



ALONSO ANTONIO DO NASCIMENTO

**IMPLEMENTAÇÃO DO DRONE PARA INSPEÇÃO SENSITIVA EM
REDES DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA**

Ouro Preto
Minas Gerais, Brasil
2022

ALONSO ANTONIO DO NASCIMENTO

**IMPLEMENTAÇÃO DO DRONE PARA INSPEÇÃO SENSITIVA EM
REDES DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Automação na Mineração.

Orientador: Prof. Levi Wellington Resende Filho, D.Sc.

Coorientador: Prof. Gustavo Pessin, D.Sc..

Ouro Preto

202

Título: Implementação do Drone para Inspeções Sensitivas em Redes de Distribuição Aérea 13,8kV.

Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço.

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação(CIP)

N195i

Nascimento, Alonso Antônio do

Implementação do drone para inspeções sensitivas em redes de distribuição aérea 13,8kv. Alonso Antônio do Nascimento... [et al.] - Ouro Preto, MG: ITV, 2022.

59 p.: il.

Monografia (Especialização latu sensu) - Instituto Tecnológico Vale, 2022.
Orientador: Levi Wellington Resende Filho
Coorientador: Gustavo Pessin

1. Mineração. 2. Inspeção. 3. Drone. I. Resende Filho, Levi Wellington.
II. Pessin, Gustavo. III. Título.

CDD.23. ed. 629.82

Alonso Antonio do Nascimento

**IMPLEMENTAÇÃO DO DRONE PARA INSPEÇÃO SENSITIVA
EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Automação para Processos de Mineração].

Orientador: Prof. MSc. Levi Wellington de Resende Filho

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 14 de dezembro de 2022 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. MSc. Levi Wellington de Resende Filho
Orientador – ArcelorMittal

Prof. D.Sc. Gustavo Pessin
Coorientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Prof. MSc. Jacó Dias Domingues
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

MSc. Lucas Angelo Soares Bezerra
Membro interno – Vale

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 (“MP nº 2.200-2”).



PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/5A9D-5498-6047-38A9> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale . To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/5A9D-5498-6047-38A9> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: 5A9D-5498-6047-38A9



Hash do Documento

74D43501071C7D9073FFC97F10B25AC0420D0A06914C9F81CD1C920E847E3808

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 02/01/2023 é(são) :

- Gustavo Pessin (Signatário) - 939.084.900-49 em 28/12/2022 15:51 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: gustavo.pessin@itv.org

Evidências

Client Timestamp Wed Dec 28 2022 15:51:20 GMT-0300 (Brasilia Standard Time)

Geolocation Latitude: -23.5324595 Longitude: -46.7049221 Accuracy: 22.155000686645508

IP 187.90.219.143

Hash Evidências:

6DD26F0566967260EEC05AE0DDB2E8DD33A665BB61B0F8AB5A9B255BBD252025

- Jacó Dias Domingues (Signatário) - 112.250.696-10 em 27/12/2022 12:33 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: jaco.domingues@itv.org

Evidências

Client Timestamp Tue Dec 27 2022 12:32:59 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -22.9376 Longitude: -46.5436672 Accuracy: 4225.388864277618

IP 132.255.38.154

Hash Evidências:

3AB3792EF090F4AB13B8045274D5C84C9588A280CDBAB9C77B4B53F5FD238DED

- Levi Wellington de Resende Filho (Signatário) - em 27/12/2022 11:18 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: levi.filho@arcelormittal.com.br

Evidências

Client Timestamp Tue Dec 27 2022 11:17:58 GMT-0300 (hora estándar de Brasília)

Geolocation Latitude: -21.100439 Longitude: -45.081921 Accuracy: 213

IP 20.201.22.61

Hash Evidências:

D4EE39C879F8271473B217E13B46F48790A50A891E30B66E62CD884BD558FBCA

- Lucas Angelo Soares Bezerra (Signatário) - 018.189.643-50 em 27/12/2022 09:31 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: lucas.bezerra@vale.com

Evidências

Client Timestamp Tue Dec 27 2022 09:31:37 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Location not shared by user.

IP 201.65.118.249

Hash Evidências:

6A5194D7084009641397C765660A22B9116EDD45F4D53C64EC94E77543A99ADC



AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pela vida, Nossa Senhora Minha Mãe pela intercessão, ao Divino Espírito Santo pelo dom de aprender algo novo a cada dia.

Em seguida a minha esposa Michele e aos meus filhos Ian e Anne por todo amor, carinho e apoio.

Quero agradecer ao meu irmão Celso pelo apoio e incentivo para ingressar nesta empresa há 21 anos atrás.

Agradecer ao Marlon, Ued, a equipe de inspeção do Paraopeba Sul e a Vale pela oportunidade de participar do processo.

A todos colegas da turma do curso de Pós-graduação em Automação na Mineração, em especial ao Eric e Marcos.

E por último ao Instituto Tecnológico Vale, Universidade Federal de Ouro Preto, principalmente na pessoa do Gustavo Pessin, André e Levi pelo conhecimento e parceria.

“O Senhor é Meu Pastor e nada me faltará”

Salmo 22

RESUMO

Na mineração robôs ainda são pouco utilizadas para o processo de manutenção, porém vem ganhando foco nas inspeções, principalmente com a utilização de equipamentos robóticos para realizar inspeções em locais onde o acesso do homem a torna difícil ou impossível. A implementação do drone para inspeção sensitiva em redes de distribuição 13,8kV dentro da área da Vale, nas Minas de Fábrica e Viga será o objeto deste trabalho para definir possíveis ganhos em relação a inspeção convencional. O objetivo desta pesquisa é propor a utilização de equipamentos robóticos, drones, como ferramenta para inspeção sensitiva nas Redes de Distribuição Aérea de forma a obter imagens que pela inspeção convencional não seria possível. Para tanto, foram coletados dados durante o acompanhamento da equipe de inspeção com utilização do método convencional e posteriormente com o drone para que as informações e ganhos fossem comparados. Entre os ganhos obtidos com a utilização do drone destacam-se a maior segurança dos colaboradores, diminuição do tempo de inspeção e confiabilidade da informação.

Palavras-chave: Mineração. Inspeção. Drone.

Fase da Cadeia: Mina.

ABSTRACT

In mining robots are still little used for the maintenance process, but it is gaining focus on inspections, especially with the use of robotic equipment to perform inspections in places where human access makes it difficult or impossible. The implementation of the drone for sensitive inspection in 13.8 kV distribution networks within the Vale area, in the factory and Girder mines will be the object of this work to define possible gains in relation to conventional inspection. The objective of this research is to propose the use of robotic equipment, drones, as a tool for sensitive inspection in aerial distribution networks in order to obtain images that conventional inspection would not be possible. Therefore, data were collected during the monitoring of the inspection team using the conventional method and later with the drone so that the information and gains were compared. Among the gains obtained with the use of the drone are the greater safety of employees, reduced inspection time and reliability of information.

Keywords: Mining. Inspection. Drone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Criação da CVRD	19
Figura 2 – Caminhão autônomo	20
Figura 3 - Redes de Distribuição Aérea	23
Figura 4 - Postes de Concreto.....	24
Figura 5 - Cruzetas	25
Figura 6 – Isoladores	26
Figura 7 – Condutores	27
Figura 8 - Para-raio.....	27
Figura 9 - Chaves Fusíveis	28
Figura 10 – Transformador.....	28
Figura 11 - Religador automático.....	29
Figura 12 - Alça performada	30
Figura 13 - Estai em uma RDA	31
Figura 14 - Aterramento em uma RDA.....	32
Figura 15 - Ferragens em linhas aéreas	32
Figura 16 – Faixa de servidão	33
Figura 17 - Exemplo de asa voadora AT120.....	36
Figura 18 - Elbit Hermes 900	37
Figura 19 - Drones multirotor.....	37
Figura 20 - Drone de oito hélices	38
Figura 21 - Drone híbrido.....	38
Figura 22 - Componentes de um drone	39
Figura 23 - Categorias de Drones	41
Figura 24 - Alcance Visual.....	42
Figura 25 – Vista aérea da mineração Vale.....	43

Figura 26 – Inspeção de RDA	45
Figura 27 – Rotas da Mina de Fábrica.....	46
Figura 28 – Rotas da Mina de Viga.....	47
Figura 29 - Simulação da posição do inspetor.....	48
Figura 30 - Treinamento de drone	49
Figura 31 - Drone DJI Mavic 2 PRO	49
Figura 32 - Aplicativo DJI.....	50
Figura 33 – Interface do aplicativo.....	51
Figura 34 – Riscos na atividade de inspeção.....	52
Figura 35 – Qualidade de imagem para inspeção sensítiva.....	53
Figura 36 - Imagens com o Drone Mavic 2.....	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

4D Quatro dimensões

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANAC Agência Nacional de Aviação Civil

BIM *Building Information Model*

CEP Código de Endereçamento Postal

CNAE Classificação Nacional das Atividades Econômicas

CREA Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

DIEESE Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos

GPS *Global Positioning System*

HD *High Definition*

IBAPE Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMU *Inertial Measurement Unit*

NBR Norma Brasileira Regulamentadora

P Varredura Progressiva

SD *Standard Definition*

VANT Veículo Aéreo Não Tripulado

ZAS Zona de Auto Salvamento

RDA Rede de Distribuição Aérea

RPA Aeronave Remotamente Pilotada

RTK Cinemática em Tempo Real

GPV-M Gestão da Produção Vale - Mineração

kV Quilovolt

ITV Instituto Tecnológico Vale

DS Desenvolvimento Sustentável

ZAS Zona de Auto Salvamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivação	17
1.2	Objetivo Geral	18
1.2.1	Objetivos Específicos	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA	19
2.1	Vale S.A.	19
2.2	Mina Autônoma	20
2.3	Conexão do Projeto com os Desafios da Vale	21
2.4	Desafios da Robótica na Mineração	21
2.5	Redes de Distribuição Aérea Em Média Tensão	22
2.5.1	Riscos nas Inspeções em RDA	23
2.5.2	Principais Estruturas das RDA	24
2.6	Principais Anomalias nos componentes das RDA	33
2.7	Drones	36
2.7.1	Principais Componentes de um Drone	39
2.7.2	Regulamentação do Drone no Brasil	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1	Caracterização da Área de Estudo	42
3.2	Metodologia	43
3.2.1	Método ou procedimento de análise	43
3.2.2	Inspeções	44
3.2.3	Desenvolvimento de rotas e análise das redes de distribuição	45
3.3	Desenvolvimento de Rotas	47
3.3.1	Treinamento para Inspetores na Operação de Drone	48
3.4	Análise do Drone DJI Mavic 2 PRO	49

3.4.1	Análise do Drone DJI Mavic 2 PRO.....	49
3.4.2	Aplicativo DJI GO4	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1	Resultados	52
4.1.1	Em segurança.....	52
4.1.2	Qualidade da inspeção	52
4.1.3	Tempo	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
	<u>REFERÊNCIAS</u>	58

1 INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo é notável o avanço da ciência e tecnologia, e a noção de robô tornou-se mais sofisticada. No passado um robô era definido como uma máquina com um dispositivo mecânico especial, contudo essas máquinas não eram realmente robôs, à medida que sistemas computacionais foram desenvolvidos e em tamanhos que eram viáveis imaginá-los dentro de um corpo de um robô as noções passaram a incluir pensamento raciocínio resolução de problemas e até sentimentos (MATARIC,2017).

Na manutenção começa a ser utilizada equipamentos robóticos para realizar inspeções em locais onde o acesso do homem a torna difícil ou impossível. E as Redes de Distribuição Aérea (RDA), são um destes locais devido a sua importância dentro do processo produtivo. Pois são responsáveis por levar energia elétrica da subestação principal para as subestações secundárias, e por alimentar pontos importantes dentro da mina como as plantas de tratamento de minério, sistema de bombeamentos, barragens, oficinas, áreas de vivência, dentre outras.

A extensão das RDA, como na Mina de Fábrica chega a ter mais de 180 quilômetros de extensão e para garantir a confiabilidade do fornecimento de energia a inspeção sensível é o principal método de identificação de degradação ou falhas, porém, é quase impossível acessar todos os locais devido a condição de relevo, vegetação ou áreas interditadas.

A utilização de equipamentos robóticos para inspeção das RDA já é uma prática de sucesso no Setor Elétrico Brasileiro, em linhas de transmissão, como na CEMIG, que investiu mais de 1 milhão de reais para atualizar o sistema de inspeção (Setor Elétrico, 2020). Implementar o emprego do drone em redes de distribuição 13,8kV dentro da área da Vale, nas Minas de Fábrica e Viga será o objeto desta pesquisa para definir possíveis ganhos em relação a inspeção convencional. A pesquisa com a nova forma de inspecionar poderá diminuir os custos com a inspeção além, de possibilitar a aquisição de vídeos e imagens com novas perspectivas que poderá ajudar a dar previsibilidade das atuações das equipes de manutenção e ajudar a identificar falhas. O equipamento que será utilizado será o drone do fabricante DJI, Mavic PRO 2.

1.1 Motivação

As dificuldades encontradas em prever as falhas nas redes de distribuição aéreas das minas de produção de minério de ferro, fazem com que ocorram falhas que impactam o processo

produtivo, e colocam equipes de manutenção elétrica em risco para identificar onde e o que provocou as falhas.

Os motivos que dificultam as equipes de inspeção a detectarem as falhas de forma prematura são as mais diversas possíveis, dentre eles as principais estão descritas abaixo:

- Grande extensão das RDA chegando em Fábrica ter mais de 180 km e em Viga mais de 27 km;
- As RDA passam em locais de difícil acesso ou que não é possível de modo convencional;
- Os equipamentos a serem inspecionados estão na maior parte acima de 11 m de altura o que dificulta a visualização de princípio de falhas mesmo utilizando binóculo;
- Áreas de barragens em nível de emergência 3, segundo a ANM nº 95/2022 que impede o acesso das equipes devido ao risco de ruptura inevitável ou ocorrendo;
- Muito tempo para percorrer pequeno trecho da RDA.

Visto isto, encontrar uma forma de obter imagens das estruturas e componentes que compõe a RDA de forma clara para se ter uma maior previsibilidade das atuações e aumentar a confiabilidade, foi a motivação por desenvolver a pesquisa utilizando o drone.

1.2 Objetivo Geral

Propor a utilização de dispositivo robótico aéreo, drones, como ferramenta para inspeção sensível nas RDA de forma a obter imagens que pela inspeção convencional não seria possível.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Analisar os riscos apresentados pela inspeção de RDA convencional;
- Relacionar a utilização de drones na inspeção de RDA com os desafios da empresa;
- Analisar os possíveis ganhos da utilização de drones na inspeção de RDA.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

Este capítulo integra um referencial teórico sobre os principais pontos que compõem este trabalho, incluindo a história da Vale, a evolução da mina autônoma, uma conexão do projeto com os desafios da Vale em ser uma empresa 4.0, e os desafios da robótica na mineração. Em seguida descreve as estruturas e componentes que são os objetos de inspeção, e por fim os mecanismos utilizados para implementar a robótica móvel na inspeção sensível.

2.1 Vale S.A.

Fundada em 1942 como Companhia Vale do Rio Doce, pelo Presidente Getúlio Vargas, em Itabira Minas Gerais, com a intenção de fornecer matéria prima para as empresas siderúrgicas brasileiras, sua história está ligada diretamente ao desenvolvimento da mineração no Brasil (VALE, 2022), como mostra a figura 1.

Figura 1 - Criação da CVRD



Fonte: vale.com - foto Jean Manzon.

Em 1956 as primeiras 716 ações da CVRD foram leiloadas na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro (Vale). Em 2007 passou a se chamar Vale S.A. depois de ter sido privatizada em 1997 durante o governo do Presidente Fernando Henrique. Nos anos seguintes, 2009, dá início sua parceria com a China, hoje seu principal cliente. E em 2011 inaugurou o Complexo S11D Eliezer Batista, o maior empreendimento da história da empresa. A operação combina tecnologia de ponta, baixo custo e alta produtividade (VALE, 2022).

2.2 Mina Autônoma

As minas autônomas são minas que não trabalham com pessoas dentro de um determinado local ou equipamento. No local de extração não tem operadores ou pessoas se movimentando entre os equipamentos. Os equipamentos são controlados apenas por sistemas de computador, GPS, radares e inteligência artificial, e monitorados por salas de controle a km de distância da mina.

Em 2018, na mina de Brucutu, na cidade de São Gonçalo do Rio Abaixo, Minas Gerais, caminhões fora de estrada de 240 toneladas de capacidade, passam a circular pelas estradas de uma área da mineração sem operadores. Os caminhões autônomos se deslocam com eficiência entre a frente da mina e a área de descarga, além dos caminhões foram lançados perfuratriz autônoma, cabine remota para operação de tratores, carregamento autônomo de explosivos (VALE, 2022).

Figura 2 – Caminhão autônomo



Fonte: vale.com - foto Jean Manzon.

2.3 Conexão do Projeto com os Desafios da Vale

A Vale vem investindo no futuro, de acordo com o programa de transformação digital está em andamento e ajuda a Vale a modernizar suas operações, visando mais segurança, inovação, sustentabilidade e produtividade. Essa evolução permitirá à Vale sustentar no longo prazo a sua estratégia de ser premium, flexível e previsível, e assim aumentar a segurança de seus empregados e a produtividade nos seus negócios.

O programa tem 4 pilares de atuação, dentre eles a Robotização, que é o tema principal deste trabalho.

Investir em inovação, transformou-se no fator principal que torna a Vale mais competitiva e rentável. Em 2021, a Vale desenvolveu um framework interno baseado em modelo ágil que visa acelerar o processo de resolução de problemas e explorar oportunidades a partir de diferentes produtos de inovação, (VALE, 2022).

2.4 Desafios da Robótica na Mineração

A mineração é uma das atividades mais antigas, apesar da evolução, ainda possui grau de risco aos operadores humanos (NR4, 2018). Apesar do enorme potencial de tipos de robô no mercado, efetivamente ainda são poucos os casos de aplicação efetiva. Isto se deve às condições ambientais de um processo de mineração, principalmente os processos a úmido, onde o ambiente com excesso de umidade, poeira, irregularidade de pisos que oneram e dificultam a implantação.

Segundo o trabalho apresentado no 18º Simpósio de Mineração pelo ITV, a robótica aplicada a equipamentos móveis que era apontado como tendência a duas décadas, hoje é uma realidade, como os trabalhos de descaracterização de barragens em Mina de Fábrica, onde se utilizam de equipamentos teleoperados são utilizados para acessar barragens, como Forquilha 3 e 4, que estão em nível risco 3, o que impede o acesso de pessoas (ITV, 2021).

O mesmo artigo mostra que a robótica já está presente em atividade de manutenção, como para limpeza de equipamentos de mineração, montagens e manutenção de vagões. Mas em áreas de manutenção de usinas a robótica ainda é pouco empregada. E

foi na área de manutenção que ocorreram os acidentes com potencial grave, deixando um grande desafio de como empregar a tecnologia nestes ambientes (VALE, 2022).

2.5 Redes de Distribuição Aérea Em Média Tensão

Deste a Guerra das Correntes, disputa entre Nikola Tesla e Thomas Edison que ocorreu no final do século XIX, tanto o sistema de corrente contínua (Edson) ou o de Corrente Alternada (Tesla) necessitavam de um sistema de distribuição que transmitisse a energia da geração até os consumidores, a corrente contínua necessitava de espessos condutores e todo o sistema operava na mesma tensão, exemplo 110V. Já a corrente alternada transformadores eram utilizados depois da geração para elevar a tensão para níveis que possibilitasse a transmissão com condutores de menor bitola, e outro transformador para abaixar a tensão a níveis adequados para consumo final (ITFORUM, 2009).

Da mesma forma há a necessidade de transmitir a energia gerada atualmente nas usinas, sejam térmicas, hidráulicas, térmicas, nucleares, eólicas, solares etc., até os centros de consumos (ABRADEE, 2021).

Nas áreas de mineração, por terem grandes extensões territoriais, as linhas de distribuição se misturam pelas paisagens, ramificando ao longo das minas, conectando subestações, sistemas de bombeamentos, oficinas, barragens, usinas, escritórios, restaurantes etc.

As redes de distribuição são compostas por condutores, transformadores, estruturas como postes, sistemas de medição, controle e proteção. A linha de distribuição das quais são o objeto de estudo distribuem a energia em média tensão no nível 13,8kV e entregam aos consumidores finais em tensões de 440V, 220V ou 127V.

Segundo a NBR 5460 (2013) RDA é parte de um sistema de distribuição de energia associada a um alimentador, compreendendo, além destes, os transformadores de distribuição por ele alimentados, com os respectivos circuitos secundários, e quando houver, os ramais de entrada dos consumidores que recebem energia sob a tensão do alimentador.

As Redes de Distribuição que são utilizadas nas unidades da Mina de Fábrica e Viga podem ser dadas em:

- Redes de distribuição aérea de energia elétrica com condutores nus, redes convencionais. (ABNT NBR 15688, 2013).
- Redes de distribuição aérea de energia elétrica com cabos cobertos fixados em espaçadores, redes compactas (ABNT NBR 15992, 2013).

Figura 3 - Redes de Distribuição Aérea



Fonte: Próprio autor (2022).

2.5.1 Riscos nas Inspeções em RDA

De acordo com o trabalho de Santos (2016), foram identificados diversos riscos em que estão expostos os inspetores durante o percurso para avaliação das RDA, sendo físicos, químicos, biológicos e acidentes. Os riscos físicos que foram detectados são (SANTOS, 2016):

- Ruído devido a explosões de transformadores, para raios e chaves fusíveis;
- Temperatura de trabalho ao ar livre e Radiação não ionizante

Os riscos químicos levantados por Santos (2016), tratam de defensivos agrícolas para controle de pragas, porém, não se aplica às RDA da Vale, já que em toda a sua extensão não há nenhuma cultura nas proximidades.

Os riscos biológicos levantados por Santos (2016), para saúde do inspetor, são riscos de mordidas e picadas de animais peçonhentos e vírus transmitidos por parasitas como os carrapatos.

A grande quantidade de equipamentos de grande porte, cavas com taludes muitas vezes com erosões ou má sinalização, áreas remotas com vegetação densa podem provocar os seguintes riscos nas áreas de mineração:

- Trânsito;
- Quedas de mesmo nível ou por níveis diferentes;
- Choque elétrico;
- Risco de animais peçonhentos.

2.5.2 Principais Estruturas das RDA

Nesta seção são apresentados os principais componentes que compõe a RDA e que são itens da lista da ordem de manutenção que o inspetor tem que realizar a sua avaliação sensitiva.

2.5.2.1 Postes

Os postes são suportes de linha aérea constituídos por uma coluna esbelta, engastada verticalmente no solo (ABNT NBR 5460, 2013). Podem ser de concreto armado, figura 4, (ABNT NBR 8451-1, 2013) ou eucalipto preservado (ABNT NBR 16202, 2013).

Figura 4 - Postes de Concreto



Fonte: Próprio autor (2022).

2.5.2.2 Cruzetas

Cruzetas são peças que se fixam transversalmente num poste e nas quais, por sua vez, são fixados condutores de uma linha aérea, suportados por isoladores e guardando entre si as distâncias especificadas, e/ou eventualmente equipamentos (ABNT NBR 5460, 2013), a figura 5 apresenta uma cruzeta de fibra.

Figura 5 - Cruzetas



Fonte: Próprio autor (2022).

2.5.2.3 Isoladores

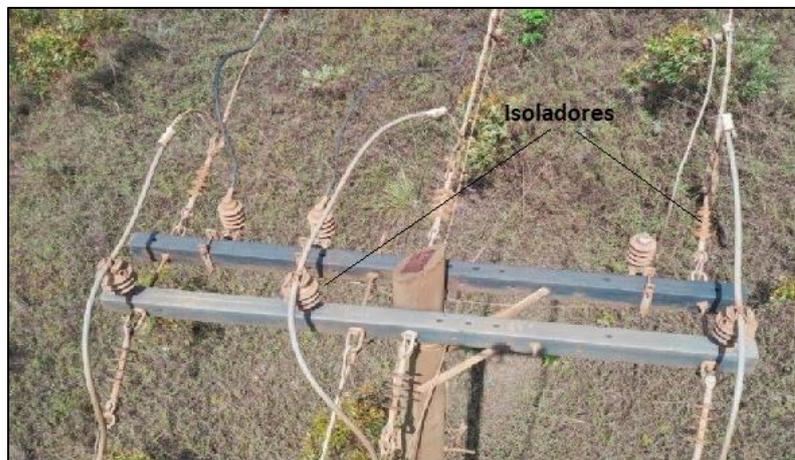
Isoladores são dispositivos destinados a isolar eletricamente e a fixar e/ou fornecer suporte para um condutor ou para um equipamento elétrico que estão submetidos a potenciais elétricos diferentes (ABNT NBR 5472, 2013).

Eles podem ser de Porcelana ou Polimérico:

- Porcelana: os isoladores devem ser produzidos pelo processo plástico e devem ser recobertos com uma camada de esmalte liso vitrificado, devendo atender ao que determina a ABNT NBR 5032 (ENERGISA GTD-NRM / 025, 2019).
- Poliméricos: os isoladores devem ser compostos por um bastão de resina reforçado com fibra de vidro e revestido por material polimérico à base de borracha de silicone vulcanizada, devendo ser resistente ao trilhamento elétrico e ao intemperismo, com rigidez mecânica e suportabilidade elétrica adequadas, devendo atender ao que determina a ABNT NBR 15232 (ENERGISA GTD-NRM

/ 025, 2019).

Figura 6 – Isoladores



Fonte: Próprio autor (2022).

2.5.2.4 Condutores

Os condutores são produtos metálicos, de seção transversal invariável e comprimento muito maior do que a maior dimensão transversal, utilizados para transportar energia elétrica ou transmitir sinais elétricos (ABNT NBR 5471).

Eles são responsáveis por levar a energia elétrica de um ponto ao outro, podem ser nus para as redes que seguem a ABNT NBR 15688, ou protegido para as redes compactas conforme ABNT NBR 15992, guardam distância de segurança entre si, e em relação ao solo, ao suporte e a outras estruturas (aterradas ou não), e aos obstáculos atravessados (ABNT NBR 5460, 2013).

Em relação a sua forma construtiva os condutores empregados às redes de distribuição convencional, condutores nus, podem ser cabos de alumínio com alma de aço zincado (CAA) (ABNT NBR 7270, 2009). Em alguns vãos menor que 80 metros podem se utilizar condutores sem alma de aço (CA) (CEMIG ND2.2, 2016).

Os cabos protegidos da figura 6 são de alumínio protegidos com uma cobertura de isolamento de polimérico termofixo (ABNT NBR11873,2011).

Figura 7 – Condutores

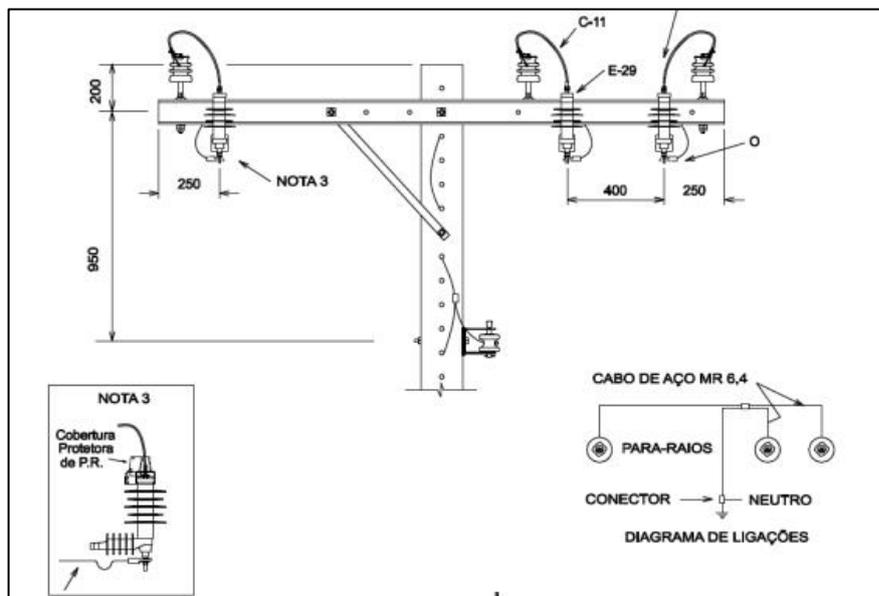


Fonte: Próprio autor (2022).

2.5.2.5 Para-raios

Dispositivo destinado a proteger o sistema elétrico contra sobretensões transitórias elevadas e a limitar a duração e a intensidade da corrente subsequente (Energisa / GTD-NRM / N°036 /2019). A Figura 8 apresenta um exemplo de para-raios.

Figura 8 - Para-raio

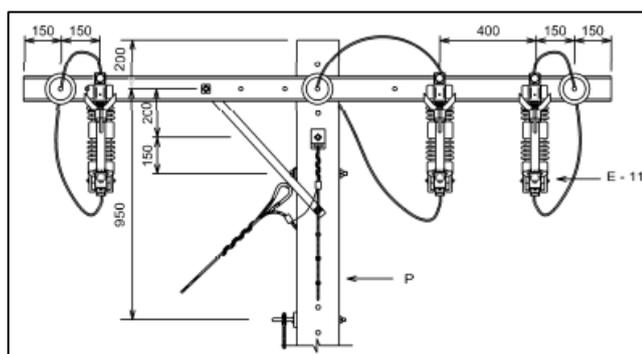


Fonte: (CEMIG ND02, 2016).

2.5.2.6 Chaves Fusíveis

Dispositivo fusível no qual o porta-fusível pode ser manipulado de forma a obter uma distância de seccionamento, sem que haja separação física entre o porta-fusível e a base (ENERGISA GTD-NRM / 025, 2019), conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Chaves Fusíveis

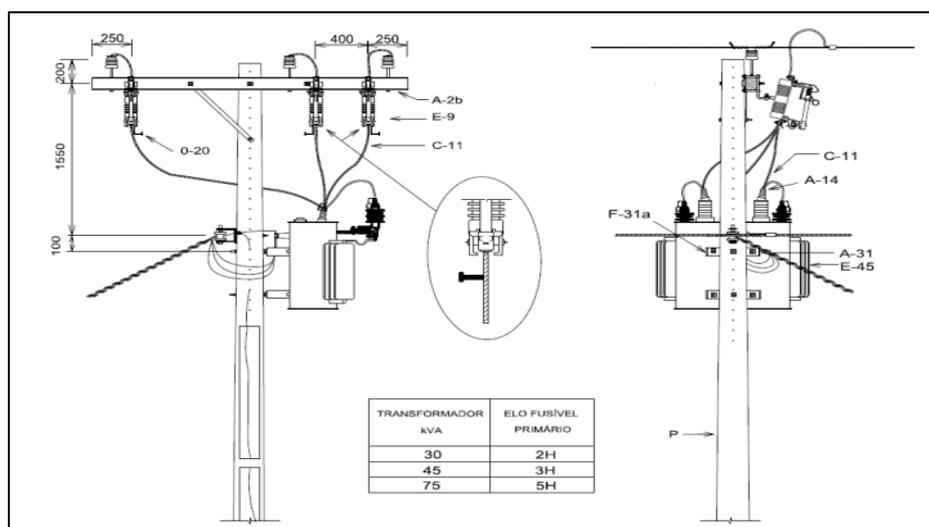


Fonte: (CEMIG ND02, 2016).

2.5.2.7 Transformador

Transformadores são equipamentos elétricos estáticos que, por indução eletromagnética, transformam tensão e corrente alternadas entre dois ou mais enrolamentos, sem mudança de frequência (ABNT NBR 5458, 2010), de acordo com a Figura 10.

Figura 10 – Transformador

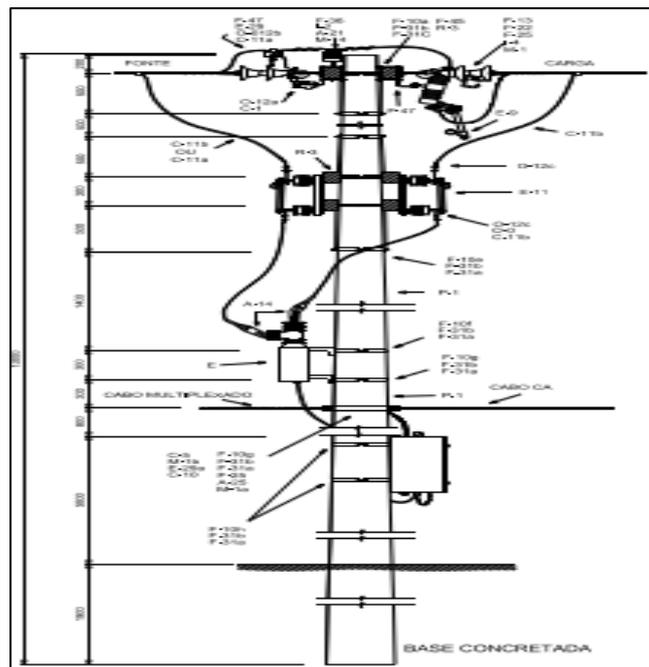


Fonte: (CEMIG ND02, 2016).

2.5.2.8 Religador Automático

Dispositivo de proteção contra sobrecorrente, automático, destinado a abrir e religar uma ou mais vezes (NEOENERGISA DIS-NOR-010, 2021). A Figura 11 apresenta o esboço de um religador automático.

Figura 11 - Religador automático

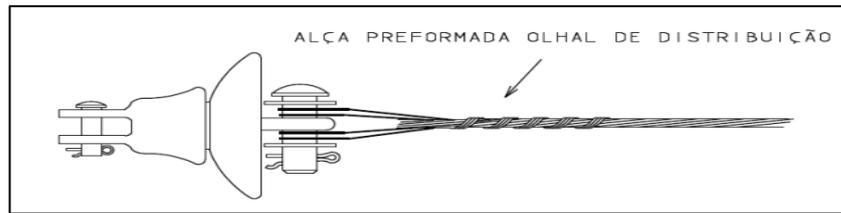


Fonte: (CEMIG ND02, 2016).

2.5.2.9 Alça Performada

São acessórios destinados a execução de pontos finais mecânicos no primário junto aos isoladores de disco, no secundário pré-reunido junto ao suporte de suspensão/ancoragem, utilizando ferragem para acomodação, ou no secundário diretamente no isolador roldana, para cabos de alumínio (CPFL 3172, 2007), conforme apresenta a Figura 12.

Figura 12 - Alça performada

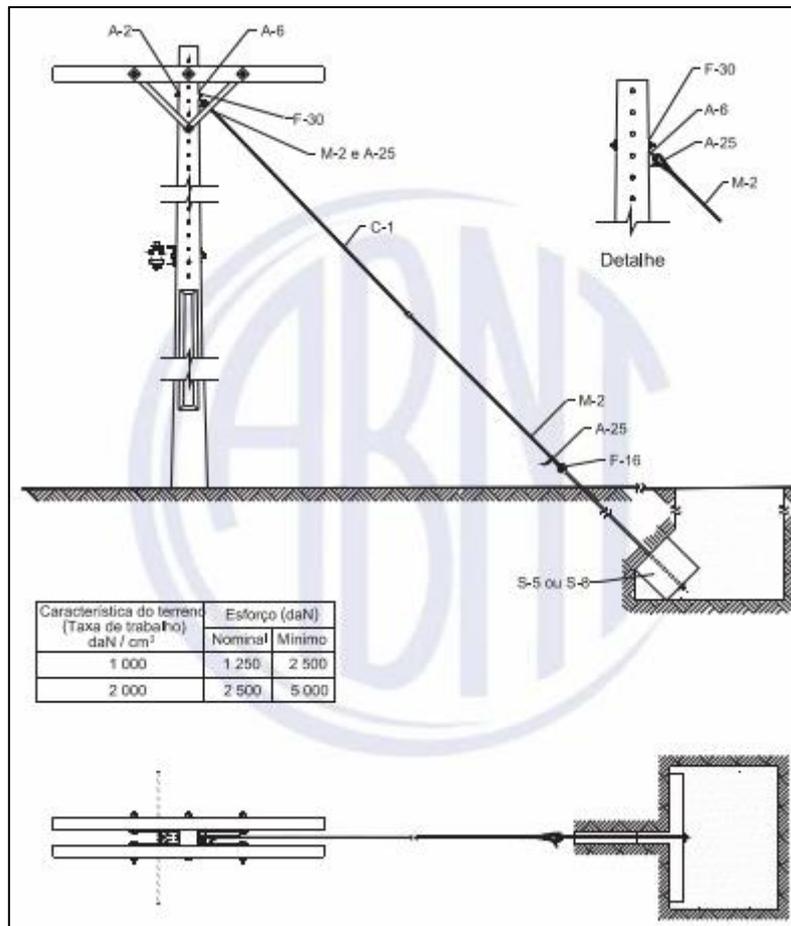


Fonte: (CEMIG ND02, 2016).

2.5.2.10 Estaiamento

Estai é uma cordoalha de aço, trabalhando a tração, que liga um determinado ponto de um suporte de linha aérea a uma âncora ou contra poste, para assegurar ou reforçar a estabilidade do suporte (ABNT NBR 5460), como apresenta a Figura 13 abaixo.

Figura 13 - Estai em uma RDA

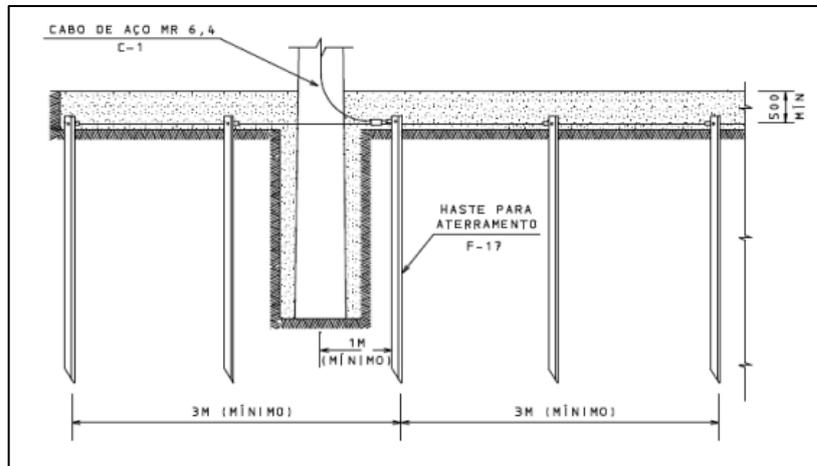


Fonte: (ABNT NBR 15688, 2013).

2.5.2.11 Aterramento

O Aterramento é uma ligação elétrica intencional com a terra em caráter permanente ou temporário (ABNT NBR 5460, 2013). O Condutor de aterramento é de baixa impedância, que assegura a ligação elétrica entre um ponto dado de um ponto da instalação ao eletrodo de aterramento, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Aterramento em uma RDA



Fonte: (CEMIG ND02, 2016).

2.5.2.12 Ferragens

Ferragens de linhas aéreas são dispositivos que exercem a função mecânica ou elétrica em uma linha elétrica (ABNT NBR 6547,2010), elas podem ser:

- Ferragens pré-formadas – ferragens de linhas aéreas cujas características mecânicas asseguram a auto fixação por agarramento (ABNT NBR 6547,2010);
- Ferragens anticorona – ferragens eletrotécnicas cuja forma e acabamento superficial são projetados para minimizar os efeitos corona e de rádio interferência (ABNT NBR 6547,2010).

A Figura 15 abaixo apresenta um modelo de ferragens de linhas aéreas.

Figura 15 - Ferragens em linhas aéreas

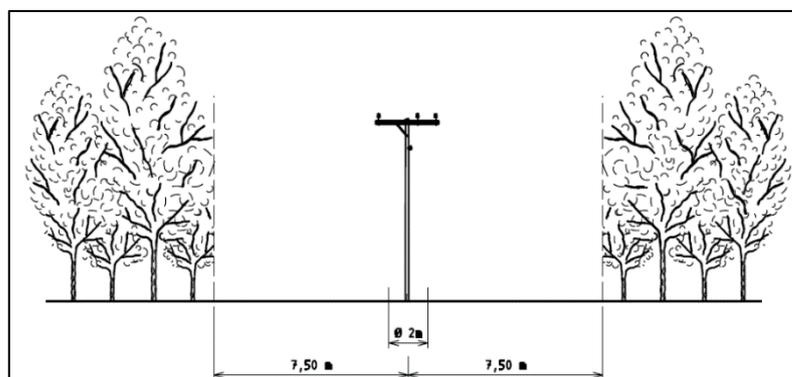


Fonte: ABNT NBR 6547 (2010).

2.5.2.13 Faixa de Servidão

A faixa de servidão ou de segurança é uma zona de 7,5 m de cada lado do eixo da RDA, conforme figura 16, onde não se pode construir e tem que se manter limpa de vegetação para evitar contato acidental com a rede (ND2.2-CEMIG, 2016).

Figura 16 – Faixa de servidão



Fonte: Cemig.

2.6 Principais Anomalias nos componentes das RDA

A inspeção sensitiva apesar de utilizar apenas os sentidos, diversas falhas podem ser identificadas utilizando os sentidos, nos tópicos seguintes será descrito as principais falhas que podem identificar durante a inspeção sensitiva.

2.6.1 Postes

Define se como falha qualquer característica ou defeito que comprometa o seu desempenho mecânico, como rachas e fendas, ataques de fungos apodrecedores, cupins ou brocas-de-madeira, no aburno ou no cerne, (NBR 16202, 2016). Outro ponto importante é o prumo e seu engastamento

2.6.2 Cruzetas

Conforme a NBR 5488 as cruzetas devem estar isentas de:

- sinais de deterioração, fungos e insetos;
- fraturas transversais;

- depressões acentuadas;
- orifícios, pregos, cavilhas ou qualquer peça metálica que não especificamente autorizadas;
- curvaturas;
- sinuosidade em qualquer trecho;
- fendas ou rachas;
- nós ou orifícios de nós em qualquer trecho;

2.6.3 Isoladores

As falhas encontradas através da inspeção sensitiva são trincas ou quebra nos isoladores de vidro e porcelana, furos, avarias, coloração, poluição, com pinos tortos, oxidados ou desenroscados ou com amarrações frouxa.

2.6.4 Condutores

Os condutores devem estar isentos de, (OTD 001.01.08, FERCOERGS):

- Verificar se os cabos apresentam tentos rompidos;
- Verificar a coloração se está diferente em pontos de emenda ou conexão;
- Verificar se há derretimento ou estufamento;
- Observar se há afrouxamento do cabo.

2.6.5 Para-raios

- Verificar se os para-raios estão com a sua estrutura comprometida;
- Se não há nenhum dos para-raios faltando;
- As condições das ferragens de sustentação se estão oxidadas ou frouxas;
- Verificar se o condutor de ligação da fase ao para-raios e para-raios ao condutor de aterramento está integro sem mudança na coloração.

2.6.6 Chaves fusíveis

- Verificar a posição na cruzeta e afastamento entre si conforme a ND2.2 para redes nuas ou ND 2.9 para redes compactas;
- Condições das ferragens de fixação quanto a oxidação e a sua sustentação (parafusos frouxos ou faltando porcas);

- O estado do cartucho porta fusível, das conexões e do contato se há indícios de aquecimento, porcelana trincada, suja, chamuscada ou quebrada.

2.6.7 Transformadores

- Posição do transformador no poste;
- Condições físicas das ligações, tanque a terra, chaves fusíveis, para-raios e ligação do neutro à terra;
- Verificar o estado de conservação da carcaça, buchas, se há vazamento de óleo e se há oxidação ou afrouxamento das ferragens de fixação.

2.6.8 Religadores

- Avaliar a posição no poste;
- Condições físicas das ligações, ligação a terra, chave faca, para-raios, dispositivo de acionamento manual e dispositivo de alimentação;
- Verificar o estado do estruturas, buchas, se há vazamento de óleo, conexões;
- Verificar a indicação de estado, aberto e fechado.

2.6.9 Estaiamento

- Verificar o tensionamento do estai;
- Verificar se não tem nenhum jumper ou condutor próximo.

2.6.10 Chave faca

- Verificar a posição na cruzeta
- Condições de conservação das ferragens, se há oxidação ou estão frouxas;
- Verificar o estado dos isoladores se estão trincados ou quebrados;
- Verificar o estado das laminas, contatos e conexões, se há sinais de aquecimento.

2.6.11 Faixa de Servidão

- Verificar se em torno do eixo da rede há vegetação com risco de contato com a rede
- Verificar em torno do pé do poste se em um raio de 2 m o aceiro.

2.7 Drones

Drone ou VANT segundo a ICA 100-40(2020) do Ministério da Defesa Comando da Aeronáutica, é um veículo aéreo não tripulado e pilotado a partir de uma estação de pilotagem remota. Há outras definições como um equipamento provido de hélices o qual recebe comando pelo ser humano de forma remota, e pode ser guiado até certas distâncias (COSTA, 2019).

Os drones podem ser classificados em três grupos:

- Asas rotativa – plataforma multirotor
- Asas fixas – asas similares as de avião
- Asas híbridas – híbrido, asas rotativas e asas fixas

Figura 17 - Exemplo de asa voadora AT120



Fonte: Austec Tecnologia.

Os drones de asa fixa são semelhantes a estrutura dos aviões, geram sustentação através de suas asas em relação a estrutura principal da aeronave (conhecida como fuselagem em aviões convencionais). Essa sustentação ocorre através de conversão do movimento de avanço da aeronave em reações aerodinâmicas (forças de sustentação, arrasto e momento), (AUSTER TECNOLOGIA, 2017).

Torres da Silva e Borges (2018) afirmam que um drone multirotor tem a desvantagem em relação ao de asa fixa porque precisa de no mínimo 3 motores para conseguir voar ao contrário do drone de modelo asa fixa que precisa apenas de um motor, deste modo economiza bateria e consegue obter uma melhor autonomia de voo.

Um dos modelos de asa fixa é o Elbit Hermes 900, importado de Israel, que são utilizados pela FAB, Força Aérea Brasileira, há mais de uma década nas missões de vigilância, reconhecimento e retransmissão de comunicações, (CNN BRASIL, 2022).

Figura 18 - Elbit Hermes 900

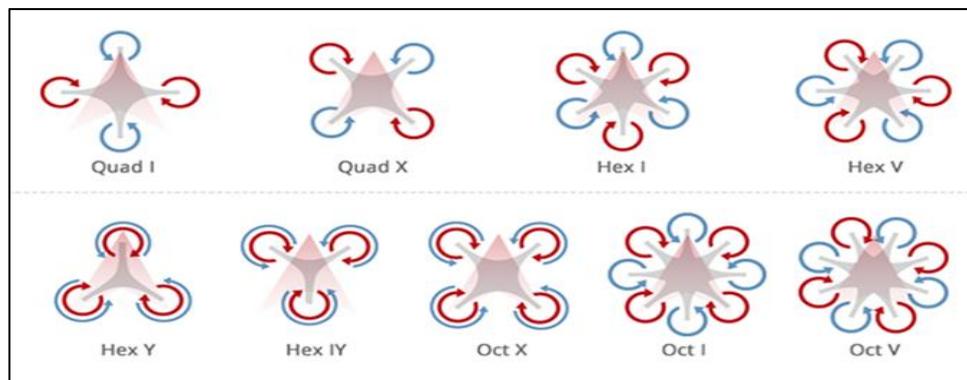


Fonte: Elbit systems.

Os drones da categoria de asa rotativa, também conhecidos por multirotores, possuem a capacidade de voar mais lentamente, em altitude mais baixa do que drones da categoria de asa fixa e possuem uma maior facilidade de operação.

De acordo com Torres da Silva e Borges (2018) essa classe de drone se torna a mais interessante devido ao fato de possuírem um tamanho compacto, a sua facilidade de operação, segurança e custo operacional reduzido.

Figura 19 - Drones multirotor



Fonte: (Kneipp, 2018).

O modelo de drone composto por seis ou mais hélices/motores são drones que atingem velocidades elevadas para se movimentar e possuem capacidade maior para

carregar objetos. Esse modelo de drone é muito utilizado para trabalhos com fotografias profissionais, pois possuem grande estabilidade e a capacidade de acoplar a câmera. São utilizados também em tarefas de realização de topografia, mapeamento de regiões (Felipe, 2022). Conforme pode ser visto na figura 19 um modelo de drone de oito hélices.

Figura 20 - Drone de oito hélices



Fonte: www.felipeflop.com (2022).

O drone de modelo híbrido não possui tantas aplicações atualmente, basicamente é uma aeronave adaptável, que possui asa fixa e hélices/multirotores (SENAR, 2018), podendo ser observado na Figura 20 uma ilustração de um drone híbrido.

Figura 21 - Drone híbrido



Fonte: SENAR (2018).

Cada drone possui uma ou mais capacidades, podendo oferecer funcionalidades diferentes. Por esse motivo, para cada função que se deseja exercer com a utilização de um drone, se faz necessário escolher previamente o equipamento a ser utilizado para ser possível desempenhar a missão da melhor maneira possível. Como citado anteriormente, cada tipo e cada drone é bom para uma ou outra função (ANHAIA, 2022).

2.7.1 Principais Componentes de um Drone

Segundo o trabalho de Salgado Neto e Caldeira (2021), os principais componentes básicos de um drone em sua estrutura básica são: bateria, motores/hélices, gimbal, câmera e o aplicativo móvel.

A bateria é a fonte de energia, as hélices/motores são responsáveis pela parte de fazer o equipamento voar, o gimbal permite a estabilização do drone, a câmera para a obtenção dos registros de imagens e vídeos, e o aplicativo móvel que transmite a imagem ao vivo obtida pelo drone de maneira que facilita e simplifica o uso do equipamento. A Figura 22 apresenta esses componentes.

Figura 22 - Componentes de um drone



Fonte: Almeida Filho (2021).

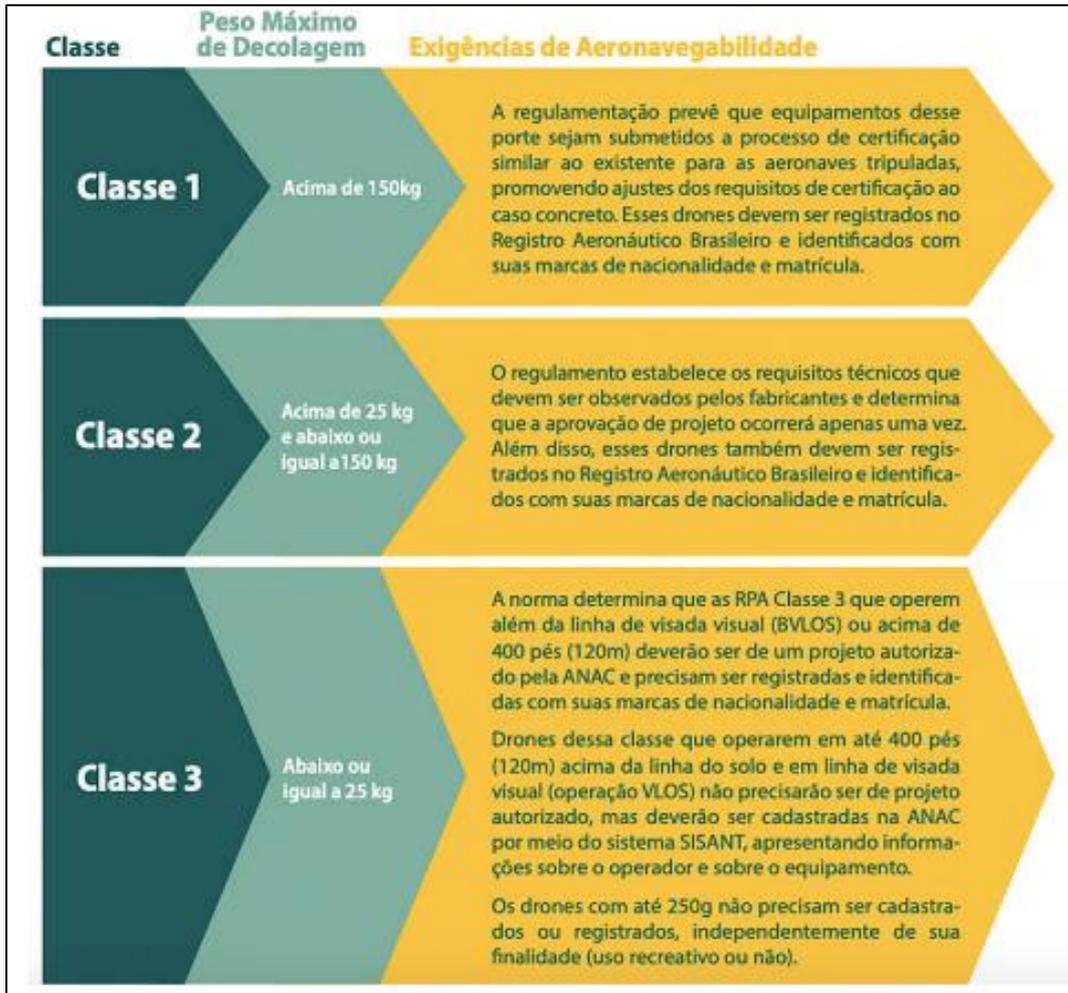
2.7.2 Regulamentação do Drone no Brasil

Segundo informações contidas no site da ANAC, ela criou regras para as operações civis de aeronaves não tripuladas, o “Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017” é complementar as normas de operação de drones estabelecidas pelo “Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA)” e pela “Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL)”.

Pelo regulamento da ANAC os aeromodelos e RPA, aeronave remotamente pilotada, só podem ser operados em áreas com no mínimo 30 metros horizontais de distância das pessoas não anuentes ou não envolvidas com a operação e cada piloto remoto só poderá operar um equipamento por vez.

Conforme recomendação da a ANAC as aeronaves pilotadas remotamente estão divididas em 3 classes de acordo com o seu peso máximo de decolagem, considerando os pesos de bateria ou combustível do equipamento e de carga eventualmente transportada. Classe 1 para peso máximo de decolagem de até 150kg, Classe 2 para RPA de 25kg a 150kg e Classe 3 para RPA de 250g até 25kg.

Figura 23 - Categorias de Drones



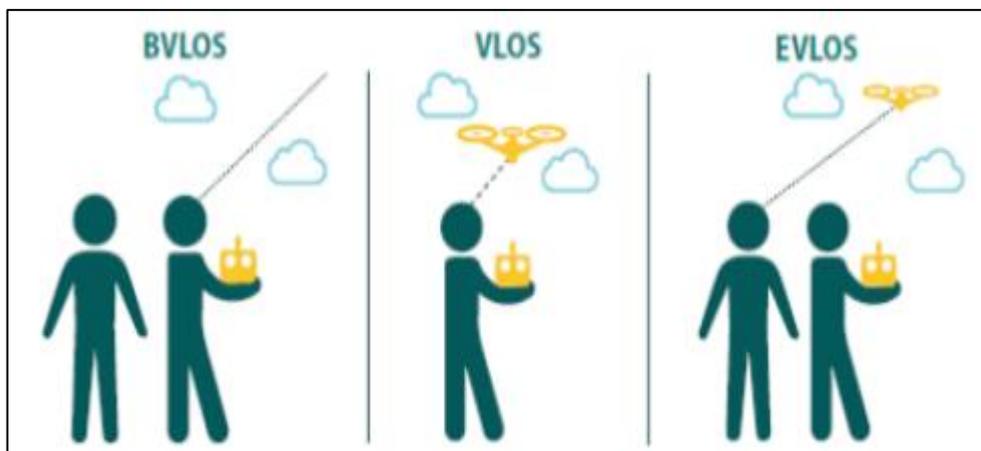
Fonte: Lis (2017).

Na figura 23 pode ser observado que a categorização da ANAC cita um modo visual de voo denominado BVLOS. Há três tipos de modos de voos, os quais serão citados e explicados a seguir. As três classificações de alcance visual em relação drone piloto são BVLOS, VLOS, EVLOS (KNEIPP, 2018).

- BVLOS — É a operação onde o piloto não consegue manter o drone ao seu alcance de visão nem com a ajuda de um observador.
- VLOS — É a operação onde o piloto mantém o drone ao seu campo de visão sem precisar de auxílio de outros equipamentos.
- EVLOS — É a operação onde o piloto somente consegue manter a visão com o auxílio de equipamentos e com a ajuda de um observador de drones.

Na figura 24 podem ser observadas as três classificações de alcance visual.

Figura 24 - Alcance Visual



Fonte: KNEIP (2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta uma proposta para o desenvolvimento e levantamento dos dados de inspeção sensível utilizando o drone nas unidades da Mina de Fábrica e Viga para compará-los com os resultados de uma inspeção convencional.

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O trabalho está baseado nos mais de 200 quilômetros de Redes de Distribuição Aérea de 13,8kV em área de lavra de minério de ferro, cujo relevo pode chegar até 1520 metros de altitude, de propriedade da empresa Vale, mais especificamente nas unidades de Mina de Fábrica em Ouro Preto, e Mina de Viga, em Congonhas. A Figura 24 apresenta a vista aérea de uma das áreas mencionadas.

Figura 25– Vista aérea da mineração Vale



Fonte: Google Earth (2022).

3.2 Metodologia

Este trabalho tem sua metodologia baseada na pesquisa realizada pelo ITV, divulgado no “Relatório de Operacionalização de Voos Automáticos Para Inspeção de Linhas de Transmissão de 69kV da Mina de Fábrica, denominado projeto Luzia, que teve como objetivo geral realizar inspeção na linha de 69kV e como objetivo específico:

- Validar o drone DJI Mavic 2 PRO em inspeções em LD e RD;
- Inspeccionar a LT de 69kV da mina de Fábrica com o auxílio do Mavic 2 PRO;
- Desenvolver rotas automáticas para o voo dos drones aos arredores da LT;
- Operacionalizar a atividade de criação de rotas automáticas.

Também em acompanhamentos dos inspetores de cada unidade em suas rotas inspeções das RDA nas suas respectivas unidades, para avaliar suas rotinas de inspeção sensitiva convencional e a introdução da utilização dos drones para a mesma atividade.

3.2.1 Método ou procedimento de análise

Para a coleta de dados, foi realizado o acompanhamento dos inspetores em suas rotas da forma convencional a fim de levantar todos os dados possíveis com a utilização dos equipamentos convencionais para inspeção sensitiva, como o binóculo e uma câmera (celular), verificando suas dificuldades e riscos associados à atividade.

As mesmas rotas de inspeções foram realizadas com os mesmos inspetores, porém, com a utilização do drone a fim de obter os dados da implementação da tecnologia na atividade.

3.2.2 Inspeções

As inspeções são fundamentais para confiabilidade das operações e para isso utilizam-se duas técnicas principais: a sensitiva e a preditiva, elas servem para verificar e identificar possíveis anomalias, registrando-as e corrigindo, de forma preventiva ou corretiva. Elas visam garantir um padrão pré-estabelecido, promovendo a segurança de pessoas e meio ambiente (SENDI, 2012).

A inspeção sensitiva é uma técnica onde o inspetor utiliza seus sentidos para avaliar a situação atual do equipamento e compara com a condição ideal. De baixo custo, não requer grandes investimentos e para poder utilizá-la basta direcionar um profissional experiente que conheça bem os equipamentos da planta. As anomalias dos itens inspecionados em uma inspeção sensitiva normalmente são fáceis de identificar pois são perceptíveis aos sentidos humanos (ND4.4-CEMIG, 2016).

Já a inspeção preditiva pode ser descrita como a manutenção em permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando se de meios de supervisão centralizados ou por amostragem (NBR 5462, 1994). Possui custo mais elevado pois há investimento em equipamentos, como para Análise de Vibração, termografia, Ultrassom ou até mesmo custos com laboratórios para análise de óleo.

Nas RDA de 13,8kV da Mina de Fábrica e Viga a principal inspeção é a sensitiva, apesar de também poder ser efetuado a termografia e a ultrassom. Como a maior parte das anomalias encontradas nas serem perceptíveis a visão.

As inspeções sensitivas nas RDA ocorrem em uma periodicidade de 180 dias conforme determinado pela engenharia de confiabilidade, criando-se planos no sistema de planejamento SAP.

As inspeções são realizadas por técnico com conhecimento em sistema elétrico de potência (SEP) capaz de identificar falha e anomalias utilizando os sentidos, principalmente a visão. A Figura 25 apresenta uma inspeção realizada por um colaborador da empresa.

Figura 26 – Inspeção de RDA



Fonte: dados de pesquisa (2022).

De acordo com o plano de inspeção (Inspeção Programada), o inspetor percorre os vários quilômetros de rede avaliando as condições físicas de postes e de todos os componentes das RDA.

Por serem estruturas que chegam a até 18m, para visualizar muitas das avarias o inspetor utiliza um binóculo para auxiliá-lo a identificar, porém, as anomalias que somente são visíveis de cima tornam-se impossíveis de serem identificadas. Também há outros fatores que impedem a avaliação como RDA em locais onde o acesso é impossível como taludes, cavas, área com vegetação densa, áreas de ZAS (Zonas de Auto Salvamento) dentre outros.

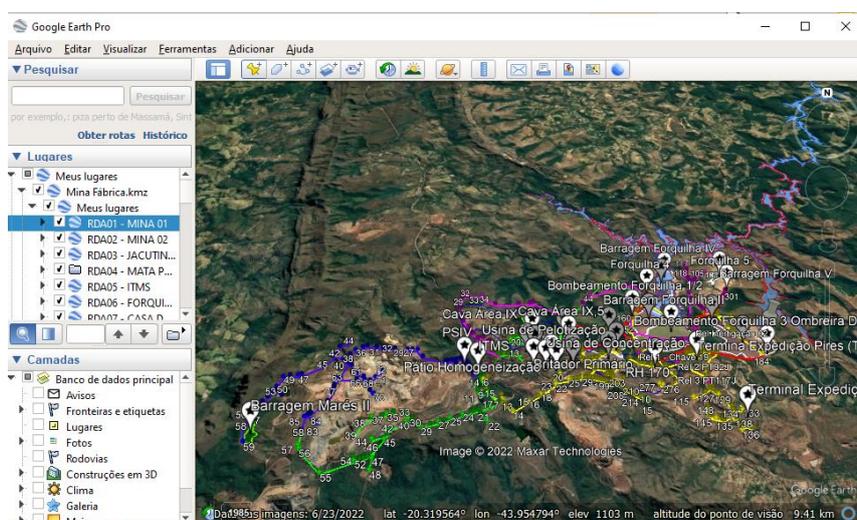
As inspeções também podem ocorrer de forma emergencial a fim de identificar uma falha já ocorrida com objetivo de saná-la e reestabelecer o sistema elétrico.

3.2.3 Desenvolvimento de rotas e análise das redes de distribuição

O desenvolvimento de rotas manuais consiste em definir os pontos de pouso e decolagem para que o inspetor tenha segurança durante a operação consiga inspecionar a maior extensão possível da RDA, maximizando a autonomia das baterias e diminuindo o tempo das rotas.

As rotas foram levantadas de acordo com planos de manutenção da Vale que estão planejadas no software de gerenciamento de manutenção SAP ECC (Sistema de planejamento de Recursos Empresarial) e traçadas no Google Earth. Atualmente na Mina de Fábrica possui 9 rotas cada uma com aproximadamente 20km e com um efetivo de 2 pessoas com carga horária de 32 horas, ou seja, 5 dias úteis.

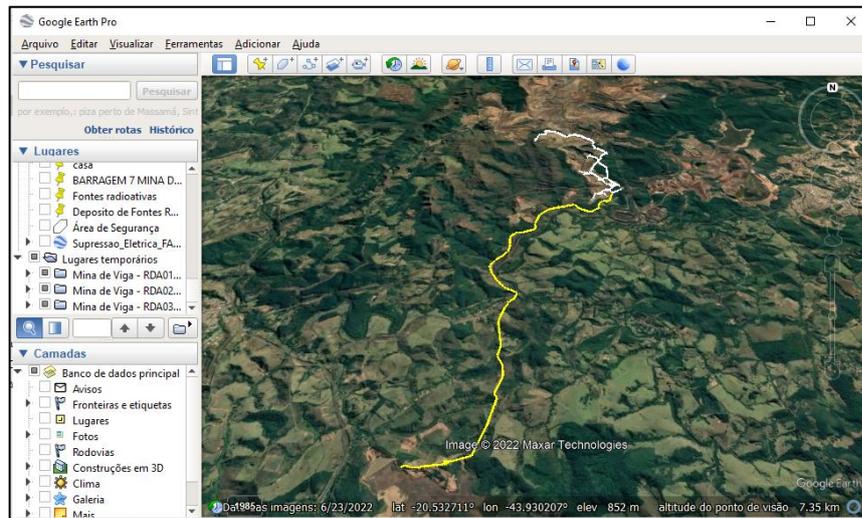
Figura 27 – Rotas da Mina de Fábrica



Fonte: Google Earth (2022).

Na Mina de Viga são 3 rotas de acordo com o SAP ECC, com tempos diferentes, a RDA 1 e 3 com tempo de 18,9 horas e a RDA 2 com tempo de 6,4 horas.

Figura 28 – Rotas da Mina de Viga



Fonte: o autor -Google Earth (2022).

As estruturas das redes de Fábrica ainda não possuem um número definitivo de componentes, mas estima-se que possuam aproximadamente 4800 postes, 7000 cruzetas, mais de 100 transformadores e chaves fusíveis, mais de 500 para-raios, mais 15 religadores, mais de 20000 isoladores, dentre outros componentes.

Em Viga estima-se que haja aproximadamente 620 postes, 1000 cruzetas, aproximadamente 30 transformadores e chaves fusíveis, mais de 120 para-raios, 8 religadores e mais de 2500 isoladores, e muitas outras miscelâneas que compõem a RDA.

3.3 Desenvolvimento de Rotas

De acordo com os testes realizados no projeto LUZIA e os erros encontrados no posicionamento, foi definido que as inspeções somente poderiam ocorrer em modo manual devido a imprecisão de posicionamento, o que poderia acarretar em um possível acidente. Esse erro aconteceu porque o Mavic 2 PRO utiliza o Sistema de posicionamento Global (GPS) convencional para obter a sua geolocalização, o que pode apresentar erros de até 5m de raio.

Como levantado também no projeto LUZIA, a partir de 300 m é difícil manter a visada direta com o drone devido ao seu tamanho compacto, assim definiu-se que o inspetor ficaria, sempre que possível, posicionado de forma a realizar um voo percorrendo uma distância 300 m em um sentido da rede e mais 300m em sentido oposto, desta forma ele conseguiria percorrer uma grande distância em um curto espaço de tempo. A Figura 23 apresenta uma simulação da posição do inspetor em relação à área de inspeção.

Figura 29 - Simulação da posição do inspetor



Fonte – Google Earth.

3.3.1 Treinamento para Inspetores na Operação de Drone

Capacitar os inspetores através de treinamento teórico e prático para que possam conhecer a tecnologia de robótica móvel, em especial o drone Mavic 2 PRO conhecer os conceitos básicos, a anatomia e equipamentos embarcados, as orientações, pouso e decolagem, controles básicos (Pitch, Roll, Yaw e Throttle), dinâmicas do movimento, componentes que compõe por dentro o drone (frame, motores, hélices, baterias, placas controladoras, circuitos eletrônicos, câmeras), esquema funcional.

Conhecimento de quais equipamentos embarcados os drones podem ter como:

- Câmeras RGB;
- Infravermelho;
- Câmeras multiespectral e hiperespectral
- Lidar.

Informar aos inspetores que para opera o drone de forma que não seja recreativo, de classe 3, estão sujeitos a regras e aspectos legais de órgãos regulamentadores como ANAC, DECEA, ANATEL e MD.

O treinamento também é importante para planejamento e execução do voo, aprender a realizar o check list, se preparar para emergências como falhas no equipamento, conhecer os modos de voo (Posição, Altitude ou Modo F) e pôr fim a utilizar os aplicativos de navegação.

Figura 30 - Treinamento de drone



Fonte: Próprio autor (2022).

3.4 Análise do Drone DJI Mavic 2 PRO

3.4.1 Análise do Drone DJI Mavic 2 PRO

O drone DJI Mavic 2 PRO apresentado na Figura 23, tem dentre as suas especificações as principais características: sensores anticolisão omnidirecionais, câmera com sensor de 1" CMOS de 20 MP e estabilizador, autonomia de 31 minutos (sem vento), velocidade máxima de 72 km/h e peso de 907 g (DJI, 2022).

Figura 31 - Drone DJI Mavic 2 PRO



Fonte: (DJI, 2022).

As análises do Mavic 2 PRO foi realizada em sua operação manual, para que os inspetores tenham as seguintes percepções, replicando o que foi realizado no projeto ELISA:

- Estabilidade dinâmica de voo: ou seja, o quão estável o drone fica quando está voando e como ele se comporta quando há uma rajada de vento;
- Sensores anticolisão: avaliar se os sensores conseguem detectar os cabos

e a estrutura dos postes. Além disso, deve-se definir a menor distância segura da torre;

- Qualidade de imagens obtidas: verificar se as imagens obtidas pelo drone apresentam qualidade suficiente para análise dos itens de inspeção;
- Interferências eletromagnéticas: analisar se o drone apresenta picos de sinais de comando ou comunicação devidos aos ruídos gerados a partir do campo magnético dos cabos e da estrutura da torre.

3.4.2 Aplicativo DJI GO4

O aplicativo DJI GO 4 é da própria empresa DJI, ou seja, é o aplicativo oficial da empresa DJI. É um aplicativo que possui capacidade para executar todas as funcionalidades que os drones da própria empresa oferecem, não apresenta uma facilidade para criar e executar missões com rotas definidas previamente, pois como os outros aplicativos, a criação de rotas é feita através da interface gráfica do aplicativo no celular dificultando a criação de rotas/missões (ANHAIA, 2022). A Figura 24 e 25 apresentam, respectivamente, a logomarca do aplicativo e sua interface.

Figura 32 - Aplicativo DJI



Fonte: (DJI, 2022).

Figura 33 – Interface do aplicativo



Fonte: MUNDOGEO (2020).

Como vantagens do aplicativo é possível citar (ANHAIA, 2022):

- Aplicativo gratuito;
- Possui capacidade para desempenhar todas as funcionalidades oferecida pelo modelo do Drone.

Já como desvantagens apresentam-se (ANHAIA, 2022):

- Não apresenta uma facilidade na criação e execução de rotas em geral;
- Não possui a funcionalidade de bater fotos durante a missão (sem ser o intervalo de fotos da câmera);
- Não utilizado para execução de missões.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo descreve os resultados obtidos neste trabalho.

4.1 Resultados

Este trabalho de pesquisa mostrou diversos ganhos no emprego da robótica móvel na área de inspeção de RDA em áreas de Mineração

4.1.1 Em segurança

O maior ganho com este trabalho vai de encontro com o maior valor para a Vale que é “A vida em primeiro Lugar”, local da realização da pesquisa. Constatou-se que com a utilização do drone para inspeção sensitiva houve uma expressiva redução dos riscos, e em alguns casos até eliminados. Como de locais onde seria necessário o inspetor adentrar em matagais ficando susceptível a ataque de animais peçonhentos, subir ou descer em encostas, atravessar vias, fazer longas caminhadas em pisos irregulares, ficar em posição ergonomicamente incorreta para tentar avaliar uma falha. Na imagem da figura 32 podemos observar da esquerda para direita os riscos associados a inspeção que com o drone foram eliminados, atropelamento, queda de talude, vegetação, piso irregular.

Figura 34 – Riscos na atividade de inspeção



Fonte: Próprio autor (2022).

4.1.2 Qualidade da inspeção

Um dos principais objetivos da inspeção é a previsibilidade de que algo possa ocorrer e impactar o processo produtivo, e para subsidiar o inspetor com dados na inspeção

sensitiva a visão é um dos principais sentidos que ele utiliza para avaliar as condições de cada item que compõe uma rede de distribuição. O drone Mavic 2 PRO utilizado nesta pesquisa forneceu imagens de perspectivas que no método em que se utilizava o binóculo e apenas a vista de baixo não lhe dá confiabilidade para se antever as falhas.

As imagens vistas de cima há uma distância de aproximadamente 1,5 m permitiu identificar falhas que antes não era possível. Na imagem da figura 33 podemos ver um exemplo prático de uma inspeção de emergência onde o inspetor precisava avaliar as condições da rede no poste no lado esquerdo da imagem no alto no morro sem acesso, com piso totalmente irregular. E com o emprego do drone podemos ver a imagem de toda a estrutura com qualidade, confiabilidade e sem colocar o inspetor em risco.

Figura 35 – Qualidade de imagem para inspeção sensitiva



Fonte: Próprio autor (2022).

No que diz respeito à informação, a possibilidade de se obter imagens de uma perspectiva que seria impossível utilizando somente o binóculo, é um grande benefício. Esta visão, analisada por um especialista, facilita a identificação de anomalias. A possibilidade de tirar fotos com alta qualidade também é um diferencial da inspeção com drones pois possibilita a avaliação posterior e o arquivamento da informação.

Para manutenção, uma boa informação no tempo certo, é um dado importante para a realização de planejamento eficiente pelo inspetor, a fim de evitar paradas que deixariam colaboradores em uma situação de risco em uma corretiva não programada, além de causar perdas na produção.

Figura 36 - Imagens com o Drone Mavic 2



Fonte: Próprio autor (2022).

4.1.3 Tempo

Outro ganho foi em relação ao tempo, pois a forma convencional de inspecionar as RDA demanda muito esforço e tempo, devido aos locais de difícil acesso, as longas distâncias a serem percorridas e a necessidade da utilização de binóculo. Com o trabalho observou-se que a rota de uma rede, como a Mina 2, pelo plano de inspeção cadastrado no SAP, levaria se 3 dias ou 19,2 horas úteis através da inspeção convencional, já com a utilização do drone, a mesma rota demandaria aproximadamente 6,4 horas. Uma redução de um terço do tempo.

Observou-se que esse tempo ainda poderia ser menor, porém, houve as seguintes perdas:

- Autonomia das baterias: o tempo médio de voo por bateria é em torno de 18 minutos, como o equipamento tinha apenas duas baterias, houve grande perda para aguardar recarregar, mesmo tendo o carregador veicular.
- Definição de pouso e decolagem: os locais de pouso e decolagem têm que estar bem definidos e inseridos no plano de inspeção

Outro ganho importante é a inspeção de emergência, quando ocorre uma falha e o inspetor tem que percorrer a rede para identificar o local afim de acionar as equipes de corretiva. Com o drone o tempo pode diminuir consideravelmente, principalmente se ocorrer em um ponto em que o acesso é limitado.

Um dos maiores ganhos deste trabalho foi eliminar ou reduzir os riscos à segurança dos inspetores levantados na seção 4.1.1. Com a utilização do drone, os inspetores fazem a análise preliminar escolhendo o local mais seguro para decolagem e pouso, eliminando a necessidade do seu deslocamento para outros locais.

No que diz respeito à informação, a possibilidade de se obter imagens de uma perspectiva que seria impossível utilizando somente o binóculo, é um grande benefício. Esta visão, analisada por um especialista, facilita a identificação de anomalias. A possibilidade de tirar fotos com alta qualidade também é um diferencial da inspeção com drones pois possibilita a avaliação posterior e o arquivamento da informação. A Figura 24 abaixo apresenta uma imagem capturada pelo drone utilizado neste estudo.

Para manutenção, uma boa informação no tempo certo, é um dado importante para a realização de planejamento eficiente pelo inspetor, a fim de evitar paradas que deixariam colaboradores em uma situação de risco em uma corretiva não programada, além de causar perdas na produção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Capítulo apresenta as considerações finais e as contribuições desta pesquisa. Este trabalho foi a continuidade do projeto Luzia, realizado pelo ITV, na mina de Fábrica tinha como principal objetivo a inspeção nas linhas de distribuição de 69kV. Após a conclusão, percebeu-se que a aplicação de equipamentos robóticos nas redes de 13,8kV como o drone Mavic 2 PRO que já fazia parte do inventário de equipamentos da inspeção traria maior benefício em comparação ao alcançado na rede de 69kV, devido a sua extensão ser 80 vezes maior, possuir uma quantidade de componente infinitamente maior, possuir estruturas de madeira que tem uma degradação com o tempo, interligar todos os pontos de energia da mina e possuir um perfil de perda com todas as falhas ocorrido no período histórico do sistema de Gestão de Produção Vale na Mineração, GPV-M.

Assim, o objetivo o principal da pesquisa foi alcançado, a utilização de equipamentos robóticos se mostrou muito eficiente nos quesitos segurança, tempo e qualidade da informação. Verificou-se que os benefícios obtidos com o drone na inspeção sensitiva supera o investimento da aquisição do equipamento.

A utilização do drone passou a ser rotina para as equipes de inspeções após a conclusão da pesquisa, equipamento fundamental em substituição aos tradicionais binoculo. Também passou a ser utilizado para realizar levantamento de novas redes já que possui tecnologia de GPS o que possibilita a retira de coordenadas de georreferenciamento.

Este trabalho constatou que o uso do drone pode ser útil para inspeções fora das RDA como dentro das subestações para verifica condições de sistemas de SPDA, transformadores de grande porte, cadeia de isoladores, seccionadoras e muitas outras condições que em condições normais desprendem tempo, espoe o colaborador ao risco.

Como ponto de melhoria observou-se a necessidade de aquisição de novos equipamentos como a câmera térmica para implementar a inspeção preditiva com drone e para a inspeção emergencial para identificação de falhas como pontos quentes.

Outro ponto importante para trabalhos futuros é a aquisição de equipamento com GPS com modulo RTK, Cinemática em Tempo Real, com isso seria possível mapear a rede de forma segura realizar as rotas de inspeção de forma automáticas e mais longas.

Os ganhos com a implementação do drone na inspeção que está em avaliação para ser item obrigatório na lista de equipamentos de inspeção dentro do plano de rotas de inspeção no SAP ECC.

REFERÊNCIAS

ANHAIA, Alexandre Augusto, **Gerador de Rotas Customizadas para Inspeção de Barragens Eestruturas com Drone**, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15688**: Norma de Fornecimento de Energia Elétrica. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5032**: aplica-se a isoladores de porcelana ou de vidro para linhas aéreas de sistemas elétricos de potência, em corrente alternada, e para sistemas. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5458**: define os termos relacionados aos transformadores de potência. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6547**: define os termos relacionados a ferragens utilizadas em linhas aéreas de transmissão e de distribuição de energia elétrica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15688**: padroniza as estruturas para redes de distribuição aérea com condutores nus de sistemas monofásicos e trifásicos de baixa e média tensão até 36,2 kV. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15992**: padroniza as estruturas para redes trifásicas de distribuição aérea de energia elétrica com cabos cobertos fixados em espaçadores para tensões. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1620**: estabelece os requisitos mínimos exigíveis para postes e contrapostes de eucalipto preservado sob pressão. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: estabelece os termos relacionados com a confiabilidade em a manutenibilidade. Rio de Janeiro. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5460**: define termos relacionados com sistemas elétricos de potência, explorados por concessionários de serviços públicos de energia elétrica. Rio de Janeiro. 2013. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5471**: define os termos relacionados a condutores elétricos geral. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5472**: define termos relacionados a isoladores para sistemas de potência, não sendo necessariamente aplicável a isoladores destinados outras. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8451-1**: especifica os requisitos para a fabricação, ensaios, recebimento, manuseio, armazenamento, transporte e instalação de postes. Rio de Janeiro. 2013.

CANAL SOLAR. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/cemig-adota-uso-de-drones-para-inspecionar-rede-eletrica/>. Acesso em: novembro de 2022.

CNN BRASIL. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/embraer-e-fab-assinam-acordo-para-desenvolver-drone-militar/>. Acesso em: novembro de 2022.

KNEIPP, Rafaela Barros. **O estado da arte na utilização de drones para inspeção naval e offshore**, 2018.

SALGADO NETO, Antônio; CALDEIRA, Nathalia Longaray. **Estudo de caso-análise de imagens geradas por Vant (Drone) para o monitoramento e controle do avanço de obras de infraestrutura**, 2021.

NATARA J., Naja. **Introdução a robótica**. editora unesp. 2017.

SANTOS, Laerte dos; FILHO, Marcelo de Oliveira M; SILVA, Rodolfo Vieira da. Tecnologia de detecção de corona por ultravioleta. In: XX SNPTEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2009, Recife. **Anais eletrônicos...** Recife: UFPE, 2009.

SENAR. **Agricultura de precisão: operação de drones**. Coleção Senar, Brasília 2018.

SOUZA BETÉ, Thiago de. Drones: um pequeno histórico e as consequências do seu uso. **Revista Conexão SIPAER**, v. 10, n. 1, p. 2–14, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15232**: define os termos usados e prescreve os métodos de ensaio e respectivos critérios de aceitação para os isoladores compostos. Rio de Janeiro. 2009.

TORRES DA SILVA, Sávio; BORGES, Rodrigo. **Usos de Drones em Estudos Ambientais**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/330834388USOSDEDRONESEMESTUDOSAMBIENTAIS>. Acesso em: novembro de 2022.

VALE. Disponível em: <https://history.uol.com.br/hoje-na-historia/criada-companhia-vale-do-rio-doce>. Acesso em: novembro de 2022.