**, v. 4, n. 4, p. 520–528, dez. 1985. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0261219485900584>. Acesso em: 12 fev. 2020. Citado na página 43.

SUNDARARAJAN, R. et al. Preventive measures to reduce bird related power outages-part ii: streamers and contamination. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 19, n. 4, p. 1848–1853, out. 2004. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1339355>. Acesso em: 05 abr. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 25, 26 e 39.

TAYLOR, P. **Case Study of Bird Streamer Caused Transient Earth Faults on a 275KV Transmission Grid**. 123 p. Dissertação (Mestrado) — University of Natal, Durban, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.

TESSMER, H.; PORT, D. Interferências de aves em redes aéreas - a experiência da ceee no rio grande do sul - brasil. In: **Congresso Internacional de Redes Elétricas de Distribuição (CIRED) Argentina'96**. Buenos Aires: CIRED, 1996. p. 107–112. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236869038_INTERFERENCIAS_DE_AVES_EM_REDES_AEREAS_A_EXPERIENCIA_DA_CEEE_NO RIO GRANDE DO SUL -BRASIL. Acesso em: 10 jan. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.

THOMAS, E. **Curicaca - Theristicus caudatus**. [S.l.]: Photo Aves, 2012. Disponível em: <https://www.photoaves.com/images/aves/threskiornithidae/curicaca.jpg>. Acesso em: 12 jan. 2019. Citado na página 41.

THOMAS, J.; NICHOLS, R. **Method and apparatus for repelling animals from electric power distribution equipment**. Depositante: James F. Thomas et al., 2004. US patent n. 2004/0200439 A1. Depósito: 25 mar. 2004. Concessão: 14 out. 2004. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/94/18/64/f0173161fecdbf/US20040200439A1.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2020. Citado na página 28.

THOMPSON, R. D. et al. Differential heart rate response of starlings to sound stimuli of biological origin. **The Journal of Wildlife Management**, v. 32, n. 4, p. 888–893, out. 1968. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3799566>. Acesso em: 14 fev. 2020. Citado na página 43.

THORPE, W. H. **Bird-song: the biology of vocal communication and expression in birds**. Whitefish: Literary Licensing LLC, 2013. 154 p. Citado na página 42.

TIBA, C. et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Solarimétricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf. Acesso em: 17 jan. 2020. Citado na página 66.

TONTEK. **TT0001: PIR sensor control chip**. Nova Taipé: Tontek Design Technology Ltd., 2017. v. 1.7, 10 p. Disponível em: https://tontek.com.tw/uploads/product/165/TT0001_V1.7_EN.pdf. Acesso em: 10 jan. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 46, 47 e 60.

VOSLOO, H. F. et al. Susceptibility of 400kv transmission lines to bird streamers and bush fires. **Energize**, n. 51, p. 25–28, dez. 2011. Disponível em: https://www.ee.co.za/wp-content/uploads/legacy/Energize_2011_/07_TT_01_Eskom_Susceptibility.pdf. Acesso em: 10 abr. 2020. Citado na página 39.

WEST, H. J.; BROWN, J. E.; KINYON, A. L. Simulation of ehv transmission line flashovers initiated by bird excretion. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, PAS-90, n. 4, p. 1627–1630, jul. 1971. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4074505>. Acesso em: 12 abr. 2020. Citado na página 26.

WILLIAMS, R. B.; MURPHY, R. K. **Wildlife guard for electrical power distribution and substation facilities**. Depositante: Houston Industries Incorporated, 1999. US patent n. 5.864.096. Depósito: 14 ago. 1997. Concessão: 26 jan. 1999. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ae/39/48/3e19fdf81f0206/US5864096.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2020. Citado na página 28.

XIN, Y. **YX5200-24SS Chip Manual**. Guangzhou: Guangzhou Yue Xin Electronics Co., Ltd., 2013. 30 p. Disponível em: <https://cdn.hackaday.io/files/936504006721600/YX5200-24SS%C3%8A%C2%B9%C3%93%C3%83%C3%8B%C2%B5%C3%83%C3%B7%C3%8A%C3%A9V1.6.zh-CN.en.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 48, 49 e 63.

ZAPPI, P.; FARELLA, E.; BENINI, L. A pir based wireless sensor node prototype for surveillance applications. In: **2006 European Workshop on Wireless Sensor Networks (EWSN 06)**. Zurich: EWSN, 2006. p. 26–27. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/230561903_A_PIR_based_wireless_sensor_node_prototype_for_surveillance_applications. Acesso em: 11 jan. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 45.

ZHOU, Y. X. et al. Bird streamer caused flashover in ehv transmission line. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 16, n. 1, p. 69–76, fev. 2009. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4784553?section=abstract>. Acesso em: 15 abr. 2020. Citado na página 26.