



**INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**

**PROFNIT - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROPRIEDADE  
INTELECTUAL E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA A INOVAÇÃO**

**MAURO BASTOS ABRAM**

**PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE INSPEÇÃO DE TORRES DE  
TELECOMUNICAÇÕES POR AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA)**

Salvador – BA  
2019

**MAURO BASTOS ABRAM**

**PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE INSPEÇÃO DE TORRES DE  
TELECOMUNICAÇÕES POR AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA)**

PRODUTO: Relatório técnico de prospecção tecnológica, apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação, pelo Instituto Federal da Bahia.

Orientadora: Profa. Dra. Núbia Moura Ribeiro  
Coorientadora: Profa. Dra. Suzana Borschiver

Salvador – BA  
2019

A161p Abram, Mauro Bastos.

Prospecção tecnológica de inspeção de torres de telecomunicações por aeronaves remotamente pilotadas (RPA) / Mauro Bastos Abram. Salvador, 2019.

89 f. ; 30 cm.

Relatório técnico (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia.

Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Núbia Moura Ribeiro.

Coorientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Suzana Borschiver.

1. RPA. 2. Drone. 3. Inspeção de torres. 4. Telecomunicações. 5. Gestão de ativos. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. II. Título.

CDU 2 ed. 621.39

**INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**

**PROFNIT - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROPRIEDADE  
INTELLECTUAL E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA A INOVAÇÃO**

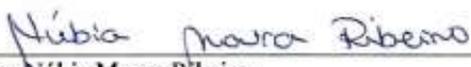
**PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE INSPEÇÃO DE TORRES DE  
TELECOMUNICAÇÕES POR AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS  
(RPA)**

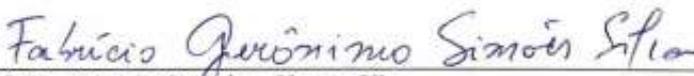
**MAURO BASTOS ABRAM**

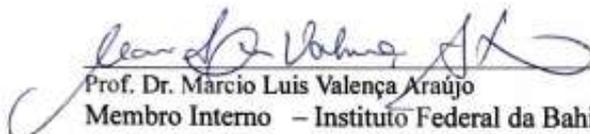
Produto(s) Gerado(s): Elaboração de manuais de operação técnica, protocolo experimental ou de aplicação ou adequação tecnológica; -Elaboração de artigo original.

Orientadora: Profa. Dra. Núbia Moura Ribeiro  
Coorientadora: Profa. Dra. Suzana Borschiver

Banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Núbia Moura Ribeiro  
Orientadora – Instituto Federal da Bahia (IFBA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fabricio Gerônimo Simões Silva  
Membro Externo – Instituto Federal da Bahia (IFBA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marcio Luis Valença Araújo  
Membro Interno – Instituto Federal da Bahia (IFBA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Mcs. Marco Fabio Borges  
Membro Externo Suplente – Drones Solution Engenharia Inovativa LTDA

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela banca examinadora em 04/10/2019.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todos que colaboraram durante nesta jornada.

De modo especial, dedico ao meu finado pai, Isaac Abram, referência para meus passos.

À minha mãe Vilma e minhas irmãs Marba e Maisa Bastos Abram por todo o suporte.

E, em especial, à minha esposa Gabriella Carvalho e meus filhos Felipe e Lara pelo apoio e pela compreensão nos momentos de falta, em função da dedicação à construção deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos colegas, professores e colaboradores do PROFNIT, programa de Pós-graduação de inestimável valor para o nosso país.

Agradeço às minhas orientadoras e, em especial, por toda paciência e dedicação, à Núbia Moura Ribeiro, pessoa maravilhosa pela qual guardo profunda admiração.

Agradeço também ao meu amigo e sócio, Marcos Fábio Borges, por dividir comigo seu conhecimento em RPAS e me acompanhar na consolidação da nossa empresa DRONES SOLUTION, cuja experiência desenvolvida, ao longo desses quatro anos de existência, serviu de inspiração para construção do tema e elaboração desse trabalho.

Aos professores das bancas de qualificação e examinadora de Defesa do Mestrado pelas valiosas contribuições para aperfeiçoamento desse trabalho.

E a Deus, por ter colocado todas essas pessoas em meu caminho.

## RESUMO

O objetivo desse trabalho foi realizar uma prospecção tecnológica das tecnologias disponíveis envolvendo Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas no segmento específico de inspeção em ativos de infraestrutura em locais de difícil acesso, atendendo as demandas do setor de telecomunicações. A gestão de ativos de infraestrutura na indústria de telecomunicações requer atividades periódicas de inspeção dos sites que inclui atividades em altura para verificação de integridade da estrutura das torres e fixação das antenas e acessórios. Trata-se de uma indústria com demandas crescentes em função da constante expansão da cobertura somada ao envelhecimento da base instalada. As tecnologias trazidas pelas Aeronaves Remotamente Pilotadas, conhecidas popularmente por Drone, apresentam fortes argumentos para redução da exposição da vida humana e perspectivas crescentes de automatização e repetibilidade. Dentro da perspectiva da gestão de ativos, referenciado pela ISO 55000, possibilita registros temporais de forma digital, o compartilhamento das informações na empresa e entre fornecedores, dando suporte a tomada de decisão e redução de custos em longo prazo. Pode-se afirmar que eleva a atividade de inspeção para a era da Internet das Coisas, BigData e Inteligência Artificial num contexto de uma Indústria 4.0. A prospecção tecnológica aqui apresentada reúne informações acerca das demandas das estações de telecomunicações por inspeções e as práticas de Ensaios Não Destrutivos associadas. Analisa as tecnologias disponíveis, os serviços e analisa o contexto da migração das técnicas tradicionais para esse novo cenário.

**Palavras-Chave:** RPA. Drone. Inspeção de Torres. Telecomunicações. Gestão de Ativos.

## ABSTRACT

The objective of this work was to carry out a technological prospection of the available technologies involving Remoted Piloted Aircraft System in the specific segment of inspection of infrastructure assets in hard to reach places, meeting the demands of the telecommunications sector. Infrastructure asset management in the telecommunications industry requires periodic site inspection activities that include height activities to verify the integrity of the tower structure, antennas and accessories. It is an industry with increasing demands due to the constant expansion of coverage added to the aging of the installed base. The technologies brought by Unmanned Aerial Vehicles, popularly named as Drone, present strong arguments for reducing exposure to human life and increasing prospects for automation and repeatability. From the perspective of asset management, referenced by ISO 55000, it enables digital recording, information sharing within the company and between suppliers, supporting decision making and long-term cost reduction. It can be said that it elevates inspection activity to the era of Internet of Things, BigData and Artificial Intelligence in the context of an Industry 4.0. The technology survey presented here gathers information about the demands of telecommunications stations for inspections and the associated Nondestructive Testing practices. It analyzes available technologies, services and analyzes the context of migration from traditional techniques to this new scenario.

**Keywords:** UAV. Drone. Tower Inspection. Infrastructure Asset Management. Telecommunications.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>3GPP</b>	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
<b>ABENDI</b>	Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>AEPS</b>	Anuário Estatístico da Previdência Social
<b>ANAC</b>	Agência Nacional de Aviação Civil
<b>ANSI</b>	<i>American National Standards Institute</i>
<b>API</b>	<i>American Petroleum Institute</i>
<b>ASNT</b>	<i>American Society for Nondestructive Testing</i>
<b>ASNT</b>	<i>The American Society For Nondestructive Testing</i>
<b>ATM</b>	<i>Air Traffic Management</i>
<b>BSI</b>	<i>Institute of Asset Management e o British Standards Institute</i>
<b>BVLOS</b>	<i>Beyond the Visual Line of Sight</i>
<b>CNAE</b>	Cadastro Nacional de Atividade Econômica
<b>DSLMM</b>	<i>Digital Single Lens Mirrorless</i>
<b>END</b>	Ensaio Não Destrutivo
<b>ERB</b>	Estações Rádio Base
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>FAA</b>	Administração Federal de Aviação
<b>FCC</b>	Comissão Federal de Comunicações
<b>FOV</b>	<i>Field of Vision</i>
<b>GMG</b>	Grupo Moto Gerador
<b>GPS</b>	<i>Global Position System</i>
<b>GSD</b>	<i>Ground Sample Distance</i>
<b>IA</b>	Inteligência Artificial
<b>IBAPE</b>	Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>ICAO</b>	<i>International Civil Aviation Organization</i>
<b>IMU</b>	<i>Inertial Measurement Units</i>
<b>INSS</b>	Instituto Nacional do Seguro Social
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>

<b>LOS</b>	<i>Line of Sight</i>
<b>LTE</b>	<i>Long Term Evolution</i>
<b>MDS</b>	Modelo Digital de Superfície
<b>MP</b>	<i>Mega Pixels</i>
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>NDE</b>	<i>Nondestructive Evaluation</i>
<b>NM</b>	Norma Mercosul
<b>OSHA</b>	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
<b>PD&amp;I</b>	Pesquisa Desenvolvimento e Inovação
<b>PoD</b>	Probabilidade de Detecção
<b>PoFA</b>	Probabilidade de Falso Alarme
<b>PPK</b>	<i>Post-processing kinematic</i>
<b>QCAB</b>	Quadro de Controle e Alarme de Balizamento
<b>RBAC</b>	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
<b>ROC</b>	Curva de Operação Relativa
<b>RPA</b>	Aeronaves Remotamente Pilotadas
<b>RPAS</b>	Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas
<b>RTK</b>	<i>Real-time kinematic</i>
<b>SaaS</b>	<i>Software as a Service</i>
<b>SLAM</b>	<i>Simultaneous Localization and Mapping</i>
<b>SPDA</b>	Sistema de Proteção de Descargas Atmosféricas
<b>TIA</b>	<i>Telecommunication Industry Association</i>
<b>TRL</b>	<i>Vertical Take Off and Landing</i>
<b>UAV</b>	<i>Unmanned Space</i>
<b>US</b>	<i>United States</i>
<b>U-Space</b>	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
<b>VTOL</b>	<i>Technology Readiness Level</i>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Delineamento metodológico desta pesquisa .....	22
<b>Quadro 2.</b> Grau de Risco/Criticidade de Anomalias e Falhas.....	32
<b>Quadro 3.</b> Processo de Degradação em Estruturas Metálicas .....	34
<b>Quadro 4.</b> Guia para Seleção de Métodos END para Vários Materiais e Descontinuidades. .	42
<b>Quadro 5.</b> Descrição genérica das funções e tipos de erros na inspeção visual.....	47
<b>Quadro 6.</b> Arquitetura dos RPA em função do tipo de inspeção .....	53
<b>Quadro 7.</b> Sensores <i>onboard</i> em RPA: Auxiliares e Específicos ( <i>payload</i> ).....	56
<b>Quadro 8.</b> Plataformas RPA com Sensores integrados voltados à Inspeção.....	60
<b>Quadro 9.</b> Plataformas RPA com uso Sensores de terceiros voltados à Inspeção. ....	61

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Roof Top</i> , Torre de Concreto, Torre Metálicas Estaiada, Postes Metálicos, Torre Treliçada Autoportante. ....	31
<b>Figura 2.</b> Parâmetros de avaliação de durabilidade e desempenho de uma estrutura.....	35
<b>Figura 3.</b> Confiabilidade de ensaios não destrutivos .....	46
<b>Figura 4.</b> Cadeia de Valor dos RPA .....	50
<b>Figura 5.</b> Como o comprimento focal afeta o ângulo de visão.....	62
<b>Figura 6.</b> <i>DJI Matrice 200</i> e câmera <i>Zenmuse Z30</i> em inspeção de torre de celular .....	63
<b>Figura 7.</b> <i>DJI Matrice 200</i> e câmera <i>Zenmuse Z30</i> em inspeção de torre de celular .....	64
<b>Figura 8.</b> Foto de <i>Topcom Falcon 8</i> , a ~15 metros de distância, câmera <i>Sony Alpha 7R</i> , 36MP, dimensão da foto 7360 x 4912pixels, 1/1000s, f/5 ,35 mm, ISO 100 .....	65
<b>Figura 9.</b> Foto de <i>DJI Phantom 4Pro</i> , a ~8 metros de distância, câmera 20MP.....	65
<b>Figura 10.</b> <i>Maturidade Tecnologia de Sensores(payload)</i> aplicados para END na inspeção de Torres e Mastros em Telecomunicações .....	67
<b>Figura 11.</b> <i>Ranking</i> dos Operadores de Drone 2018.....	68
<b>Figura 12.</b> Planejamento de missão para torre de telecomunicações .....	69
<b>Figura 13.</b> Inteligência Artificial (IA) aplicada a navegação de RPAS .....	70
<b>Figura 14.</b> Modelagem 3D com simulação dos lóbulos de irradiação. ....	71
<b>Figura 15.</b> <i>As Built</i> por Modelo 3D e Inteligência Cognitiva.....	72

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Fatalidades em Torres de Telecomunicações nos Estados Unidos, 2006-2018.....	25
<b>Gráfico 2.</b> Curva PoD do Programa Original da NASA.....	45

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Cenário: O uso crescente de RPA no contexto da inspeção .....	16
1.2 Problema da pesquisa e vantagens da proposta .....	17
2 OBJETIVOS .....	19
3 METODOLOGIA.....	20
4 ATIVIDADE DE INSPEÇÃO EM TELECOMUNICAÇÕES .....	23
4.1 Inspeção de torres de telecomunicações e a introdução do uso do RPAS .....	23
4.2 Gestão de Ativos de Infraestrutura.....	27
4.3 Demandas da atividade de Inspeção em Telecomunicações.....	29
4.4 Probabilidade de Detecção diante de Fatores Humanos.....	43
5 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA – INSPEÇÃO DE ESTAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÕES .....	49
5.1 Visão geral da evolução dos RPAS aplicados à inspeção .....	49
5.2 Disponibilidade de serviços voltados à inspeção em telecomunicações. ....	55
5.3 Sensores (carga útil) e Subsistemas .....	56
5.4 Plataforma de serviços envolvendo Drones voltados à inspeção de Mastros e Torres..	67
5.5 Aplicação de Automatização e Inteligência Artificial (IA) nas plataformas de processamento.....	71
6 CONCLUSÕES.....	74
REFERÊNCIAS .....	76
ANEXO A - <i>CHECK LIST</i> DE INSPEÇÃO DE TORRE.....	82
ANEXO B - DIRETRIZES DE AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO E DE MANUTENÇÃO DA TIA/EIA-222 .....	83

## 1 INTRODUÇÃO

A proposta desse trabalho surgiu da necessidade de sistematizar e divulgar informações relativas à aplicação de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), popularizado pelo termo Drone, no contexto da inspeção de ativos de infraestrutura na indústria de telecomunicações, particularmente de estações de transmissão, incluindo torres e mastro e acessórios.

O cenário tecnológico dos RPA encontra-se em um momento de evolução acelerada nos últimos, a exemplo dos Estados Unidos em que os investimentos em parcerias e *startups* no segmento, que vinham num média inferior a U\$40Mi até 2013, atingiram U\$702Mi em 2018 (BOEDECKER, 2019). Com isso, crescimento da oferta de tecnologia embarcada, nível de autonomia, análise de dados gerados e Inteligência Artificial (IA) aumentaram significativamente. Apesar de 70% dos investimentos globais estarem focados na área militar, as aplicações comerciais representam as maiores oportunidades de crescimento, projetadas para atingir U\$13bi entre 2016 e 2020 (CASTELLANO, 2019). A facilidade de operação dos RPA e a precisão dos dados obtidos<sup>1</sup> a custos cada vez menores vêm popularizando o uso dessas aeronaves, ao mesmo tempo em que se multiplicam suas aplicações, tais como: monitoramento e defesa, uso nas áreas de agricultura, logística, fotografia e filmagem, engenharia, serviços de emergência etc. Uma das áreas que vem sendo significativamente afetada pela introdução dessa tecnologia é a inspeção de ativos de infraestrutura, dentre elas a inspeção de torres de telecomunicações, na qual se concentra esse estudo.

A pesquisa se divide em três blocos principais. As seções 1, 2 e 3 introduzem o contexto, as justificativas, os objetivos e a metodologia da pesquisa.

Na seção 4 é feito um levantamento das demandas das atividades de inspeção associadas às estações de telecomunicações no contexto da gestão de ativos de infraestrutura. Analisa a atividade de inspeção em si, os tipos de anomalias comuns ao ambiente das estações e os Ensaios Não Destrutivos (END) aplicáveis, fazendo uma rápida análise das questões operacionais, riscos, fatores humanos envolvidos e confiabilidade.

A seção 5 apresenta o resultado da Prospecção Tecnológica realizada passando pela evolução dos RPAS voltados à inspeção, sensores e subsistemas, e discute os fatores operacionais envolvidos na inspeção das estações de telecomunicações por RPA, plataformas

---

<sup>1</sup> Precisão no levantamento por aerofotogramétrica por RPA atinge acurácia posicional cartográfica na ordem de 10 a 1cm (DJI, 2019; WILLOUGHBY, 2019) (atendendo ao Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Digitais (PEC-PCD), ESCALA 1/1000: CLASSE A, conforme DECRETO Nº 89.817, DE 20 DE JUNHO DE 1984. A tecnologia também é capaz, e medições submilimétricas (2 lp/mm) de fissuras ou outras anomalias em inspeções (FLYABILITY, 2019).

*web* e aplicativos SaaS<sup>2</sup>, automatização da operação e Inteligência Artificial (IA).

Nessa seção, inicialmente será apresentado o cenário relacionado ao uso crescente de RPA no contexto da inspeção. Em seguida, será apresentando o problema de pesquisa e sua justificativa.

### ***1.1 Cenário: O uso crescente de RPA no contexto da inspeção***

Os RPA vêm despertando interesse de grandes empresas que pretendem usar robótica, Inteligência Artificial (IA) e análise preditiva para levar os serviços de inspeção a um nível mais elevado do que até então alcançado. Conforme comenta Scott (2017), a GE®, por meio de sua nova *startup* chamada *Avitas Systems*, pretende capturar uma fatia dos 40 bilhões de dólares gastos em inspeções por empresas de todo o mundo. A IBM®, em parceria com a ABB®, vem conduzindo testes com drones e sensores especiais, tendo seus dados interpretados pela tecnologia de inteligência cognitiva Watson® (SCOTT, 2017). De acordo com a Gartner Research (2017), o segmento de inspeções representará, em 2020, a maior fatia das aplicações comerciais de drones chegando a representar 30% desse mercado. Estes são movimentos significativos de grandes empresas que já enxergaram o potencial da integração dessas tecnologias.

A evolução das aeronaves em si, e a dos sistemas de controle, sensores, procedimentos, plataformas de processamentos de imagens/dados, sistemas autônomos e a aplicação de inteligência computacional, dentre outros fatores, criam um cenário complexo de possibilidades para desenvolvimentos de novos produtos e serviços. A prospecção tecnológica visa proporcionar uma visão mais clara destas possibilidades.

De acordo com Watts e Porter (1997, p. 25), a prospecção tecnológica busca fornecer informações oportunas acerca das perspectivas de mudanças tecnológicas que afetarão significativamente determinado mercado. O planejamento estratégico das companhias, as decisões de investimentos em PD&I, o desenvolvimento de novos processos e produtos, aquisição de nova tecnologia e definição de parcerias devem ser pautados em estudos de cenários tecnológicos, para que se diminua o risco e se garanta um bom posicionamento de mercado. Além disso, o planejamento estratégico deve abranger objetivos, horizontes temporais e abordagens variadas, e incorporar uma grande variedade de métodos de

---

<sup>2</sup> SaaS – *Software* como serviço, do inglês *Software as a Service*.

prospecção.

Nesse estudo é apresentada uma prospecção das tecnologias ligadas à aplicação do RPA na inspeção de ativos de infraestrutura, particularmente em torres de telecomunicações. O principal benefício esperado é fornecer informações para ajudar a tomar melhores decisões de investimento em tecnologia, identificando as tecnologias críticas ou as lacunas de tecnologia que devem ser preenchidas para atender às metas de desempenho do produto.

### ***1.2 Problema da pesquisa e vantagens da proposta***

O uso do RPA tem proliferado principalmente devido aos avanços nas tecnologias subjacentes (como sensores, câmeras, GPS e baterias), um ambiente regulatório positivo, buscando resolver as problemáticas de uso do espaço aéreo (U-Space<sup>3</sup>), aliado ao entusiasmo dos investidores. A Administração Federal de Aviação (FAA) projeta que o número de drones comerciais nos EUA atingirá quase três milhões até 2020 – quadruplicará o número de 2016 (VODAFONE, 2018). Conforme comentado acima, os recentes avanços tecnológicos do RPA aplicados ao setor de inspeções proporcionam uma série de oportunidades de otimização de recursos operacionais e diminuição de riscos, especialmente à vida humana (trabalho em altura e queda de estruturas), e de perdas financeiras por paralisação de serviços/operação e falha de gerenciamento do desgaste e envelhecimento da infraestrutura. No caso da indústria de telecomunicações, a demanda de eficiência na gestão dos ativos, como torres/mastros, antenas e acessórios, e os riscos associados à operação e manutenção tendem a aumentar por conta da quantidade de ativos (em constante expansão – área de cobertura e atualização tecnológica, ex. 5G), complexidade da cadeia de fornecedores envolvidas na operação e manutenção (gestão de competências, documentação técnica e responsabilidades) e ação do tempo sobre infraestruturas antigas ou legadas.

As informações relativas à aplicação do RPA em inspeção de infraestrutura vêm sendo abordadas em diversos trabalhos, no entanto, ainda carecem de uma abordagem integrada desta modalidade de inspeção aplicada à indústria de telecomunicações. Assim, essa pesquisa traz a prospecção tecnológica relativa a conhecimentos e tecnologias em torno desse tema específico.

Segundo Kupfer e Tigre (2004), a prospecção tecnológica reúne diversas técnicas para,

---

<sup>3</sup> U-Space – parte do SESAR 2020 que é um programa inovador para pesquisar o futuro da gestão do tráfego aéreo na Europa para dar suporte aos veículos aéreos autônomos (Unmanned).

de forma sistemática, mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos capazes de influenciar de forma significativa o mundo empresarial e a economia, ou a sociedade como um todo. Na visão de Borschiver e Silva (2016), diante da necessidade das empresas se atualizarem e acompanharem a evolução tecnológica, fundamental para se manterem vivas e competitivas, várias companhias já estão fazendo a gestão tecnológica tratando um grande quantidade de informações para atender seus objetivos. A atual revolução da informação, a exemplo da chamada Indústria 4.0 (termo cunhado pelos alemães em 2013) ou o conceito da Sociedade 5.0 (surgido no Japão em 2016), é impulsionada pela capacidade de coletar, transferir, armazenar e analisar conjuntos de dados cada vez maiores para criar percepções acionáveis, associando o ciberespaço e o espaço físico. Portanto, frente a essa revolução da informação, a prospecção tecnológica ganha ainda mais relevância.

A tecnologia do RPAS oferece novas maneiras de coletar dados por meio de uma variedade de sensores e câmeras. Os RPA também contam cada vez mais com o uso de dados e recursos (por exemplo, Inteligência Artificial, IA) para que eles funcionem de forma eficaz e, às vezes, de forma autônoma. Uma área de grande crescimento associada está no fornecimento de *software* específico para integrar a tecnologia de drones em processos de negócios específicos de cada setor.

Como não foram identificados trabalhos em profundidade voltados a conectar as tecnologias do RPA à inspeção na indústria de telecomunicações, se torna oportuno o desenvolvimento dessa pesquisa prospectiva, passando pela discussão dos paradigmas a serem vencidos para esse avanço tecnológico.

## 2 OBJETIVOS

O *objetivo geral* desse trabalho é realizar uma prospecção tecnológica das tecnologias disponíveis envolvendo RPAS no segmento específico de inspeção em ativos de infraestrutura em locais de difícil acesso, atendendo as demandas do setor de telecomunicações. Assim, é apresentado o estágio atual da oferta de produtos e serviços envolvendo RPAS compatíveis com a atividade de inspeção das estações de transmissão e a gestão desses ativos.

São *objetivos específicos* desse trabalho:

- Elucidar as demandas e desafios dessa tecnologia para resolver o problema das empresas de telecomunicações no que tange à gestão dos ativos de infraestrutura, especificamente estações de rádio e torres/mastros;
- Sistematizar as informações disponíveis acerca da inspeção por RPA no mercado de telecomunicações.

### 3 METODOLOGIA

Essa pesquisa está fundamentada em referenciais bibliográficos e documentais. A pesquisa bibliográfica é elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e, atualmente, com material disponibilizado na *Internet*. Já a pesquisa documental é elaborada a partir de materiais que não receberam tratamento analítico, tais como relatórios de empresas, protocolos de procedimentos operacionais etc. (SILVA; MENEZES, 2001).

Em termos de caracterização, a pesquisa é de natureza aplicada já que “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais” (SILVA; MENEZES, 2001, p. 20). Quanto à abordagem, a pesquisa classifica-se como qualitativa. Sobre pesquisa qualitativa Silva e Menezes, (2001, p. 20) dizem:

A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. É descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem.

Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva, pois leva em conta que a pesquisa descritiva “visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática” (SILVA; MENEZES, 2001, p. 21).

Por se tratar de um estudo de prospecção tecnológica, ressalta-se que a “prospecção tecnológica usa diferentes atividades e/ou métodos de captação, tratamento e análise de informações para subsidiar os processos de tomada de decisão” (ANTUNES *ET AL.*, 2018, p. 29).

Nesse estudo, os procedimentos básicos como já foram ditos, são de revisão bibliográfica e pesquisa documental. Em relação a eles:

A revisão bibliográfica ou revisão de literatura consiste na busca de informações sobre um determinado tema com base na pesquisa em diferentes fontes, principalmente livros e artigos científicos. Em geral, quando a pesquisa envolve relatórios, jornais e outros dados documentais, ela é denominada pesquisa documental. É muito utilizada no início de estudos acadêmicos, mas também pode ser usada no começo de estudos de inteligência competitiva e *foresight*, com o propósito de montar um panorama preliminar sobre o tema (ANTUNES *ET AL.*, 2018, p. 59).

Como as referências atestam, para essa pesquisa foram utilizadas publicações e normas técnicas sobre Ensaios Não Destrutivos (END) e acerca do setor de telecomunicações de instituições relevantes, livros técnicos, artigos voltados à utilização de RPAS aplicados na inspeção, e busca na *internet* sobre o tema. Essa bibliografia e esses documentos foram acessados a partir das mais diversas fontes:

- Bases de dados de artigos científicos: *Web of Science e Scopus, MDPI Technical Publications*.
- Anais de congressos e seminários;
- Páginas eletrônicas (*websites*) de órgãos que publicam normas técnicas, tais como: *The American Society For Nondestructive Testing (ASNT)*, Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI), Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE), Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), *American National Standards Institute (ANSI)*, *Telecommunication Industry Association (TIA)*, FAA, NASA, OSHA dentre outras;
- Páginas eletrônicas (*websites*) e catálogos de fornecedores de equipamentos e sensores voltados aos END, plataformas RPAS (*hardware*);
- Páginas eletrônicas (*websites*) de fornecedores de serviços na atividade de inspeção, inspeção por RPAS e plataformas de processamento de dados, armazenamento e compartilhamento;
- Páginas eletrônicas (*websites*) de revistas eletrônicas voltadas ao segmento de inspeção e de RPAS.

Como principais palavras chave foram utilizadas as siglas RPA, RPAS, Drone e VANT com as variações equivalentes no idioma inglês UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), UAS (*Unmanned Aerial System*) associados aos termos inspeção, *roadmap*, *outlook*, também torre e telecomunicações com seus equivalentes no idioma americano. Pela abrangência da pesquisa ou termos foram explorados como confiabilidade, segurança, gestão de ativos, ensaios não destrutivos.

A análise dos dados foi realizada com base em inferências que resultaram em argumentações, quadros e figuras que sintetizam os achados da pesquisa. Ressalta-se que a experiência do autor na área de inspeção com uso de RPA soma-se aos procedimentos e aos referenciais utilizados.

Pode-se sumarizar o delineamento metodológico dessa pesquisa, conforme o **Quadro 1**.

**Quadro 1** - Delineamento metodológico desta pesquisa

<b>Objetivo</b>	<b>Fonte de dados</b>	<b>Procedimento de análise de dados</b>
OE1 - Elucidar as demandas e desafios dessa tecnologia para resolver o problema das empresas de telecomunicações no que tange a gestão dos ativos de infraestrutura, especificamente estações de rádio e torres/mastros.	Artigos, livros, normas técnicas etc.	Inferências baseadas nos referenciais bibliográficos e documentais.
OE2 - Sistematizar as informações disponíveis acerca da inspeção por RPA no mercado de telecomunicações.	Material reunido ao atender ao OE1	Argumentação e organização dos dados em textos, figuras e quadros.
OG - Realizar uma prospecção tecnológica das tecnologias disponíveis envolvendo RPAS no segmento específico de inspeção em ativos de infraestrutura em locais de difícil acesso, atendendo as demandas do setor de telecomunicações.	Material reunido ao atender ao OE1 e OE2	Elaboração do texto desse relatório.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As próximas seções, especialmente a **Seção 5** (Prospecção Tecnológica sobre Uso de RPA para Inspeção), apresentam o corpo do relatório de prospecção propriamente dito.

## 4 ATIVIDADE DE INSPEÇÃO EM TELECOMUNICAÇÕES

Nessa seção serão tratados os seguintes temas: uma introdução da inspeção de torres de telecomunicações e as motivações da aplicação de RPAS; de que forma os RPA se inserem na gestão de ativos de infraestrutura; detalhamento das demandas por inspeção do ambiente das estações de telecomunicações e, por fim, uma análise dos fatores humanos envolvidos na atividade de inspeção e confiabilidade.

### 4.1 Inspeção de torres de telecomunicações e a introdução do uso do RPAS

Segundo Guarda Costeira Americana (EUA, 2002), existe dois tipos de inspeção em torres de telecomunicação: por escalada e de solo. Dentre os elementos inspecionados estão: placa de identificação da estação, pintura e conservação geral, fundação e base de fixação, estrutura da torre e sistemas de sustentação, elementos de fixação e antenas, sistemas de acesso à estrutura vertical, sistemas de segurança, estruturas de sustentação e proteção dos cabos e guias de onda, conectores, cabeamento, sistema de sinalização noturna, Quadro de Controle e Alarme de Balizamento (QCAB), sistema de aterramento, sistemas de para-raios (SPDA) (em ANEXO A, *Check List* completo de Inspeção de Torre).

A inspeção por escalada permite que cada item, quando acessível, seja verificado fisicamente quanto às fixações, aos encaixes e ao estado de conservação, sendo documentado por imagens incluindo número do modelo de equipamentos quando visível. Esse tipo de inspeção permite explorar outros sentidos além da visão, como movimentação, o tato e a audição (EUA, 2002).

Nas inspeções de solo, a estrutura da torre não é acessada e a captura de imagens é realizada por câmeras equipadas com *zoom* ótico apropriado. Esse tipo de inspeção atende perfeitamente à verificação dos itens da estação no solo, como transmissores, instalações elétricas e prediais, base da torre e fixação de estais, aterramento etc. No entanto, há óbices à verificação dos elementos da torre, instalação das antenas e dispositivos de segurança, que ficam limitados ao ângulo do qual as imagens são geradas, restringindo as conclusões do estado geral de conservação (EUA, 2002).

A introdução da inspeção visual por RPA complementa tais modalidades, fornecendo imagens detalhadas de todos os ângulos das plataformas, patamares, sistemas de acesso, sistemas de segurança, cabos e sistemas de fixação, antenas e suportes, sistemas de proteção

contra descargas atmosféricas (SPDA), sistema de balizamento noturno, dentre outros, permitindo assim a visualização e documentação de anomalias identificadas. Essas informações são fundamentais para que as equipes de operação e manutenção possam tomar decisões de intervenção. Adicionalmente a inspeção visual por RPA permite a reconstrução em modelo digital em três dimensões (3D) da torre (sejam elas metálicas autoportantes, estaiadas ou de concreto-armado) e dos equipamentos instalados (antenas, cabos, suportes e acessórios). Das imagens geradas e do modelo tridimensional podem ser extraídos: lista de equipamentos (inventário), verificação de verticalidade da torre, direcionamento de antenas, painéis e suportes. Assim, essa modalidade de inspeção possibilita a documentação em “*as built*”<sup>4</sup> voltada ao interesse das equipes de engenharia das operadoras de telecomunicações para verificação e revisão de projetos.

A inspeção visual é o primeiro método empregado para localizar defeitos suspeitos. É considerado um método de Exame Não Destrutivo (END). É um método de baixo custo, usado para avaliar um objeto por observação que permite determinar a condição da superfície (descontinuidades como rachaduras, furos, corrosão), o alinhamento das superfícies de contato, a conformidade com os requisitos físicos (dimensões, configurações) etc.

O monitoramento das estruturas em altura por método visual, com a utilização de RPAS, coaduna com normas como, por exemplo, a Norma Brasileira NR35 do Ministério do Trabalho (BRASIL, 2016). Nos Estados Unidos a referência normativa que trata dos requisitos mínimos para um programa de proteção contra quedas é a Z359.2-2009 da ANSI e a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) por meio da norma *Walking-Working Surfaces* 1910.22(d), onde estabelece que na manutenção e reparo, o empregador deve realizar inspeção regular a fim de garantir condições seguras de uso dos acessos e a integridade estrutura (OSHA, 2016). A norma NR35 (BRASIL, 2016), em requisitos e medidas de proteção para o trabalho em altura, estabelece que no planejamento das operações se deve evitar o trabalho em altura sempre que existir meios alternativos de execução. Acrescenta que, se necessária, seja feita a análise de riscos das condições de sua realização, o que passa a ser possível com a introdução das inspeções por RPA.

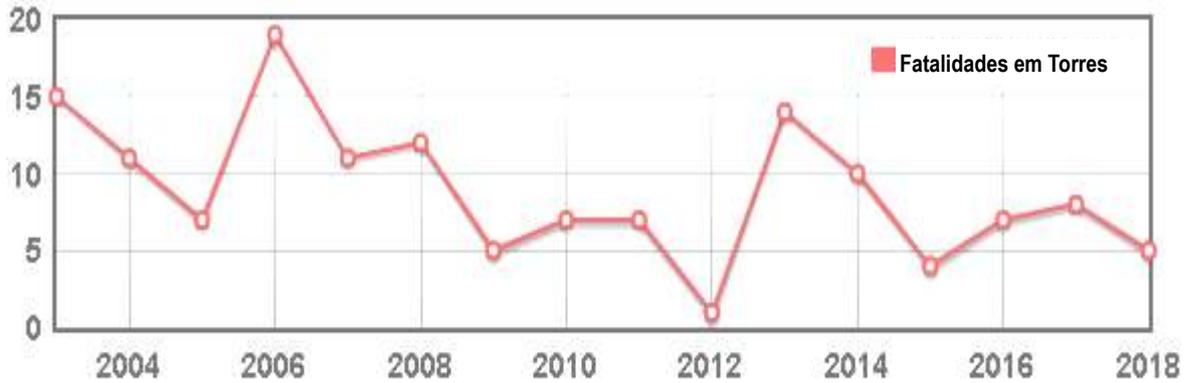
Alguns dos perigos mais frequentemente encontrados em atividade em altura incluem: queda de grandes alturas, práticas impróprias de amarração, falha de equipamento, perigo de objeto em queda, perigos elétricos, condições climáticas adversas, colapso estrutural das torres (EUA, 2017). O **Gráfico 1** traz a quantidade de fatalidades ocorridas nos Estados

---

<sup>4</sup> “*As Built*” é uma expressão inglesa que significa “como construído”.

Unidos nos últimos anos.

**Gráfico 1** - Fatalidades em Torres de Telecomunicações nos Estados Unidos, 2006-2018



Fonte: ORA, baseado no IMS/OIS e Wireless Estimator (2019).

No Brasil, os dados pesquisados através dos sites do IBGE, INSS, SINTTEL (Sindicato dos Trabalhadores de Telecomunicações) não permitem avaliar a quantidade de acidentes em altura associados exclusivamente à indústria de telecomunicações. De acordo com o Anuário Estatístico da Previdência Social (BRASIL, 2016) foi possível apurar que no setor de obras para geração e distribuição de energia elétrica e telecomunicações, representado pelo Cadastro Nacional de Atividade Econômica (CNAE) 42.21-9, ocorreu um elevado número de acidentes fatais, com média superior a 25 acidentes típicos, com base em dados de 2010 a 2016.<sup>5</sup>

Esses dados demonstram que a estrutura de negócios de telecomunicações apresenta, no que diz respeito à operação e manutenção da infraestrutura (torres e sistemas associados), desafios adicionais para garantir a segurança dos operários. Grande parte desse ativo hoje é operada por *tower companies*, empresas cujo negócio se concentra na locação (compartilhada ou não) da estrutura vertical e facilidades. Quando às operadoras de telecomunicações possuem suas próprias torres e empregam diretamente os funcionários que as mantêm, as operadoras têm a capacidade e o incentivo para garantir práticas seguras.

No entanto, a relação entre operadoras ou mesmo entre as *tower companies* e funcionários da torre é mais complicada. Construção da torre, instalação de suportes, instalação de antenas, cabeamento e subsistemas são realizadas por empresas subcontratadas, diferentes e em momentos diversos ao longo do ciclo de vida da torre. O próprio processo de

<sup>5</sup> Para o Brasil não foram encontrados dados de acidentes relacionados especificamente a setor de telecomunicações.

inspeção e manutenção é muitas vezes contratado de empresas terceirizadas e, muitas vezes, “quartermizadas” para realizar o serviço. Desta forma, a responsabilidade pelo treinamento dos operários, execução da inspeção e consequente verificação de segurança e integridade da torre acaba sendo compartilhado entre diversos fornecedores menores, o que implica em maiores riscos, maiores possibilidades de falhas.

Para minimizar os efeitos negativos dessa responsabilidade compartilhada, a OSHA editou uma série de recomendações (EUA, 2017), dentre iniciativas como critérios e seleção e habilitação de contratadas, relatórios, auditoria e treinamento destacam-se as iniciativas relacionadas manutenção de registros e comunicação. Os proprietários de torres devem garantir que suas torres sejam mantidas adequadamente e que as inspeções estruturais sejam realizadas regularmente, devendo manter um sistema abrangente de inventário eletrônico de todas as torres e antenas, incluindo informações detalhadas sobre cada um dos ativos de cada empresa. Essas informações devem conter desenhos, histórico de projeto e de trabalho e uma lista de condições inseguras relatadas, juntamente com a confirmação de reparos. Essas informações devem estar disponíveis e serem compartilhadas com a cadeia de subcontratadas que trabalham em um determinado projeto, porque é extremamente importante garantir que o trabalho possa ser concluído de maneira eficaz, oportuna e segura. O mesmo documento recomenda o uso do RPA como forma de reduzir a escalada desnecessária e de evitar colocar os funcionários em risco: *A number of companies have begun using drones for tower inspection. This technology has the potential to reduce unnecessary climbing and can avoid putting employees at risk.* (USA, 2017, p. 13)<sup>6</sup>.

A NOKIA começou os primeiros testes com o uso de RPA na inspeção de torres em 2015 na Arábia Saudita (TUNG, 2015). A exemplo das operadoras de telecomunicações, as americanas AT&T e a *Verizon* realizaram testes em 2016 e já estão usando drones comerciais para inspeções de torre de telecomunicações. Art Pregler, diretor de sistemas nacionais de mobilidade da AT&T, disse que as inspeções pré-instalação e a avaliação dos ninhos das aves, recuperação de desastre, inspeções pós-instalação, teste de *drive* de sistema de antena distribuído e teste de micro-ondas (THOMMAS, 2017).

Os RPA vêm evoluindo e têm demonstrado uma capacidade cada vez maior de identificar anomalias detectáveis por análise de imagens. Plataformas de processamento de imagens começam a aparecer no mercado fazendo uso de técnicas de inteligência computacional. A modelagem em três dimensões (3D) associada a *softwares* de gestão de

---

<sup>6</sup> Várias empresas começaram a usar drones para inspeção de torres. Essa tecnologia tem o potencial de reduzir a escalada desnecessária e pode evitar colocar funcionários em risco. (USA, 2017, p. 13, tradução nossa)

ativos expandem as possibilidades de visualização e compartilhamento da informação, tornando-as mais ágeis e efetivas. Da mesma forma, o processo de captura das imagens também vem se desenvolvendo para sistemas de navegação automatizados, agilizando a operação em campo e com grande potencial de redução de custos. Tais funcionalidades irão conferir aos RPA mais do que a característica de uma ferramenta de inspeção, passando para um completo sistema de inventário de infraestrutura.

Apresentada essa breve visão geral da evolução dos RPAS aplicados à inspeção em telecomunicações, na seção seguinte serão tratados os aspectos relativos à gestão de ativos de infraestrutura, correlacionando-os ao uso de RPA para inspeção desses ativos.

#### ***4.2 Gestão de Ativos de Infraestrutura***

Quantidades significativas de recursos e tempo são gastos gerenciando ativos essenciais aos negócios a cada ano. A busca incessante por redução de custos operacionais leva, por vezes, empresas a assumirem riscos insensatos de diminuição do ciclo de inspeções e manutenções em suas infraestruturas. A estruturação do conhecimento e das melhores práticas internacionais, em torno da gestão de ativos, é relativamente recente. O *Institute of Asset Management* e o *British Standards Institute* (BSI) trabalharam juntos para desenvolver estratégias (elaborados 28 requisitos) para ajudar a reduzir os riscos para os ativos físicos críticos de negócio resultando na especificação *Publicly Available Specification* (PAS) N° 55-1:2008 *Asset Management*. Publicada inicialmente em 2004, essa especificação proporcionou as bases para criação da série de normas ISO-5500X:2014 Gestão de Ativos, já apresentando avanços em relação a PAS55, abrangendo também ativos humanos, de informação, financeiros e ativos intangíveis (reputação, moral, propriedade intelectual).

Uma gestão de ativos eficaz contempla gestão de contratos, o planejamento e controle na manutenção, sistemas informatizados de registros de dados inspeção e manutenção, cumprimento de normas e requisitos legais, treinamento e capacitação de pessoal, indicadores, análise de modos de falhas, manutenção preventiva e preditiva, análise de confiabilidade, análise e gestão de risco e análise de ciclo de vida dos equipamentos e componentes. Praticar a gestão de ativos de acordo com as normas significa atingir um padrão internacional na geração de valor por meio do uso dos ativos com o equilíbrio do desempenho, dos custos envolvidos e dos riscos associados.

Em se tratando de torres de telecomunicações, assim como nas demais indústrias

intensas em infraestrutura, grande parte das anomalias identificáveis por inspeção visual está relacionada à corrosão. A *NACE International Institute* (2016) estimou que o custo global da corrosão seja de US \$ 2,5 trilhões, o equivalente a cerca de 3,4% do Produto Interno Bruto (PIB). O estudo constatou que a implementação de melhores práticas de prevenção de corrosão pode resultar em uma economia geral entre 15% e 35% do custo dos danos, ou entre US \$ 375 e US \$ 875 bilhões. A identificação do surgimento da corrosão por inspeção visual é o primeiro passo para o controle.

Os RPAS abrem novas perspectivas no cenário da gestão de ativos. Resolvem questões operacionais e de segurança, reduzindo riscos de exposição do homem e diminuição do tempo de inatividade da estrutura para atividade de inspeção e manutenção. Oferecem informações detalhadas e substanciais do objeto inspecionado gerando registros digitais. A tais registros é possível atribuir diversas dimensões de informação, como a qualificação das anomalias, classificação de riscos, dados operacionais (métodos de execução, sensores e responsáveis), posicionamento geoespacial e referências temporais que permitirão, em longo prazo, obter melhor entendimento do comportamento dos materiais em dadas condições de operação (tanto ambientais quanto de regime de uso). O volume de informação gerado associado ao uso de inteligência computacional proporcionarão a médio e longo prazo o melhor entendimento dessas patologias e a possibilidade de redução dos seus efeitos.

Como pode ser visto, o contexto dos RPA passa por um momento de grande movimentação e transformações do ponto de vista tecnológico. Os produtos e serviços já disponibilizados ainda têm muito espaço para evoluir em melhoria operacional, na captura dos dados e na entrega de resultados. A prospecção tecnológica auxilia a organização dos dados e o entendimento do cenário acerca desse contexto. Estar à frente da adoção dessas tecnologias será um fator decisivo de competitividade dos negócios. Em se tratando de inspeção, os negócios intensivos em infraestrutura já começaram a adotar os RPA, algumas vezes ainda em caráter experimental, requerendo desenvolvimentos específicos de acordo às demandas da indústria.

A indústria de telecomunicações é um dos mercados que demandará, desses sistemas, informações precisas com grande capilaridade e a baixos custos. Só no Brasil já são mais de 96.000 as Estações Rádio Base (ERB), estruturas voltadas para telefonia móvel, somadas às estações e repetidoras, sistemas de comunicação privadas e emisoras de rádio e TV (TELCO, 2019). Esse número ainda é pequeno frente aos países desenvolvidos. A dispersão dessas estruturas por todo o território nacional traz um desafio adicional para gestão destes ativos.

Apresentado esse panorama acerca de gestão de ativos de infraestrutura e dos RPA

aplicados à inspeção na área de telefonia, a seguir, na próxima seção, é discorrido sobre a inspeção usando RPA.

#### ***4.3 Demandas da atividade de Inspeção em Telecomunicações***

Para avaliar as demandas de inspeção da indústria de telecomunicações, o ponto de partida é entender a diversidade de elementos que compõe a infraestrutura dedicada à transmissão de sinais, as estações, normalmente composta dos seguintes elementos (TELCO, 2019):

- Local onde está implantada: *Greenfield* (aquelas que são instaladas em terrenos, ou seja, no solo) ou *Roof Top* (aquelas instaladas em pavimentos de cobertura de edifícios);
- Infraestrutura para a instalação dos equipamentos de telecomunicação incluindo a parte civil, elétrica, climatização e energia CC com autonomia em caso de falta de energia através de baterias e, em alguns casos, grupo moto gerador (GMG);
- Torre/Mastro/Poste para colocação de antenas para comunicação com os terminais móveis, transmissão de sinais AM/FM/TV e/ou enlaces de rádio.

Ao se tratar de inspeção por RPA, o foco natural são os elementos que envolvem dificuldade de acesso e exposição do homem à situação de risco. Nesse caso, o trabalho em altura no Brasil, regulado pela Norma Regulamentador NR35-Trabalho em altura do Ministério do Trabalho (BRASIL, 2016), determina as condições de trabalho a serem adotadas para toda atividade executada acima de 2,00 m (dois metros) do nível inferior, onde haja risco de queda. No ambiente das estações de telecomunicações isso inclui o topo/telhado das edificações (quando existir), sistemas de fornecimento de energia, e, principalmente, as torres, mastros ou postes com seus respectivos equipamentos e acessórios instalados. A norma define, além dos EPIs necessários, equipe mínima de dois profissionais capacitados, o inspetor de segurança e, pela criticidade e riscos envolvidos, pelo menos um profissional capacitado para operação de resgate em altura.

O processo de inspeção parte do entendimento das características construtivas da infraestrutura inspecionada, dos materiais empregados e do seu uso. Dentre as diversas normas aplicadas aos projetos das estações estão as normas que envolvem o projeto da

estrutura das torres. No Brasil se baseiam, em um conjunto de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (ABNT, 2019), como:

- NBR 8800 – Projeto e execução de Estruturas de Aço;
- NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações;
- NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas;
- NBR 6120 – Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações;
- NBR 6118 – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado;
- NBR 5419 – Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas.

Além dessas, estão envolvidas as normas que cobrem a fabricação e instalação de vários acessórios, como: antenas e suportes, cabeamento, sistema de acesso e segurança, pintura e sinalização.

No Brasil, os projetos de torres metálicas destinadas a telecomunicações estão fundamentados em procedimentos da antiga estatal Telebrás (1997) denominados de SDT-240-410-600/1997 e SDT-240-400-702/1997. Também se utilizam de normas internacionais mais direcionadas ao setor como a TIA/EIA-222 – *Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas* (ZAMPIRON, 2008), que trata especificamente de estruturas de suporte a antenas (hoje em sua recém-publicada revisão H/2018, que atualiza questões relacionadas aos riscos para a vida humana, danos potenciais à instalação, uso primário de estruturas e impacto de fatores ambientais como: vento/topografia, terremoto, gelo) (RUEDLINGER, 2018).

O procedimento SDT-240-410-600/1997 da Telebrás (1997) cita três tipos básicos de estruturas metálicas verticais: Torres Metálicas Auto-Suportadas, Torres Estaiadas e Postes Metálicos. Ainda existem as torres e postes em concreto armado, normalmente autoportantes, que não são abordados nesse procedimento, mas que são encontrados em operação, mesmo que em menor número. São muito utilizadas quando existe grande demanda de instalação de *links* de micro-ondas por conta da sua estabilidade posicional ao longo das cotas (em função do grau de rigidez mecânica em contato com ventos fortes). A **Figura 1** apresenta alguns exemplos dessas estruturas. Cada um dos tipos de estrutura requer aspectos específicos do ponto de vista de inspeção e diferentes técnicas de Ensaio Não Destrutivo (END) para avaliação periódica de sua integridade e de seus acessórios.

**Figura 1** - *Roof Top*, Torre de Concreto, Torre Metálicas Estaiada, Postes Metálicos, Torre Treliçada Autoportante.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A *Telecommunication Industry Association*, através na norma ANSI TIA/EIA-222 (TIA/EIA, 2005), traz recomendações de intervalo máximo de avaliação da condição de operação e de manutenção para estações de telecomunicações, sendo:

a) intervalos de três (03) anos para torres estaiadas e intervalos de cinco (05) anos para estruturas autoportantes;

b) imediatamente após tempestades severas de vento e/ou gelo ou outras condições extremas;

c) podem ser necessários intervalos de inspeção mais curtos para estruturas de Classe III (estruturas usadas principalmente para comunicações essenciais, tais como: defesa civil ou nacional; operações de emergência, salvamento ou desastre; instalações militares e de navegação) e estruturas em regiões costeiras, em ambientes corrosivos e em áreas sujeitas a vandalismo frequente.

#### 4.3.1 Atividade de Inspeção

Inspeção, segundo o dicionário Aurélio (2019), é o ato de olhar, vistoria. É o exame minucioso para se conhecer qualidade ou estado. A norma ABNT 5476 (BRASIL, 1999) descreve inspeção como avaliação do estado de uma edificação e de suas partes constituintes, realizada para orientar as atividades de manutenção. O processo de inspeção no ambiente industrial, predial e de infraestrutura envolve, sobretudo a identificação de discontinuidades, deterioração, perda de material, contaminação, deformações e deslocamentos em relação à condição de projeto (COSTA, 2012). O perito habilitado<sup>7</sup>, responsável pela avaliação, deve descrever as anomalias identificadas em relatório de inspeção e ranqueadas de acordo com a criticidades. O **Quadro 2** apresenta duas referências com critérios de classificação do grau de risco e criticidade.

**Quadro 2 - Grau de Risco/Criticidade de Anomalias e Falhas**

<b>Grau de Risco/Criticidade de Anomalias e Falhas</b>	
IBAPE Nacional /2012	<i>Check list</i> de Inspeção de Torre da FAA
CRÍTICO - Risco de provocar danos contra a saúde e segurança das pessoas e do meio ambiente; perda excessiva de desempenho e funcionalidade causando possíveis paralisações; aumento excessivo de custo de manutenção e recuperação; comprometimento sensível de vida útil.	Prioridade 1: um problema crítico que pode afetar a segurança do pessoal, causar uma interrupção do sistema ou danificar o equipamento. Esses problemas requerem atenção imediata.
MÉDIO - Risco de provocar a perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação sem prejuízo à operação direta de sistemas, e deterioração precoce.	Prioridade 2: um problema não crítico que deve ser corrigido o mais rápido possível, mas não é uma preocupação imediata.
MÍNIMO - Risco de causar pequenos prejuízos à estética ou atividade programável e planejada, sem incidência ou sem a probabilidade de ocorrência dos riscos críticos e regulares, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor imobiliário.	Prioridade 3: um problema menor ou um item que foi observado devido a não conformidade com um padrão atual. Esses itens podem estar em conformidade com os padrões anteriores.

Fonte: Elaborado pelo autor comparando conceitos de IBAPE (2012) e adaptado de FAA (2015).

As falhas prematuras de componentes estruturais de torres, materiais e outras partes podem ser causados por um ou mais dos seguintes fatores (US COST GUARD, 2002):

- (1) Projeto defeituoso;
- (2) Materiais ou peças defeituosas;
- (3) Instalação ou aplicação incorreta;

<sup>7</sup> Lei Federal nº 5194, de 21/12/66, que regula o exercício das profissões de Engenheiro, Arquiteto e Engenheiro Agrônomo e dá outras providências.

- (4) Danos causados durante as atividades de construção;
- (5) Falha de componentes relacionados, conectados ou adjacentes;
- (6) Falta de manutenção adequada;
- (7) Danos causados durante as atividades de manutenção;
- (8) Danos causados por mau uso, vandalismo ou roubo;
- (9) Condições climáticas extremas ou extremas que excedam as considerações de projeto.

Segundo o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE, 2012), em sua Norma de Inspeção Predial Nacional (com base na ABNT NBR 5674 - Manutenção de Edificações e ABNT NBR 15575-1 - Edificações Habitacionais/Desempenho - requisitos gerais), a elaboração de inspeção baseia-se na análise do risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio, diante das condições técnicas, de uso, operação e manutenção da edificação. Define que análise do risco consiste na classificação das anomalias e falhas identificadas, sendo as anomalias classificadas entre: Endógena, originária da própria edificação: projeto, materiais e execução (relacionada aos fatores 1, 2, 3, 4 e 5 citados acima); Exógena, originária de fatores externos a edificação, provocados por terceiros (fatores 6, 7 e 8); Natural, originária de fenômenos da natureza (fator 9); Funcional, originária da degradação de sistemas construtivos pelo envelhecimento natural e, conseqüente, término da vida útil (associados aos fatores 5 e 6). Tais anomalias são ocasionadas pela ocorrência de falhas: de Planejamento (relacionados à estratégia de Manutenção); de Execução (execução inadequada de procedimentos e uso de materiais); Operacionais (procedimentos inadequados de registros, controles, rondas); Gerenciais (falta de controle de qualidade e custos).

No sentido de evitar estas falhas, muitas empresas passaram a criar setores de “confiabilidade” com atribuição de execução e análise de inspeção, gerenciamento dos riscos, e otimização das despesas com manutenção. A criação recente, em 2014, da série ISO 55.000 é uma evidência do crescimento desta preocupação e dá profundidade ao tema.

O processo de inspeção consiste em aplicar técnicas para detecção das anomalias, o que exige do inspetor conhecimento de suas possíveis causas para que se determine a estratégia correta de busca (localização), aplicação do método correto de detecção (normalmente por método de Ensaio Não Destrutivo) e, quando solicitado, adicionar ao laudo as sugestões de ações para reparo ou contenção.

Ao tratar de infraestrutura voltada a telecomunicações, concentrada em grande parte em estruturas metálicas, estruturas de concreto, ou mistas, identifica-se que o processo de degradação pode ter uma natureza química e biológica, física ou danos causados por agentes

externos. O **Quadro 3** e a **Figura 2** apresentam algumas das patologias associadas aos processos de degradação em estruturas metálicas e em estruturas de concreto, respectivamente.

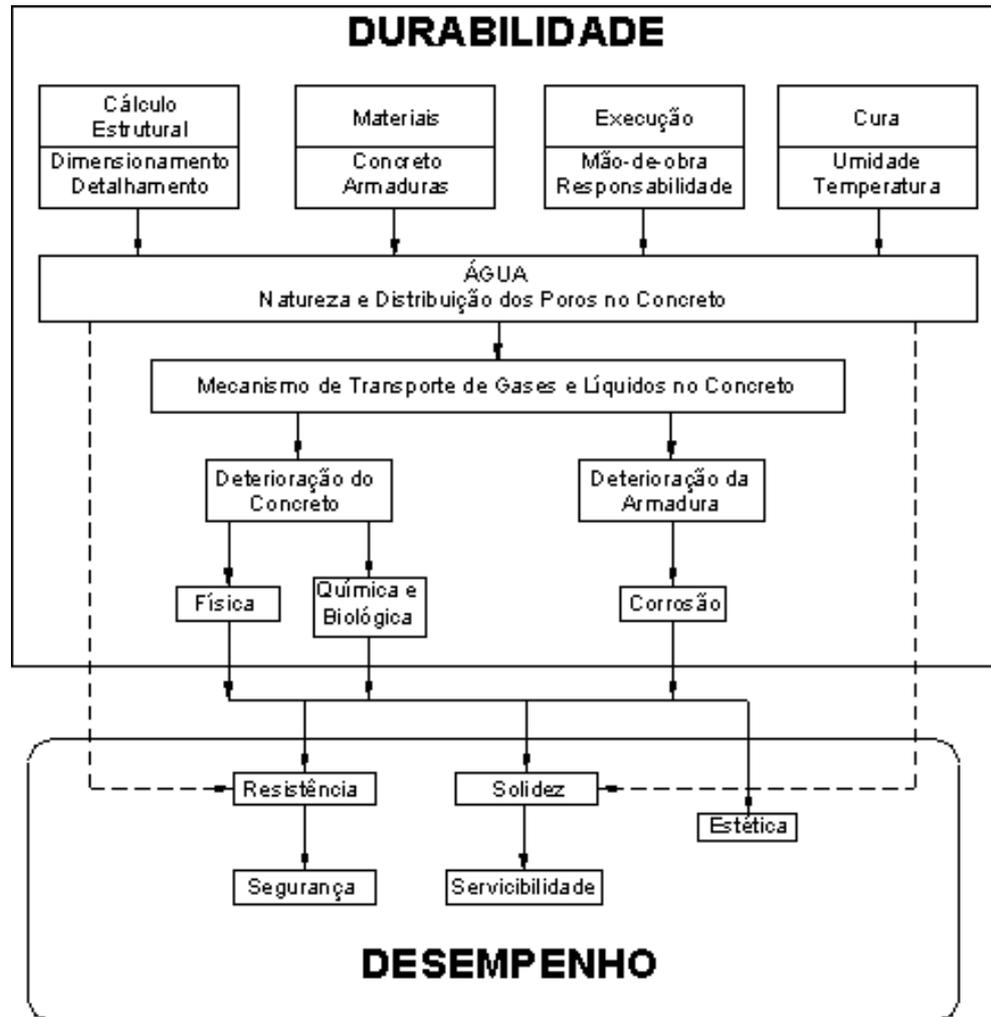
**Quadro 3** - Processo de Degradação em Estruturas Metálicas

**PROCESSO DEGRADAÇÃO – Estruturas Metálicas**

Pode ser classificado em: Químicos; Biológicos; Físicos e Danos.		Processos de degradação						
		Químicos e biológicos		Físicos	Outros eventos			
		Corrosão	Acumulo de detritos e pó	Fadiga	Impacto	Sobrecarga	Fogo	Acumulo de água
Tipos de defeitos	Contaminação	X	X				X	X
	Deformação		X		X	X	X	X
	Deterioração	X		X			X	X
	Descontinuidade	X		X	X	X	X	
	Deslocamento		X		X	X	X	X
	Perda de material	X		X	X	X	X	X

Fonte: Costa (2012).

**Figura 2** - Parâmetros de avaliação de durabilidade e desempenho de uma estrutura



Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 20).

#### 4.3.2 A inspeção em Estações de Telecomunicações

Para que se tenha uma visão do todo, nessa seção são tratadas as demandas por inspeção independente da viabilidade de sua realização por RPAS.

As diretrizes de avaliação da condição e de manutenção da TIA/EIA-222 são fornecidas no ANEXO B. Para melhor organizar o entendimento das demandas de inspeção e métodos de END aplicáveis, o texto foi dividido em itens gerais de inspeção, comuns a todos os tipos de torres e mastros e, em seguida, itens adicionais para as torres estaiadas tendo em vista suas especificidades.

Os itens a serem inspecionados em torres ou mastros, independentemente do tipo, autoportante ou estaiadas são:

- a) **Condição da Estrutura:** perfis/estrutura danificados (torre e suportes), perfis soltos ou ausentes, instalações de escalada, plataformas, passarelas – todos em bom estado de segurança, parafusos soltos e/ou faltando assim como os dispositivos de bloqueio de porca e fissuras visíveis em conexões soldadas;
- b) **Acabamento:** condição de pintura e/ou galvanização, oxidação e/ou corrosão, incluindo montagens e acessórios, condições de marcação de cores (ABNT-NBR 9541<sup>8</sup>, ANAC<sup>9</sup> e ICAO<sup>10</sup>), escoamento de água nos membros, suporte e plataformas (a serem resolvidos, por exemplo, orifícios de drenagem mal posicionados ou ausentes etc.);
- c) **Iluminação:** eletrodutos, caixas de junção e fixadores (resistentes a intempéries e seguras), drenos e aberturas de ventilação (desobstruída), condição de fiação, lentes de luz, condição da lâmpada, controladores (funcionamento: *flasher*, controle de foto, alarmes);
- d) **Aterramento:** conexões, corrosão, proteção contra raios (presos à estrutura);
- e) **Antenas e Linhas:** condição da antena, montagem e/ou proteção contra gelo (membros dobrados, soltos e/ou ausentes), condição da linha de alimentação (flanges, retentores, amassados, danos à jaqueta, aterramento, etc.), *snap-ins*, parafusos, *kellum grips* etc., presos de forma segura à estrutura;
- f) **Outros acessórios (passarelas, plataformas, sensores, holofotes etc.):** condição, fixados de forma segura à estrutura;
- g) **Fundações de concreto:** condição do solo (assentamento, movimento ou fissuras, erosão, condição do local em termos de água parada, drenagem, árvores etc.), condição de ancoragem (porcas e/ou dispositivos de travamento apertados, argamassa, ancoragens e ou condição da haste da âncora), condição do concreto (rachaduras, concreto lascado ou quebrado, pontos baixos favorecendo acúmulo umidade);
- h) **Alinhamento da torre:** prumo e torção da torre.

Os itens adicionais a serem inspecionados exclusivamente em torres estaiadas são:

- i) **Condição dos isoladores:** fratura e lascamento, limpeza de isoladores, espaços do centelhador (proteção contra descargas atmosféricas) ajustados corretamente,

---

<sup>8</sup> ABNT NBR 9541:2006-Sinalização aeronáutica de obstáculos.

<sup>9</sup> ANAC- RBAC nº 154 Emenda nº 04.

<sup>10</sup> ICAO (*International Civil Aviation Organization*) apêndice 14, volume 1, capítulo 6.

condição do transformador de isolamento, parafusos e conexão segura;

- j) **Cabos guias (estais):** condição cordão do cabo (corrosão, quebras, entalhes, torções etc.), esticadores ou equivalente, dedais de cabos apropriadamente no lugar (se necessário), medição de tensão dos cabos, conectores de cabo (acessórios terminais);
- k) **Âncoras de mastros:** aterramento, movimento ou rachaduras de terra, aterro amontoado sobre concreto para escoamento de água, condição de haste abaixo da terra, medidas de controle de corrosão, revestimento, revestimento de concreto, sistemas de proteção catódica etc., cabeças de âncora livres de terra.

Ainda segundo as orientações da TIA/EIA-222 (2005) além das demandas de verificação do estado/anomalias, como parte integrante da inspeção, faz-se necessário o **mapeamento de campo** dos componentes estruturais, antenas e acessórios. O mapeamento deve fornecer informações dimensionais suficientes para se calcular a área de proteção, peso e localização de todos os elementos. Deve ter incluindo, no mínimo, as seguintes informações:

- l) Para realizar uma análise de uma estrutura, deve ser mapeada a configuração estrutural, numerando-se todas as seções, e o tamanho de todos os membros estruturais para que se possa calcular a carga de vento e as capacidades dos membros, comparar com o projeto original e verificar se as condições e cargas estão preservadas dentro de seus limites operacionais;
- m) Inventário de antenas existentes: elevação, tipo, dimensões e número do modelo, *polimount* (suporte) e localização, orientação espacial (direção e inclinação) e linha de transmissão correspondente;
- n) Inventário de outros acessórios (como escadas de escalada, plataformas etc.): Elevação, tipo de manutenção e dimensões, localização, espaçamento e orientação na seção transversal;
- o) Um esboço de seção transversal localizando e rotulando as linhas de transmissão (tamanho e espaçamento) e mostrando a orientação das linhas e a estrutura em relação ao Norte. Para linhas de transmissão em clusters: número de linhas por linha, número de linhas e separação entre linhas, dimensões gerais de largura e profundidade.

#### 4.3.2.1 Anormalidades comuns encontradas

A EUA (2002) comenta sobre as condições mais comuns com as quais o processo de inspeção está relacionado, dentre eles: o desalinhamento da torre, o desgaste, a deformação, a corrosão, as tensões inadequadas e os membros estruturais danificados, conforme descrito abaixo:

##### **1) Desalinhamento da torre**

Torres são projetadas para defletir quando sujeitas a condições de carga de vento e gelo, e algum grau de desalinhamento pode ocorrer sob condições normais de serviço. Deve ser verificado se está dentro de níveis toleráveis de acordo com as especificações do projeto.

##### **2) Desgaste e Deformação**

Algum grau de desgaste mecânico de elementos estruturais como, por exemplo, peças, encaixes, pinos de cisalhamento, esticadores, dedais etc., são esperados sob condições normais de serviço. Devem ser identificados, avaliados e substituídos quando necessário.

##### **3) Corrosão**

Principalmente na proximidade de ambientes marinhos, é provável surgirem células de corrosão localizadas. A degradação por corrosão assume muitas formas dependendo da natureza do metal ou liga e da presença de água, oxigênio e íons no ambiente. Em combinação com esses aspectos essenciais, estão às influências de inúmeras variáveis como temperatura, tensões, efeitos de área e correntes elétricas dispersas. Na maioria dos casos, a inspeção visual, antes da limpeza dos componentes corroídos, fornecerá informações valiosas que levam à solução de um problema de corrosão. As causas podem estar associadas à:

- a) Corrosão atmosférica – ocorre principalmente devido aos efeitos da umidade (proveniente da chuva, orvalho, condensação ou alta umidade) e oxigênio, acentuados por contaminantes, como compostos de enxofre e sal (partículas que são transportadas pelo vento). Juntas, bolsas, cavidades, fendas sob cabeças de parafusos e outras áreas onde não é fornecida boa drenagem podem desenvolver corrosão localizada intensa. Pode-se esperar que a corrosão dos elementos da torre

no lado de barlavento seja mais intensa devido à erosão da tinta e à galvanização causada pela chuva, pelo sal e pelo pó.

- b) Corrosão galvânica – causada pelo uso de metais dissimilares acoplados em contato e um eletrólito comum, o que leva à formação de células galvânicas e resulta em corrosão no ponto de contato. É comum em instalação de suportes e fixações (porcas, parafusos e arruelas) feitas com o uso de materiais inadequados e sem o devido tratamento de proteção. Pode também ocorrer onde uma parte de um pedaço de metal é envolvida em concreto, como na base das torres e braços de ancoragem de torres estaiadas. O aço nu é anódico em relação ao aço revestido de concreto, podendo ocorrer à corrosão localizada na parte descoberta.
- c) Corrosão do solo – o solo é considerado um eletrólito bom, mas variável, e qualquer metal em contato direto com o solo é considerado de alto potencial para corrosão. O grau de corrosão depende das propriedades do solo. Essa situação é esperada em todas as porções de braços de ancoragem de torres estaiadas expostos diretamente a solos corrosivos. Quando o revestimento de zinco é inadequado, a corrosão do metal base será acelerada. Por isso, deve-se considerar a escavação para verificar o estado.
- d) Corrosão por corrente parasita – causada por uma corrente elétrica que tem uma fonte externa à estrutura metálica afetada. Esse tipo de corrosão é geralmente associado à corrente contínua, que pode ser causada por equipamentos geradores, carregadores de baterias, componentes DC de equipamentos eletrônicos e raios. O processo de corrosão ocorre quando a corrente dessas fontes externas flui em um metal, sai do metal e entra no eletrólito ao redor. Por isso, a importância de serem inspecionados os aterramentos das bases e das âncoras para evitar que correntes parasitas entrem no aço nas proximidades da fundação.
- e) Fissura por corrosão sob tensão – é o desenvolvimento e propagação de trincas em metais e ligas causadas pelos efeitos combinados das tensões de corrosão e tração estática. A tensão pode ser residual, a partir de trabalho a frio ou de formação, ou pode resultar de carga externa. A falha, nesse caso, é uma fratura frágil espontânea de um metal, às vezes em níveis de estresse consideravelmente abaixo da força de escoamento do material, ao contrário do que aconteceria em um metal dúctil.
- f) Corrosão por fadiga – é um caso especial de corrosão sob tensão. É a redução da resistência à fadiga devido à presença de um meio corrosivo. A corrosão produz pites, entalhes ou outros pontos de partida na superfície do metal submetidos à

concentração de tensão, causando o início de trincas por fadiga. Sob tensões cíclicas contínuas, esses buracos aumentam em nitidez e profundidade. A corrosão localizada em rachaduras e pites em revestimentos protetores como o zinco, ou em elementos de aço estrutural na torre e nos cabos guias, podem causar perda do potencial de resistência à fadiga do membro.

As normas como a ASTM D610–08 *Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces* (ASTM, 2019) oferecem um referencial para qualificação e classificação do grau de corrosão e constitui importante ferramenta para uniformização da avaliação na elaboração de relatório de inspeção.

#### 4) Quebra e Danos:

Componentes estruturais rachados, quebrados, curvados ou de outra forma danificados podem ocorrer por uma variedade de causas como falhas prematuras e danos a objetos estranhos. A maioria dessas condições pode ser prontamente observada através de uma inspeção visual cuidadosa e completa. As rachaduras, que se propagam como resultado da fadiga, só podem ser detectadas por métodos não destrutivos como partículas magnéticas, corantes penetrantes, ultrassônicos etc. As conexões de solda e parafuso são áreas primárias onde podem ocorrer rachaduras ou quebras visualmente detectáveis. Fios quebrados ou desgastados provavelmente ocorrerão nos pontos de conexão das conexões finais ou grampos mecânicos. Rachaduras e quebras também podem ser esperadas quando houver uma mudança abrupta na seção transversal de uma peça.

Alguns componentes são acessíveis e podem ser inspecionados visualmente sem dificuldade, outros necessitam por escalada da torre ou até mesmo por acesso por corda, devendo cumprir todos os requisitos legais de segurança. Existem ainda as anomalias ocultas ou latentes, que não podem ser identificadas por inspeção visual direta ou remota. São eles:

1. **Componentes de torre acessíveis** – A estrutura da base da torre, componentes do nível do solo, guias de onda, radiais de solo, isoladores e ferragens próximos à torre, sistema de aterramento e ancoragem de cabos guias (no caso de torres estaiadas), são prontamente acessíveis para uma inspeção visual direta;

2. **Componentes de difícil acesso e ocultos** – As partes principais dos tipos de torre, radiais, isoladores e ferragens não são facilmente acessíveis e, na maioria dos casos, as principais partes das fundações da base da torre, âncoras e braços de ancoragem são

escondidas pela cobertura do solo. Para áreas inacessíveis, esses métodos são: exame binocular ou telescópico podendo chegar, no caso de torres estaiadas, à desconexão dos guias em seus pontos de ancoragem e da torre para exame em solo, e manipulação dos guias. Para áreas enterradas requer a escavação da camada de solo necessária;

**3. Inspeção Binocular/Telescópio** – Não se pode esperar que esse método produza os mesmos resultados que um exame visual direto, mas pode revelar condições como cabos desgastados, componentes quebrados, isoladores contaminados, evidências de corrosão e anormalidades físicas semelhantes (EUA, 2002). O importante é que o equipamento de observação permita fotografar discrepâncias para o registro. Essa observação à distância dos elementos da torre, isoladores e ferragens associadas, aumentará substancialmente o escopo das inspeções visuais e dependerá excessivamente de fatores humanos, como a fadiga e a experiência do inspetor.

#### 4.3.2.2 Ensaios Não Destrutivos (END) aplicados

Para atender as demandas de inspeção abordadas acima, podem ser aplicados diferentes métodos de ensaios, sendo estes ensaios destrutivos ou Ensaios Não Destrutivos (END). Ensaio Destrutivo é realizado ao se utilizar uma amostra do material (corpo de prova), que é gerada especificamente para esse fim ou extraída do equipamento inspecionado para a realização dos testes. Nos END o teste é realizado *in loco* por observação direta (inspeção visual) ou por instrumentos específicos. Por meio desses métodos é possível identificar discontinuidades, fissuras, realizar medições, identificar partes soltas, empenadas ou desalinhadas, dentre outras.

A seleção do método apropriado e o uso da técnica correta para sua aplicação é o primeiro passo fundamental no uso do END, e deve ser realizado por um profissional experiente e qualificado. O tipo relevante de discontinuidade esperada, o tipo de material, as etapas de fabricação e a geometria são apenas algumas das variáveis que afetam a escolha do método ideal. O **Quadro 4** apresenta a aplicabilidade de alguns dos métodos usuais de END para diversas situações de materiais e anomalias que se pretende detectar (FORSYTH; YOLKEN, MATZKANIN, 2006).

**Quadro 4 - Guia para Seleção de Métodos END para Vários Materiais e Descontinuidades**

Material do Objeto em Teste	Tipo de Descontinuidade	Visual e Optico	Radiografia	Eletromagnético	Ultrasson	Líquido Penetrante	Partícula Magnética	Emissão Acústica	Infravermelho e Termal
Metal Ferromagnético	Rachadura Superficial	X	X	X	X	X	X	X	
	Sem rachadura superficial		X	X	X		X	X	X
Non-Metal Ferromagnético	Rachadura Superficial	X	X	X	X	X		X	
	Sem rachadura superficial		X	X	X			X	X
Metal (genérico)	Corrosão por pite (superfície oculta)		X	X	X				
	Fissura por corrosão sob tensão *								
	Solda - falta de penetração		X	X	X				
	Solda - porosidade		X	X	X				
Polímero - matriz composta	Delaminação/descolamento					X		X	X
	Porosidade		X		X				X
	Dano por impacto	X			X			X	X
Polímeros	Cura					X			
	Descolamentos		X		X				X
	Vazios/porosidade		X		X				X
Cerâmicas	Densidade		X		X				
	Vazios/porosidade		X		X				X
	Rachadura Superficial	X	X		X	X			
	Sem rachadura superficial		X		X	X		X	

\* Veja fissura sem rachadura superficial

Fonte: Adaptado de Forsyth; Yolken; Matzkanin (2006, p. 9).

A escolha do método de inspeção, do mais geral (inspeção visual) ao mais específico (ex. inspeção de cordões de solda, identificação e medição de fissuras, espessura de chapa metálica, verificação aperto, etc.), está intrinsecamente ligada à relação custo/risco associado. Conforme dito anteriormente, a TIA/EIA – 222 (2005) traz uma recomendação geral de intervalos de inspeção, no entanto devem ser observadas no manual da torre as orientações específicas em função de sua arquitetura (aspectos construtivos) e materiais empregados.

Se formos considerar apenas a inspeção visual, a exemplo da indústria da aviação, que aplica requisitos elevados de segurança, o AC-43-204 da FAA (1997) define quatro níveis de inspeção:

1. **Nível 1.** *Walkaround* (volta no entorno) – é uma verificação geral realizada a partir do nível do solo para detectar discrepâncias e determinar condições gerais e segurança;
2. **Nível 2.** Geral – é feita de um exterior e áreas em internas acessíveis, podendo ser selecionadas áreas específicas relevantes para abertura de acesso quando requerido (de acordo com o plano de inspeção) para detectar danos, falhas ou irregularidades;
3. **Nível 3.** Detalhado – é uma visão intensiva de uma área, sistema ou montagem específica para detectar danos, falhas ou irregularidades. Assessórios de inspeção disponíveis devem ser usados. Preparação de superfície e procedimentos de acesso elaborados podem ser necessários;
4. **Nível 4.** Especial Detalhado – é um exame intensivo de um item específico, instalação ou montagem para detectar danos, falhas ou irregularidades. É provável que faça uso de técnicas e equipamentos especializados. Desmontagem e limpeza complexas podem ser necessárias.

Fazendo um paralelo dessas definições da FAA para as estações de telecomunicações, as inspeções de solo seriam enquadradas no Nível 1. As inspeções visuais remotas por RPA se enquadrariam parcialmente na inspeção Nível 2, inspeção geral. Os itens no interior de cavidades, abrigados ou dentro de quadros não poderão ser inspecionados por RPA, no entanto a inspeção aérea pode facilmente ser complementada por inspeção terrestre onde fica a grande maioria dos equipamentos nessa condição. Os dados técnicos levantados a partir dessas inspeções, associados às análises de engenharia devem ser suficientes para que se apresentem na conclusão do relatório técnico sugestões de inspeções adicionais no Nível 3 ou 4, em função da arquitetura (geometria), do nível de desgaste ou danos encontrados e conclusões das inspeções nos níveis 1 e 2, a exemplo da necessidade de identificação de trincas em junções por solda, verificação de reaperto de parafusos (verificação de torque) em estrutura e conexões elétricas.

#### ***4.4 Probabilidade de Detecção diante de Fatores Humanos***

Como todos os métodos de inspeção, a inspeção visual, direta ou remota, não é perfeita, seja ela realizada por humanos, por dispositivos automatizados ou por sistemas híbridos humanos/automatizado. A *American Society for Nondestructive Testing* (MOORE, 2010), dentre outras definições, descreve testes visuais e ópticos como:

*[...] Visual and optical tests are those that use probing energy from the visible portion of the electromagnetic spectrum. Changes in the light's properties after contact with the test object may be detected by human or machine vision. Detection may be enhanced or made possible by mirrors, borescopes or other vision-enhancing accessories.*<sup>11</sup> (MOORE, 2010, p. 4).

Ou ainda, como definido pela *Federal Aviation Administration* (FAA) (EUA, 1996):

*“Visual inspection is the process of examination and evaluation of systems and components by use of human sensory systems aided only by mechanical enhancements to sensory input as magnifiers, dental picks, stethoscopes, and the like. The inspection process may be done using such behaviors as looking, listening, feeling, smelling, shaking, and twisting. It included a cognitive component wherein observations are correlated with knowledge of structure and with descriptions and diagrams from service literature.”*<sup>12</sup> (EUA, 1996, p. 2).

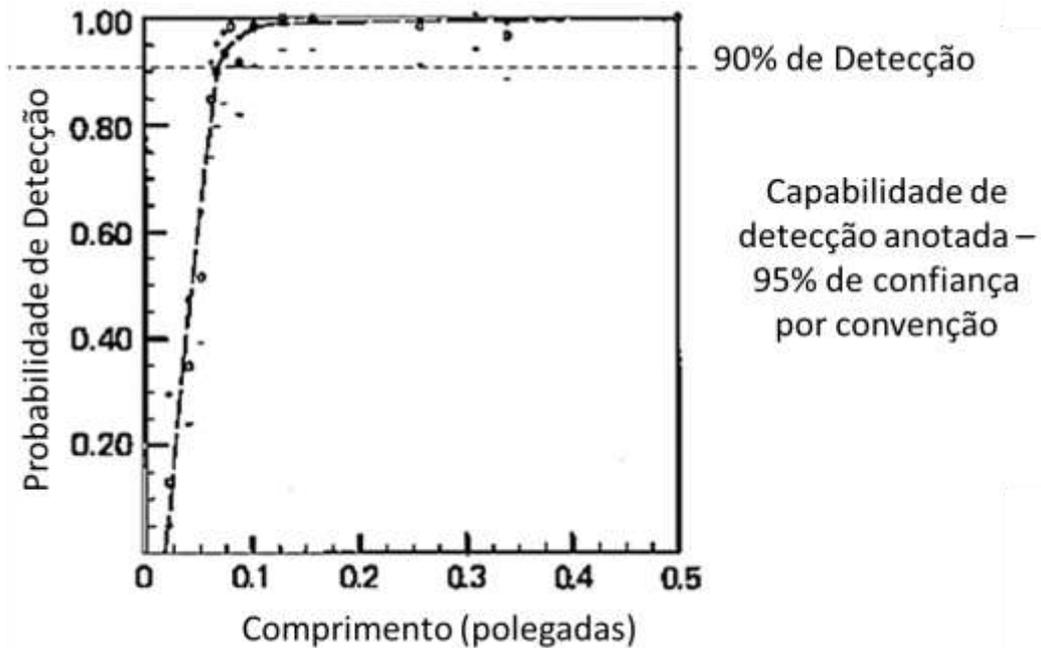
Importante também entender que na inspeção visual está presente outros métodos de END como a Termografia, Corrente Parasita, Raios X, Líquido Penetrante etc., em maior ou menor grau em função da tecnologia empregada. Em qualquer um dos casos, dependem da observação do inspetor para avaliação e interpretação dos resultados podendo ocorrer displicência na observação e erros de interpretação. Dessa forma, foi desenvolvido pela NASA o conceito de Probabilidade de Detecção (PoD) que foi inicialmente introduzido em 1973 e sendo incorporado aos requisitos de projeto do programa *Space Shuttle* (**Gráfico 2**).

---

<sup>11</sup> “[...] Testes visuais e ópticos são aqueles que usam energia de sondagem da porção visível do espectro eletromagnético. Alterações nas propriedades da luz após o contato com o objeto de teste podem ser detectadas pela visão humana ou mecânica. A detecção pode ser aprimorada ou tornada possível por espelhos, boroscópios ou outros acessórios de melhoria da visão” (tradução nossa).

<sup>12</sup> “A inspeção visual é o processo de exame e avaliação de sistemas e componentes pelo uso de sistemas sensoriais humanos auxiliados apenas por acessórios mecânicos como entradas sensoriais, como lupas, palitos dentais, estetoscópios e similares. O processo de inspeção pode ser realizado usando comportamentos como olhar, ouvir, sentir, cheirar, tremer e torcer. Ele inclui um componente cognitivo em que as observações são correlacionadas com o conhecimento da estrutura e com descrições e diagramas da literatura de serviço.” (tradução nossa).

Gráfico 2 - Curva PoD do Programa Original da NASA



Fonte: Rummel (2013, p. 4).

O *NDE Capabilities Data Book* (1997) define resultados de inspeção conforme tratado por Rummel, Hardy e Cooper (1989) da seguinte forma:

		Presença da Falha	
		Positiva	Negativa
Resultado do END	Positiva	Positivo Verdadeiro Sem Erro	Falso Positivo Erro Tipo 2
	Negativa	Falso Negativo Erro Tipo 1	Negativo Verdadeiro Sem Erro

E define:

$$\text{PoD} = \text{Probabilidade de Detecção} = \frac{\text{Positivos Verdadeiros}}{\text{Positivos Verdadeiros} + \text{Falso Negativo}}$$

$$\text{PoFA} = \text{Probabilidade de Falso Alarme} = \frac{\text{Falso Positivo}}{\text{Negativo Verdadeiro} + \text{Falso Positivo}}$$

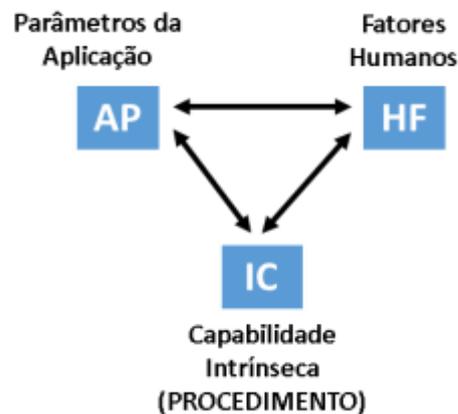
A escolha do critério determina o equilíbrio entre falhas detecção e alarmes falsos. De fato, um gráfico de acertos contra falsos alarmes resulta em uma curva conhecida como Curva de Operação Relativa (ROC), que traça o efeito de mudanças de critério para uma

determinada discriminabilidade (RUMMEL; HARDY; COOPER, 1989). Resultados vêm sendo publicados em *NDT Databooks* disponíveis para diversos END elaborados por instituições como NASA (GENERAZLO, 2015).

Ao avaliar o PoD de inspeção para inspeção visual é importante que se faça uma análise de fatores humanos para que se discuta a confiabilidade da inspeção. A eficiência do método aplicado está, de uma forma geral, associada ao nível de inspeção requerida e à experiência do inspetor na escolha adequada da tecnologia END, na sua execução e análise dos resultados, apresentada de forma esquemática da **Figura 3** (RUMMEL, 2013).

**Figura 3** - Confiabilidade de ensaios não destrutivos

### Confiabilidade do END no Campo



$$R = f(IC) - g(AP) - h(HF)$$

Onde, R é o resultado final da confiabilidade do sistema END

$g(AP)$  é um função da "propriedades intrínsecas" do system/procedimento END aplicado

$h(HF)$  é um parâmetro característico da aplicação (em conformidade com o system/procedimento END),

$f(IC)$  endereça a variância introduzida pelos fatores humanos (conhecimento, habilidade e experiência)

Fonte: Adaptado de Rummel (2013, p. 2).

Drury e Watson (2002) estudaram os fatores humanos relacionados ao processo de inspeção para sugerir as melhores práticas a fim de minimizar as possibilidades de falhas. O **Quadro 5** apresenta uma taxionomia proposta relacionada às etapas do processo e os possíveis erros:

**Quadro 5** - Descrição genérica das funções e tipos de erros na inspeção visual

<b>FUNÇÃO</b>	<b>DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE</b>	<b>RESULTADO ESPERADO</b>	<b>TIPO DE ERROS</b>
<b>INICIAÇÃO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar todos os processos até acessar o componente.</li> <li>- Obter e ler a ordem de trabalho.</li> <li>- Montar, verificar e calibrar os equipamentos necessários.</li> </ul>	Equipamento de inspeção funcional, corretamente calibrado e capaz.	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.1 Equipamento incorreto.</li> <li>1.2 Equipamento não utilizado.</li> <li>1.3 Calibração incorreta.</li> <li>1.4 Conhecimento do sistema incorreto ou inadequado.</li> </ul>
<b>ACESSO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localizar e acessar a área de inspeção.</li> <li>- Ser capaz de ver a área a ser inspecionada em um nível próximo o suficiente para garantir uma detecção confiável.</li> </ul>	Acesso a todos os pontos de interesse da inspeção.	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 Item não acessado por dificuldade.</li> <li>2.2 Ângulo de visão não ideal.</li> <li>2.3 Item danificado em função do acesso ou propagação.</li> </ul>
<b>BUSCA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mover o campo de visão em todo o componente para garantir uma cobertura adequada.</li> <li>- Examinar cuidadosamente o campo de visão usando uma boa estratégia.</li> <li>- Parar a pesquisa se uma indicação for encontrada.</li> </ul>	Indicações de todas as possíveis não conformidades detectadas, localizadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.1 Indicação perdida.</li> <li>3.2 Indicação falsa detectada.</li> <li>3.3 Indicação mal localizada.</li> <li>3.4 Indicação esquecida antes da decisão.</li> </ul>
<b>DECISÃO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar o tipo de anomalia.</li> <li>- Comparar a anomalia aos padrões para esse tipo de indicação.</li> </ul>	Todas as indicações localizadas pela Pesquisa corretamente mensuradas e classificadas, decisão de resultado correta alcançada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>4.1 Indicação incorretamente medida/confirmada.</li> <li>4.2 Indicação incorretamente classificada.</li> <li>4.3 Decisão errada do resultado.</li> <li>4.4 Indicação não processada Resposta.</li> </ul>
<b>RESPOSTA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caso a anomalia seja confirmada, registrar a localização e os detalhes.</li> <li>- Procedimentos de documentação completos.</li> <li>- Se a problema não for confirmado, continuar a pesquisa.</li> </ul>	Ação especificada pela decisão de resultado tomada corretamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>5.1 Ação não conforme executada no item em conformidade.</li> <li>5.2 Ação conforme executada no item não conforme.</li> <li>5.3 Ação incompleta.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Drury e Watson (2002).

Segundo Drury e Watson (2002), desde a metade do século XX, sabe-se que a probabilidade de detectar eventos perceptivelmente difíceis diminui à medida que o tempo aumenta (chamado de decréscimo de vigilância). O desempenho de detecção diminui rapidamente nos primeiros 20 a 30 minutos e permanece em um nível inferior à medida que a tarefa se prolonga. Como consequência, pode-se chegar a uma busca pobre. Outro aspecto crítico apontado por Drury e Watson (2002) é a detecção errada mediante um critério de decisão equivocado ou não claramente definido. Como as indicações são raras e as áreas

cobertas extensas, a varredura da observação não ocorre de forma linear. Fatores vinculados ao ambiente como iluminação/sombras/reflexos, sujeiras e arranhões podem ser fontes de falsos negativos ou positivos.

A acessibilidade e os ângulos de visão da atividade em relação ao ponto de interesse, numa inspeção por escalada, comprometem os resultados principalmente em função do estresse da atividade de acesso por corda. Numa inspeção binocular, onde o inspetor precisa cobrir vastas áreas, em 3 a 4 faces, ficará em solo olhando para cima por tempo prolongado. Num acesso por corda a atenção do inspetor estará dividida por questões de segurança, submetido ao forte estresse e desconforto. A *performance* também terá forte influência na distância de observação. A Norma Mercosul para ensaios visual, NM 315:2017 (ABNT, 2017), estabelece distância máxima de 600mm e um ângulo não menor que 30° em relação à superfície ensaiada.

Dentre as técnicas de END para superfícies de difícil acesso ou inacessíveis a olho nu, o método de inspeção visual direta é substituído pelo Exame Visual Remoto. Todas as variáveis que se aplicam à inspeção visual direta também podem ser aplicadas ao teste visual remoto.

Dentre as principais dificuldades associadas ao exame visual remoto estão:

- Visualizar ou digitalizar os pontos de interesse com cobertura total sem linha de visão;
- Incapacidade de implementar, com facilidade, testes não destrutivos complementares.

Isso pode ser crítico em função da estrutura e a porcentagem de alvos visuais que podem ser ou não detectados. Uma vez identificadas descontinuidades, do tipo fissuras, as indicações de serem relevantes ou não relevantes dependerão dos testes não destrutivos adicionais. A incapacidade de fornecer avaliação com um alto nível de confiança é uma limitação significativa do método de teste visual remoto, e deve ser levada em consideração pela equipe de avaliação (IAEA, 2013).

## 5 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA – INSPEÇÃO DE ESTAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÕES

Nessa seção, como o próprio título informa, será apresentada a prospecção tecnologia realizada para atender especificamente às demandas de inspeção, apresentadas na seção 4, inicialmente a visão geral da evolução dos RPAS aplicados à inspeção. Para isso, serão destacadas algumas informações acerca da evolução do *hardware* desses equipamentos, abordando a operação e regulação de uso dos RPA, seguido dos sensores voltados aos ensaios não destrutivos adotados na atividade, também as questões operacionais envolvidas no levantamento dos dados, processamento dos dados e, por fim, a aplicação de inteligência computacional às inspeções por RPA.

### *5.1 Visão geral da evolução dos RPAS aplicados à inspeção*

A área de filmagem foi uma das primeiras aplicações comerciais dos RPA e os usos em imagens foram rapidamente expandidos para mapeamento, levantamentos e inspeções (SESAR, 2016). A operacionalização das soluções com RPA pode ser vista como sistemas mais complexos (chamados de RPAS, Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas), envolvendo, além das aeronaves, as tecnologias presentes em seu entorno operacional como: procedimentos, planejamento e controle de missão, navegação (manual, automatizado ou autônomo), sensores, aquisição e transmissão de dados, pós-processamento, emissão de relatórios específicos, armazenamento, consulta e gerenciamento do ativo (**Figura 4**).

**Figura 4 - Cadeia de Valor dos RPA**

Fonte: Elaborado pelo autor

Dessa forma, para se obter os resultados esperados em uma inspeção por RPAS, são necessários três passos fundamentais: Planejamento, Operação e o Pós-processamento, com demandas tecnológicas distintas mais inter-relacionados.

### **Planejamento:**

- Alinhar os objetivos e resultados esperados, escopo, levantamento de documentação técnica e histórico do ativo (relatórios de inspeções anteriores quando houver);
- Definição dos equipamentos adequados em função dos objetivos, do ambiente onde deve se desenrolar a inspeção e análise preliminar de riscos;
- Planejar e providenciar a documentação oficial requerida, autorizações, habilitações da equipe e logística de acesso (contratante, órgãos públicos e vizinhança afetada);
- Elaboração o Plano de Operação (detalhamento etapas/nível de automação), configuração e checagem dos equipamentos;
- Avaliar previsão das condições climáticas previstas para o dia da operação.

### **Operação:**

- *Briefing* (esclarecimentos sobre o plano de operação aos técnicos de campo e coleta de informações complementares) e avaliação de risco operacional, acessos e avaliação das

condições climáticas (vento, nuvens, iluminação);

- Verificação dos *setups*/configurações, rotinas básicas de inspeção da aeronave, testes de funcionamento;
- Isolamento da área decolagem e pouso;
- Execução da aquisição de dados, conforme definido no plano de inspeção;
- Avaliação preliminar dos registros gerados e *debriefing* (avaliação da operação, oportunidades de melhoria).

### **Pós-Processamento:**

- Transferência e organização dos registros, separando por etapas do plano de inspeção e filtragem de qualidade dos registros válidos para o processamento e análise;
- Processamento dos registros e análise (com uso ou não de inteligência computacional, como a identificação de anomalias por inteligência cognitiva e modelagem 3D por aerofotogrametria);
- Análise detalhada por Profissional Habilitado e emissão do relatório técnico, conclusões e recomendações (laudo de inspeção).

A *Lloyd's Register* e *American Petroleum Institute* (API), organizações voltadas ao mercado *Off-Shore* e *Oleo&Gás*, mais avançados em termos de normatização do uso de RPAS, muito em função da criticidade e altos custos de suas operações, publicaram respectivamente a *Guidance Notes for Inspection using Unmanned Aircraft Systems* (LOYD's, 2016), *API Guide for Developing an Unmanned Aircraft Systems Program* (API, 2019). Essas publicações apresentam procedimentos e orientações para absorção da tecnologia ou subcontratação de serviços de inspeção por drone.

As etapas apresentadas são fortemente afetadas pelas tecnologias RPAS disponíveis (plataforma RPA e sensores) e suas capacidades em relação ao acesso aos pontos de interesse (geometria e proximidade requerida) e o tipo de análise requerida. A exemplo de observação de pontos de oxidação ou corrosão na estrutura, suportes, parafuso e porcas, a inspeção por imagem RGB (espectro visível) com um GSD<sup>13</sup> de 3mm pode ser o suficiente. No entanto, para identificação de uma trinca por análise de imagem, pode ser necessário um GSD submilimétrico, na ordem de 0,1 a 0,5mm, o que requer um sensor com uma resolução melhor

---

<sup>13</sup> Ground Sample Distance (GSD) – Termo utilizado no sensoriamento remoto que define o tamanho em pixels da amostra do solo em uma foto digital, a partir do ar ou do espaço. É a distância entre os centros dos pixels medidos no solo.

ou uma menor distância do objeto observado. Uma maior aproximação requer maior habilidade do piloto, um maior nível de automação da aeronave (detecção de obstáculos), um *frame* adaptado tolerante ao contato, ou ainda câmeras com *zoom* ótico (o que requer alta tecnologia dos sistemas de controle da aeronave e do acoplamento da câmera, amortecedores e *gimbal*, para manter a estabilidade posicional, além de um sistema de estabilização de imagem).

#### *5.1.1 Evolução do hardware relacionado aos RPA*

Com o objetivo de possibilitar a realização da inspeção em diversas indústrias e ambientes, os RPA vêm evoluindo e ajustando arquitetura do chassi, o tipo e posicionamento de sensores, a propulsão e a comunicação, de forma a atender aos desafios específicos em termos de distância e geometrias do objeto da inspeção, como demonstra o **Quadro 6** apresentado a seguir que trata da arquitetura dos RPA em função do tipo de inspeção.

Quadro 6 - Arquitetura dos RPA em função do tipo de inspeção

Tipos de Inspeção  Arquitetura do chassi	Grandes Distâncias - Linear  Aquedutos, Gasodutos, Oleodutos, Linhas de Transmissão, Estradas, Trilhos, Cabeamentos de telecomunicações	Grandes Áreas  Plantas Industriais, Campos, Canteiro de Obras, Pilhas de estocagem, Mineração a Céu Aberto, Barragens, Desastres Ambientais	Estruturas e Equipamentos  Instalações Industriais, Reatores, Flares, Chaminés, Plataformas, Infraestruturas, Edificações, Torres e Antenas.	Em contato com Estruturas  Estrutura Inferior de Decks, Plataformas Marítimas, <i>Piperacks</i> , Pontes e Viadutos, Tetos, Vigas e Telhados	Espaço Confinado  Interior de Instalações, Galerias, Chaminés, Reatores, Fornalhas, Tanques, Túneis, Minas subterrâneas
<b>Asa Fixa</b> 	Dedicado a cobrir longas distâncias (até 800km, em operação <i>Beyond the Visual Line of Sight</i> , BVLOS) ou grandes áreas. Baixo consumo de energia. Destaca-se por autonomia de 1 a 2 horas (propulsão elétrica - bateria LiPo) ou 4 a 20 horas (propulsão a combustão). Capaz de gerar imagens voltadas a mapeamento e aerofotogrametria.				
<b>VTOL</b> <i>(Vertical Take Off and Landing)</i> 	Adiciona a capacidade de parada em um objetivo como uma torre de linha de transmissão. Destaca-se por ter autonomia de até 4h (em propulsão elétrica - bateria LiPo) à 8h (propulsão a combustão). Capaz de gerar imagens com propósito de mapeamento, aerofotogrametria linear como áreas de servidão de LT.				
<b>Helicóptero</b> 	Dedicado a cobrir longas distâncias (5 a 20km), adicionando capacidade de inspeção detalhada de um objetivo como uma torre de linha de transmissão. Destaca-se por ter autonomia de 1 a 2 horas (propulsão a combustão) Capaz de gerar imagens com propósito de mapeamento, aerofotogrametria e inspeção detalhada de objetos. Normalmente suportam <i>payloads</i> mais elevados entre 5 e 40 quilos. Também usados para movimentação de cargas.				
<b>Multi Rotor</b> 	Equipamento de curto alcance (até 5km) e autonomia limitada (15 a 50min. – na propulsão elétrica). Excelente estabilidade e controlabilidade para inspeção detalhada. Apesar de sua limitação de longo alcance, é capaz de mapear áreas até 20 a 30Ha de forma automatizada.				
<b>Multi Rotor</b> (Visibilidade para cima) 	Agrega em sua arquitetura a possibilidade de carregar um <i>gimbal</i> na parte superior do chassi, ou pelo chassi permitir o deslocamento do <i>gimbal</i> em 180°, permitindo gerar imagens de baixo para cima, desenvolvido especificamente para inspeções detalhadas de <i>underdecks</i> ou sob telhados.				
<b>Tolerância Contato</b> 	Equipamento de curto alcance e autonomia limitada. Desenvolvido especialmente para trabalhar em contato com o objeto de inspeção. Pode contar com iluminação própria, câmera térmica integrada e visão para cima, ou serem dotados de sensores especiais como Ultrassom, ACFM, dentre outros.				

OBS.: Parâmetros de autonomia atuais na configuração original entregue pelos fabricantes

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para atender a maiores distâncias e voos mais longos, os sistemas de propulsão dos RPA, voltados à inspeção, vão desde motores a combustão aos motores elétricos. Segundo

Cohn *et al.* (2017), a densidade de energia das baterias de íons de lítio, muito utilizadas nas aeronaves presentes hoje no mercado, está melhorando em 5 a 8% a cada ano, e sua expectativa de vida deve dobrar até 2025. Novas tecnologias como sistemas híbridos e sistemas a células de hidrogênio já surgiram como alternativa apresentando desempenho de 3 a 9 vezes superior às anteriores. Nesse caso, as limitações devem-se ao peso e espaço requeridos para acomodar a célula e o cilindro ou tanque, bem como os desafios de resolver a aerodinâmica do conjunto.

### 5.1.2 Operação e Regulação

Uma vez planejada a missão de inspeção, o RPA é capaz de executar a sequência de operações pré-programadas, e de retornar a um ponto de referência (ao final da missão ou por ocorrência de pane) sem intervenção do piloto. Tais procedimentos facilitam o processo de inspeção, quando esta pode ser automatizada. No entanto, principalmente por limitações regulatórias, salvo exceções em países como Polônia e Israel, ainda é requerida a existência de um piloto remoto para executar uma operação assistida remotamente. As futuras capacidades de detecção de presença de obstáculo ou outra aeronave, o gerenciamento e controle do espaço aéreo, a interoperabilidade, a cooperação e a regulamentação da modalidade de operação *Beyond the Visual Line of Sight* (BVLOS) possibilitarão um único operador monitorar ou até pilotar remotamente vários RPA.

Segundo Sesar (2018), a instituição que coordena e concentra todas as atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) da União Europeia no domínio do *Air Traffic Management* (ATM), lançou em janeiro de 2018 um convite à apresentação de propostas de estudos sobre a gestão do tráfego na direção à visão da *U-space* da Comissão Europeia para garantir o acesso seguro ao espaço aéreo para os RPA. Segundo Cohn *et al.* (2017), nos próximos cinco (5) anos, as respostas de falha do sistema, roteamento dinâmico e *handoffs* entre controladores humanos e de máquina devem evoluir. O início da adoção para tais operações exigirá de 5 a 10 anos para levar em conta os progressos que ainda precisam ser alcançados (SESAR, 2016). Com maior controle autônomo, as empresas poderão buscar usos como a vigilância repetida e não supervisionada de tubulações, minas e projetos de construção.

## 5.2 Disponibilidade de serviços voltados à inspeção em telecomunicações.

Diante das demandas de inspeção expostas na seção 4.3, do ponto de vista das tecnologias empregadas atualmente no processo de inspeção de torres de telecomunicações, foram pesquisadas e identificadas, através de informações disponíveis na *web*, quinze (15) empresas especializadas em inspeção por RPA, sendo sete (7) empresas especializadas especificamente no setor de telecomunicações. Pelo meio dessa pesquisa foi possível mapear os produtos (serviços) oferecidos, diante da tecnologia RPAS disponível. Foram identificadas as seguintes possibilidades:

1. Inspeção visual remota da estrutura (verificação de conexões, bases, suportes de torres autoportantes ou estaiadas e mastros), e cabos guias e acessórios (sistemas de acesso, sinalização, SPDA etc.);
2. Inspeção geral da estação, sua organização, segurança/acesso e facilidades (energia, edificação/container/armário, refrigeração);
3. Inspeção e Inventário para identificação de modelos de antenas e alimentadores;
4. Inventário de *tags* (identificação de equipamentos);
5. Análise geométrica da estrutura (altura, verticalidade da torre e torções);
6. Disposição dos painéis (altura, azimute e inclinação), distribuição da cobertura;
7. Mapeamento do entorno, ocupação (edificações), análise panorâmica e mapeamento LOS (Perda de Sinal);
8. Análise térmica de estruturas acopladas.

Esse resultado indica que as demais tecnologias END, como medição de espessura por Ultrassom, identificação de fissuras por ACFM<sup>14</sup>, *Optical Gas Imaging* (OGI), já disponíveis em RPAS, ainda se restringem à aplicação em outras indústrias, muito porque as estruturas utilizadas em telecomunicações não possuem uma geometria favorável à sua aplicação, posto que essas medições dependem do contato da aeronave com a estrutura inspecionada.

Além dos métodos de inspeção, foi identificada a aplicação dos RPAS para deslocamento vertical de ferramentas e materiais para profissionais em serviço em altura (torres) e também as chamadas *Flying COW* (*Cell on Wings*), que são ERB (Estações Rádio Bases) instaladas em RPA para reestabelecer sinal de telefonia móvel em áreas afetadas por

---

<sup>14</sup> ACFM - *Alternating Current Field Measurement* (Medição de Campo de Corrente Alternada).

grandes desastres (terremotos, tsunamis, furações etc.) (RAMBO, 2018).

A seguir, serão tratados os “*Payloads*”, que são sensores específicos embarcados no RPA apropriados ao tipo de captura que se pretende fazer, ou melhor, método de Ensaio Não Destrutivo que se pretende aplicar.

### 5.3 Sensores (carga útil) e Subsistemas

Ao tratar desse tema, de início cabe uma distinção entre sensores auxiliares destinados ao suporte à navegação (tecnologias de detecção de obstáculos, localização com ou sem GPS/RTK, integração com gerenciamento de tráfego) e dispositivos adicionados com a finalidade da atividade específica (comumente referenciado pelo termo *payload*, traduzido como “Carga Útil”). O **Quadro 7** apresenta uma diversidade de tecnologias embarcadas disponíveis para uso em RPA, tanto sensores auxiliares quanto sensores específicos.

**Quadro 7** - Sensores *onboard* em RPA: Auxiliares e Específicos (*payload*)

Auxiliares (subsistemas)	Específicos (carga útil)	
-GNSS -IMU -Giroscópio -Acelerômetro -Altimetro -Estabilizador de vídeo -Transmissor de vídeo -Comunicação de telemetria -Sensores ultrassônicos -Sensor de visão estéreo -LIDAR (Scanner Laser)	-Câmeras de Vídeo (espectro visível): EOS, estereoscópica, omnidirecional, lentes de olho de peixe. -Câmeras termais -Câmeras IR (Infravermelho) -LIDAR (Scanner Laser) -Câmera multiespectral -Câmera hiperespectral -Radar/SAR -Radiômetro (multi-frequência) -Espectroscopia infravermelho -Nariz eletrônico -VCSEL -WMS -Espectrômetro ultravioleta	-Detector multi-gás -Sonar -Smartphone -Contador de partículas (ótico, condensação) -Fotômetro, etalômetro -Amostragem de aerossóis -Sonda (temperatura, humidade, pressão, ultrassom, ACFM) -Espectrômetro de gotículas de nuvem -Piranômetro -Coletor eletrostático -Medidor de radiação -Sensor Magnético -Detector de chama ultravioleta -Detector de gás/fumaça

Fonte: Adaptado de Pajares (2015, p. 284).

Fabricantes de drones e fornecedores vêm acelerando a criação de valor a partir de novos subsistemas e sensores, a exemplo do Vision SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) da iRobot®, a câmera de estabilização eletrônica da Parrot e os *gimbals* estabilizados por giroscópio da DJI® (YOLE, 2016). Existem muitas tecnologias perfeitamente adequadas disponíveis no mercado, a exemplo de: *rangers* ultrassônicos, sensores de proximidade, unidades de monitoramento inercial, *encoders* magnéticos e ópticos,

imagem multiespectral, infravermelho, detecção de gás e módulos de câmeras compactas que já vêm sendo integrados por fabricantes de RPA. No entanto, outras tecnologias que giram em torno do sensor 3D (câmeras 3D, sonar, radar ou LIDAR) e outras modalidades de END ainda precisam contar com outros mercados – como o da Internet das Coisas (IoT) e Robótica – para atingir as exigências críticas de tamanho e peso a fim de sustentar os esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). Portanto, ainda existe certa incompatibilidade entre as expectativas dos fabricantes dos subsistemas para RPA e o comportamento da empresa do sensor. Isso acaba sendo um obstáculo ao desenvolvimento para todo o ecossistema (YOLE, 2016).

As aplicações em telecomunicações identificadas nessa pesquisa concentraram-se em entregas baseadas em imagens por emissão ótica no espectro visível. Na faixa do infravermelho (ondas entre 7.5 - 13.5  $\mu\text{m}$ ), por câmeras termais, apesar de existirem uma grande variedade de sensores no mercado atual de RPAS, foram encontrados poucos resultados de análise termográfica em torres e assessorios. Um exemplo de aplicação encontrada foi a constatação de infiltração e acúmulo de água em perfis tubulares em torre treliçadas que pode ser um risco em climas frios (abaixo de 0°C) em função do congelamento e aceleração de processos corrosivos pela presença de água e sais. Ou seja, é utilizada em casos específicos na indústria telecomunicações, portanto não foram verificados resultados práticos que suscitasse maiores investigações nessa direção.

Foi identificada oferta de serviços com o uso de câmeras Hiperspectral (400 - 1,000 nm) para mapeamento de corrosão e classificação de materiais baseado na refletância. No entanto, essa informação contrasta com estudos que indicam que as técnicas mais promissoras para detecção de degradação por corrosão por RPAS são através de imagens multiespectrais e a própria termografia por infravermelho.

Kerdoncuff, Lin e Wacker (2017) comentam que métodos de medição como a espectroscopia IR dispersiva, espectroscopia Raman, espectroscopia FTIR<sup>15</sup> e LIBS<sup>16</sup> revelam informações quimicamente específicas sobre o objeto inspecionado, o que permite a identificação de corrosão e a diferenciação de revestimentos e tintas afetados. Já a espectroscopia Raman ainda requer tempos de aquisição de ponto único de vários minutos para identificação de corrosão, muito longos para a permanência do RPA no ar. Todas essas tecnologias permitem a detecção à distância de vários metros, entretanto, ainda está limitada a sensores com pouca capacidade de geração de imagens em grandes áreas de superfície com

---

<sup>15</sup> FTIR - Espectroscopia de Infravermelhos (IR) com Transformadas de Fourier.

<sup>16</sup> LBIS - Espectroscopia de Plasma Gerado Por Laser.

resolução suficiente. Podem ser consideradas como tecnologia em desenvolvimento.

A Texto DSI (2018) explana que está desenvolvendo soluções integradas UAV em ACFM e *Phased Array* (para detecção de trincas na superfície e fadiga da solda) e Sensor de Micro-ondas sem Contato Adaptável (para corrosão sob o isolante/revestimento, monitoramento da espessura/condição do *coating*), mais ainda sem maiores detalhes.

Dessa forma, os métodos mais usados restringem-se à Inspeção Visual Remota e ao Controle Dimensional, associados aos recursos avançados computacionais aerofotogrametria e inteligência cognitiva. A aplicação dos demais métodos END restringe-se a uma inspeção detalhada em contato com o objeto, com acesso por escalada quando necessário.

A aquisição e processamento de dados baseada em imagens aéreas é uma tecnologia já estabelecida pelos métodos de aquisição em fotogrametria e geodésia para gerar registros topográficos em três dimensões (3D). Com o desenvolvimento e popularização dos RPAS, os sensores se tornaram menores, mais leves, e cada vez com maiores resoluções (tamanho do quadro x quantidade de *pixels*<sup>17</sup>), precisão posicional (pelos sistemas de IMU<sup>18</sup> associados aos sistemas GNSS<sup>19</sup> (GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo) e sistemas RTK<sup>20</sup> e PPK<sup>21</sup> operando com Estação Total em solo), maior sensibilidade e qualidade geral da imagem. As demandas da cinematografia também ajudaram muito nesse processo de desenvolvimento de sensores embarcados com maior capacidade de captação de filmagens em alta resolução (4K) e com transmissão em tempo real.

Há uma variedade de câmeras (aqui tratadas como sensores) que podem ser embarcados num RPA, muitos deles já projetados especificamente para esta aplicação, recebendo a denominação de *Airborne Sensor*. Grande parte é formada por sistema sem espelho e/ou câmeras de ponte (*Digital Single Lens Mirrorless*, DSLM), reduzindo distorções, e com grande variedade de fabricantes.

No contexto desse trabalho, procurou-se selecionar alguns conjuntos de plataformas de RPAS e sensores seguindo três critérios:

---

<sup>17</sup> *Pixel* – é a menor porção da imagem em uma fotografia digital no qual se pode atribuir uma cor.

<sup>18</sup> IMU (*inertial measurement units*) - sensor inercial composto por acelerômetro, giroscópio e magnetômetro que permite coletar dados cinemáticos, dinâmicos e de orientação com precisão. (ZHANG *et al.*, 2010)

<sup>19</sup> GNSS, (Global Navigation Satellite System) - sistema global de navegação por satélite.

<sup>20</sup> RTK, (*Real Time Kinematic*)- cinemático em tempo real é um método de posicionamento que consiste na utilização de dois receptores, 1 aéreo e 1 solo coletando dados simultaneamente e que, por meio de correções, é capaz de fornecer posições em tempo real. (TOMASTÍK *et al.*, 2019).

<sup>21</sup> PPK, (*Post Processed Kinematic*) – cinemático pós-processado é também um método de posicionamento baseado na utilização de dois receptores coletando dados simultaneamente, sendo que a posição não é fornecida em tempo real, os dados coletados em campo são armazenados e processados em *backoffice*, minimizando impacto de possíveis falhas de comunicação com o RPA. (TOMASTÍK *et al.*, 2019).

- O “Estado da Arte”, sensores com maior tecnologia disponível para aplicações em inspeção de ativos de infraestrutura;
- Balanço de custo *versus* benefício para entregar resultados, ou seja, gerar imagens relevantes para conclusões de engenharia (elaboração de relatórios de inspeção) para suporte na tomada de decisão na gestão do ativo;
- Popularidade e disponibilidade dos RPAS para que se possam explorar os benefícios da tecnologia, dada à dispersão dos ativos na indústria de telecomunicações.

Os **Quadros 8 e 9** apresentam a relação de alguns sensores pesquisados. A relação apresentada não visa esgotar os equipamentos disponíveis, mas entender os requisitos técnicos e a viabilidade econômica da aplicação da tecnologia. A pesquisa baseou-se na experiência do autor, indicações de publicações em revistas eletrônicas do segmento de RPAS, artigos de análise de mercado voltados à inspeção de ativos e dados coletados em *sites* de fabricantes e venda de equipamentos. Os parâmetros selecionados como resolução, sensibilidade ISO, velocidade do obturador, campo de visão da lente, FOV, buscam entender e proporcionar critérios de seleção de uma tecnologia em detrimento de outra diante dos resultados esperados (objetivos da Inspeção Visual Remota como END).

**Quadro 8 - Plataformas RPA com Sensores integrados voltados à Inspeção**

Plataforma (RPA)	Sensor RGB	Especificações	Lentes	Custo do Sensor Estimado <sup>1</sup>	Custo do Conjunto <sup>2</sup> (Sensor e Plataforma)
<b>Câmera integrada fixa</b>					
DJI Phantom 4 Pro		20MP; 1" CMOS 4:3, 4864x3648 3:2, 5472x3648 ISO: 100- 12800 (Manual) Velocidade 8-1/8000s	FOV 84° ; 8.8 mm / 24 mm(35 mm Formato Equivalente:24 mm) ; f/2.8 - f/11, com foco automático a 1 m - ∞	Não disponível	\$1900
DJI Mavic Enterprise	M2E Camera 	12MP, 1/2.3" CMOS 4000x3000 ISO: 100-3200 Velocidade: 8-1/8000s	FOV : 82.6°(24 mm) ; 47.8°(48 mm) Formato Equivalente : 24-48 mm Abertura:f/2.8(24 mm),f/3.8(48 mm) Foco Automático : 0.5 - ∞	Não disponível	\$3000
<b>Câmeras intercambiáveis dentro da plataforma</b>					
DJI Inspire DJI Matrice 100 DJI Matrice 200 DJI Matrice 600	Zenmuse X5S 	20,8MP; CMOS, 4/3" 4:3, 5280x3956 16:9, 5280x2970 ISO: 100 – 25600 (Stills) Velocidade 8-1/8000s	DJI MFT 15mm/1.7 ASPH (com <i>Balancing Ring and Lens Hood</i> ) Panasonic Lumix 15mm/1.7 (com <i>Balancing Ring and Lens Hood</i> ), 14-42mm/3.5-5.6 HD Olympus M.Zuiko 12, 17, 25, 45, 9-18 mm(com <i>Balancing Ring</i> for 12 and 17mm)	\$1,899	\$5500 - \$21000
	Zenmuse Z3 	12,4MP CMOS, 1/2.3" 4:3 , 4000x3000 16:9 , 4000x2250 Shutter Speed 8 - 1/8000s ISO 100 - 1600 (photo)	3.5x Optical Zoom, 22-77mm Equivalent F2.8 (Wide) - F5.2 (Tele), FOV 92° (Wide) - 35° (Tele)	\$900	\$4500 - \$9000
	Zenmuse X7 	24MP; CMOS, 4/3" 3:2, 6016 x 4008 16:9, 6016 x 3376 4:3, 5216 x 3912 ISO: 100 – 25600 (Stills)	DJI DL-S 16mm F2.8 ND ASPH DJI DL 24mm F2.8 LS ASPH DJI DL 35mm F2.8 LS ASPH DJI DL 50mm F2.8 LS ASPH	\$3100	\$7000 - \$23000
	Zenmuse Z30 	2.13MP CMOS, 1/2.8" Pixels efetivos: 2.13 M Velocidade 1/30 – 1/6000s	30x Zoom Optico F1.6 (Wide) - F4.7 (Tele) FOV 63.7°(Wide) - 2.3°(Tele)	\$4000	\$16000 - \$25000
Yuneec Typhoon H Plus Yuneec Tornado H920	Yuneec E90 Camera 	20MP 1 " CMOS 3:2, 5472x3648 4:3, 4864x3648 16:9, 5472x3080 ISO range 100 - 6400 Velocidade 4s - 1/8000	23 mm lens ( F2.8) Adaptador de lente para 40.5 mm	\$1300	\$2500- \$4000
	CGO4 	16 MP 4/3 Live MOS 4:3, 4608 x 3456 3:2, 4608 x 3072 1/8000s ISO 100 - 25600	3x Zoom optico 14-42 mm ( standard) / OLYMPUS M.ZUIKO DIGITAL ED 12 mm f 2.0 / OLYMPUS M.ZUIKO DIGITAL 45 mm f 1.8 / OLYMPUS M.ZUIKO DIGITAL ED 14-42 mm F 3.5-5.6	\$1800	\$4000
Aeryon Labs SkyRanger	FLIR HD-Zoom30 	20 MP (5184 x 3888) EO: 13 MP (4192 x 3104); IR: (640 x 512)	HDZoom 30: 68.6° to 2.6°(30x), 1.3° (60x); EO: 58°; IR: 45° (13mm) or 32° (19mm)	Não disponível	\$65000

Obs: 1- Os valores estão expressos em Dolar Americano, e são apenas referência para comparação entre sensores e plataformas.

2- A faixa de valores referem-se a diferentes configurações possíveis dentre plataforma (RPA) e câmera.

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Quadro 9** - Plataformas RPA com uso Sensores de terceiros voltados à Inspeção

Plataforma (RPA)	Sensor RGB	Especificações	Lentes	Custo do Sensor Estimado <sup>1</sup>	Custo do Conjunto <sup>2</sup> (Sensor e Plataforma)
DJI Matrice 100 DJI Matrice 600 Freefly Alta 8 Intel/AscTec Falcon 8 (Obs.: requer gimbal adequado para adaptação e comunicação remota)	 Sony a7R	42.4MP 7360x4912 pixels 35-mm <i>full-frame sensor</i> ISO: 100–25.600	35mm, 55mm, 28-70 mm e 70-200mm	\$3000	\$8000-\$28000
	 Panasonic Lumix DMC-TZ71	12,1MP MOS-Sensor 6.17 x 4.55mm <sup>2</sup> (0.24" x 0.18") 1920 x 1080 pixel Velocidade: 1/2000s ISO 80 - 6400	30x Zoom optico 24–720 mm focal F3.3 to F6.4.	\$1200	\$6500 - \$27000
	 Ricoh GR III	24MP CMOS. Size: 23.5mm x 15.6mm 6000x4000 ISO100~102400	18.3mm (Approx. 28mm em 35mm distância focal equivalente), F2.8~F16	\$1000	\$6500 - \$27000
	 Sony ALPHA A6300	24.3MP Exmor CMOS tipo APS-C (23.5x15.6mm) 6000 x 4000 ISO 100 – 51200	16-50 mm F3.5 – F5.6.	\$1500	\$7000 - \$27000
	 LUMIX S1R	CMOS <i>full-frame</i> de 35 mm 47,3MP 16736x11168(XL) ISO 100-25.600	50mm f/1.4 S 70-200mm f/4 S 24-105mm f/4 Macro	\$3695	\$9000 - \$29000
	 Hasselblad X1D	50MP CMOS, 43.8 x 32.9mm 8272 x 6200 pixels ISO 100- 25600 60 min. à 1/2000s	Lentes XCD 24mm 96 até 300mm 10°	\$9000	\$13000 - \$34000
	 Hasselblad A5d	CMOS, 100 MP 53.4 x 40.0mm 11600 x 8700 pixels ISO: 64 -12800 0.5s à 1/4000s	HCD 4,8/24mm 96° até HC 4,5/300mm 10°	\$19000	\$25000 - \$45000
	 ixU / ixU-RS 1000	100MP 11608x8708 pixels ISO 50-6400 Sensor: 53.4 x 40mm	32 mm, 40 mm, 50 mm, 70 mm, 90 mm, 110 mm or 150 mm, calibradas de fábrica com foco infinito. 55 mm to 240 mm <i>fast sync lenses</i>	\$40000	\$46000 - \$74000

Obs: 1- Os valores estão expressos em Dolar Americano, e são apenas referência para comparação entre sensores e plataformas.

2- A faixa de valores referem-se a diferentes configurações possíveis dentre plataforma (RPA) e câmera.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme explicitado nos **Quadros 8 e 9**, os sensores podem ser integrados à uma plataforma de diversas formas. Câmeras manuais como a *Hasselblad X1D*, *Panasonic LUMIX S1R*, *Sony Alpha 7R* e *A630*, *Ricoh GR III* dentre outras, são adaptadas em *gimbals* específicos para que sejam manipuladas remotamente, ao mesmo tempo em que permitem o *geotagging*<sup>22</sup> das imagens gravadas com informações de posicionamento geradas a partir dos sistemas de GNSS e IMU do RPA. A *Nikon* e a *Canon* também disputam esse mercado.

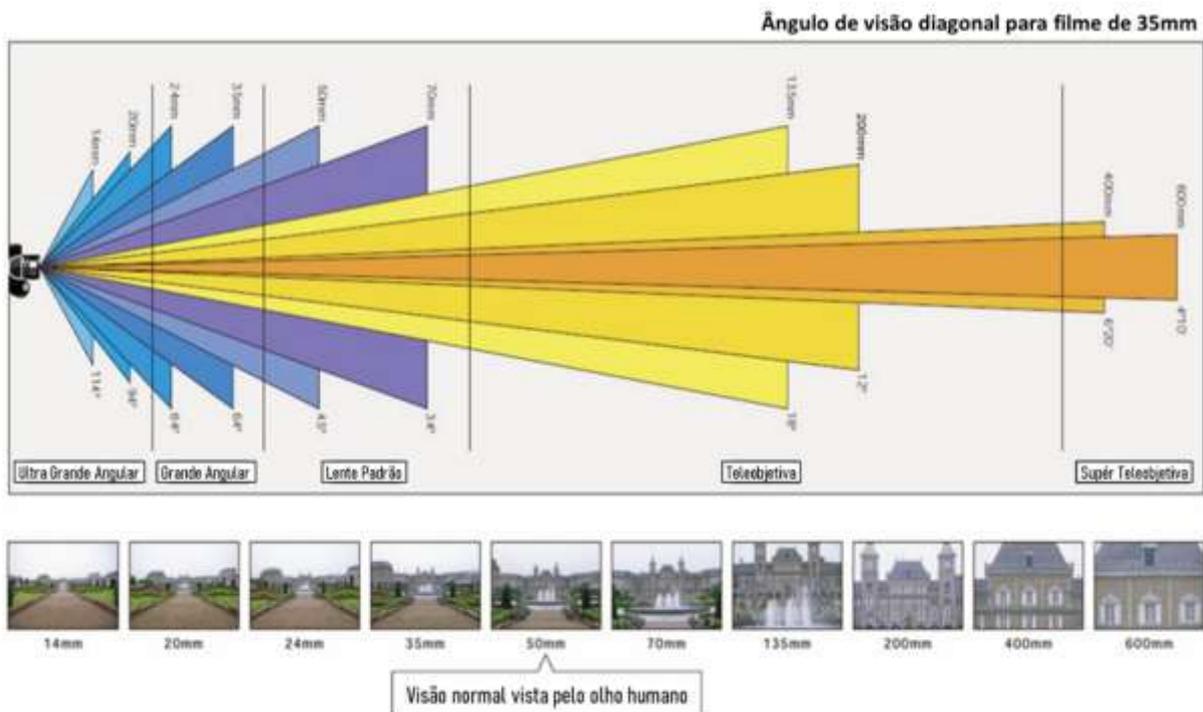
O interessante dessas plataformas é a liberdade para escolha do conjunto de lentes que permitem alterar o FOV (Campo de Visão): mais aberto (ex.: 24mm) ou mais fechado (ex.:

<sup>22</sup> *Geotagging* é o processo de adicionar metadados de identificação geográfica ao arquivo fotográfico.

720mm), chegando a *zoom* óptico impressionantes de 30x. Para ângulos mais fechados (inferiores a 5 graus) os microprocessadores das câmeras contam com estabilizadores de imagem, e precisam contar uma velocidade do obturador elevada (chegando a 1/8000s para as câmeras *airborn*, **Quadro 8**) para evitar imagens borradas/trêmulas.

A **Figura 5** dá uma ideia do grau de aproximação da imagem em função do ângulo de visão, ou seja, comprimento focal. Quanto maior a distância focal, maior o peso do conjunto, requerendo aeronaves com capacidade de *payload* maior. Plataformas como o *Matrice 600Pro* da DJI podem suportar até 5.5kg, porém tem sua autonomia reduzida de 32 minutos para 16 minutos em condições ideais (pouco vento).

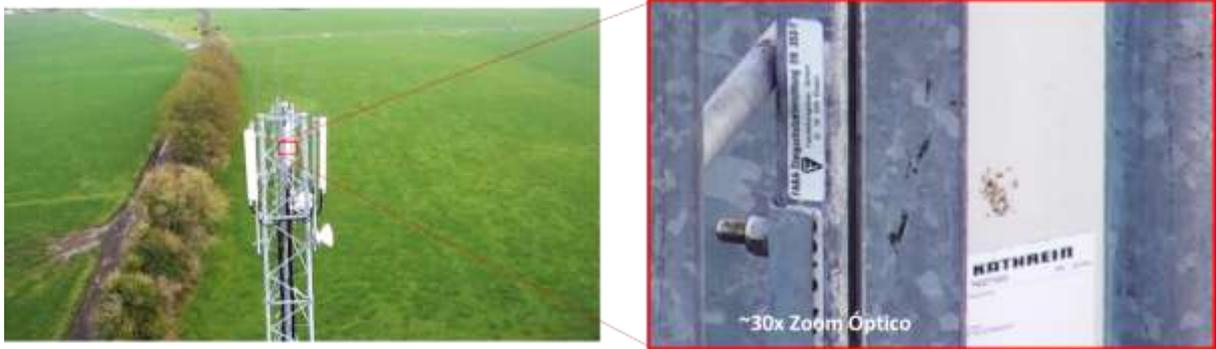
**Figura 5** - Como o comprimento focal afeta o ângulo de visão



Fonte: Câmera *Principles and Types*, Lição 12. Adaptado de Panasonic (2019).

A decisão de partir para um equipamento com *zoom* ótico, num processo de inspeção por RPAS, influencia diretamente no plano de inspeção. Imagens mais fechadas (ângulos menores) podem trazer detalhes, como apresentado na **Figura 6**, quando se quer, por exemplo, levantar o modelo/tipo ou número de série de equipamentos instalados em uma torre para inventário:

**Figura 6 - DJI Matrice 200 e câmera Zenmuse Z30 em inspeção de torre de celular**



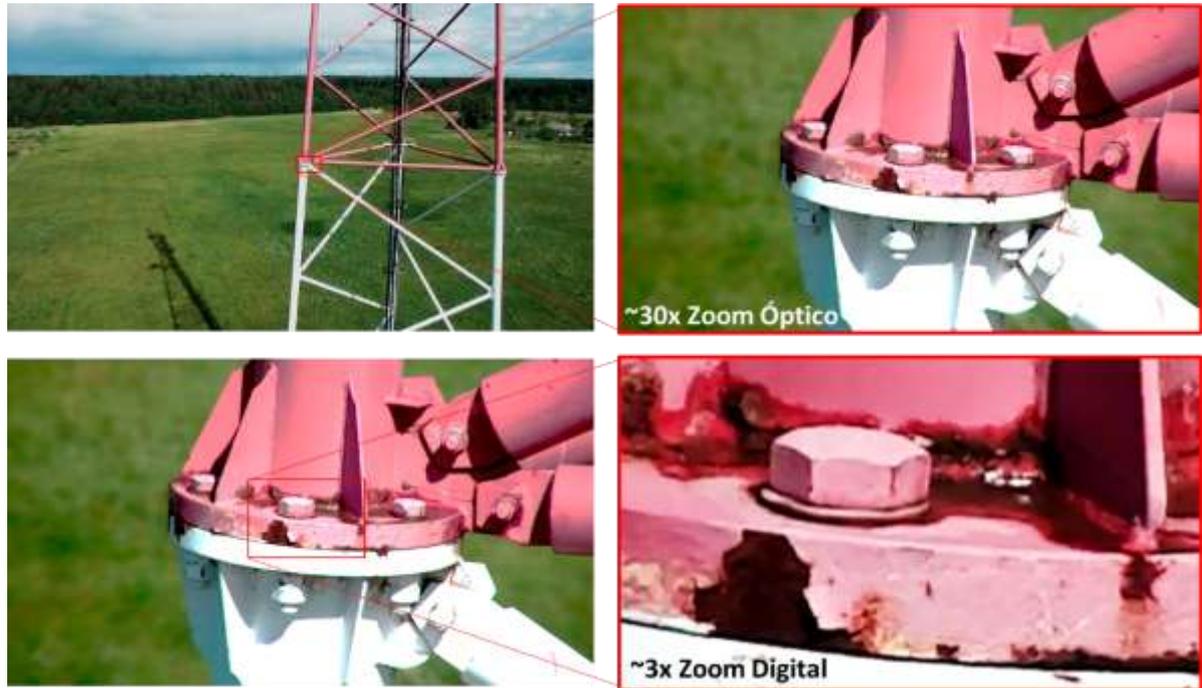
Fonte: Elaborado pelo autor (Crédito das imagens: Drone Services Ireland).

Esse tipo de operação é focado em objetivos, ou seja, há que se definirem claramente os Pontos de Interesse para que a operação consiga capturar imagens relevantes da estrutura. O ideal nesse tipo de operação é que seja acompanhada por um inspetor especialista e que este tenha boas condições de visualização da imagem em tempo real.

Duas opções ocorrem nesse cenário:

1. O inspetor especialista (Profissional Habilitado) acompanhar a equipe de operação, *in locus*. Nesse caso, existe uma dificuldade de se montar uma configuração que promova boas condições de acompanhar o desenrolar das imagens produzidas. Monitor de tamanho razoável e ambiente confinado com iluminação que não provoque reflexos na tela. Tentativas foram realizadas no sentido de usar os *gadgets* (“vestíveis!”) como *google glass* (óculos) com tela, a exemplo da DJI® e a EPSON®, mas não atenderam aos requisitos de inspeção, posto que não permitiram, de forma eficiente, a manipulação da imagem para observação de detalhes, como a verificação de suspeita da existência de uma fissura, por exemplo;
2. O inspetor especialista remoto recebendo imagens transmitidas *online* para um escritório. Para viabilizar esse ambiente, existe uma grande expectativa sobre a tecnologia 5G da telefonia móvel celular, onde será possível a transmissão de imagens de alta definição 4K (Ultra HD - 3840 × 2160pixels), e ainda em fase inicial de disponibilização de serviços em alguns países.

**Figura 7** - DJI *Matrice* 200 e câmera *Zenmuse* Z30 em inspeção de torre de celular



Fonte: Elaborado pelo autor. (Crédito das imagens: *GeoNovus* - DJI Enterprise Latvija).

Uma segunda estratégia de operação de inspeção está relacionada com a geração de grande quantidade de imagens (fotografias) em alta resolução. Aí entram as demandas por câmeras de grande resolução, sensibilidade e velocidade (de 42 a 100MP, como apresentado nos **Quadros 8 e 9**), para que se consiga capturar, em um quadro, detalhes na ordem de milímetros ou abaixo, mesmo distante do objeto. Deve ser também observada a questão do foco automático para as inspeções. Preferencialmente, deve-se operar com foco automático rápido e uma distância focal curta de 10 a 15 metros e, portanto, quando se estiver acima de 20m, tudo estará na região de foco infinito podendo causar imagens borradas. Quanto mais próximo da torre, maiores as possibilidades de interferências eletromagnéticas no sistema de navegação da aeronave somados vento e risco de choque contra a torre.

A **Figura 8** apresenta um exemplo de utilização de uma câmera com resolução de 36MP, a 15 metros de distância do Ponto de Interesse, sendo possível aumentar a imagem em até 16 vezes para observação dos detalhes sem perda substancial da qualidade. Esse tipo de estratégia possibilita que um inspetor trabalhe em *backoffice* e favorece a utilização de Inteligência Artificial (IA) para análise e interpretação de grande volume de imagens.

**Figura 8** - Foto de *Topcom Falcon 8*, a ~15 metros de distância, câmera *Sony Alpha 7R*, 36MP, dimensão da foto 7360 x 4912pixels, 1/1000s, f/5 ,35 mm, ISO 100

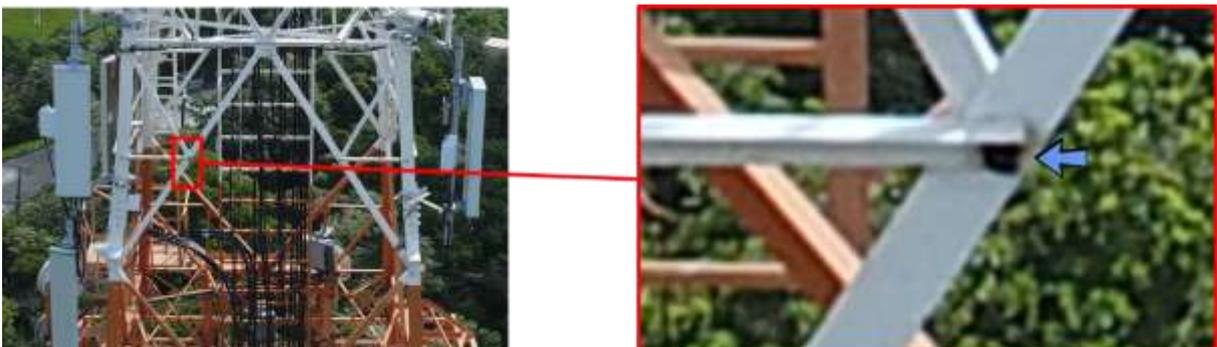


Fonte: Elaborado pelo autor. (Crédito das imagens: *xd4solution*).

Uma questão sensível para o cenário da indústria de telecomunicações é o custo dessas inspeções que são diretamente proporcionais ao valor investido e ao risco da operação. O *Matrice 600Pro* da DJI equipado com uma câmera na ordem de 40MP pode custar por volta de U\$10.000,00 nos Estados Unidos. No entanto, trata-se de uma aeronave com relativamente baixa resistência ao vento, na ordem de 8m/s e sensível, enquanto o *Falcon 8* consegue resistir a 16m/s, podendo chegar a custar mais de U\$30.000,00.

Equipamentos menores como *Mavic Enterprise* e o *Phantom 4Pro*, dentre outros, oferecem custos inferiores a U\$3.000,00 e no caso do *Mavic* apesar de ter uma câmera com resolução inferior (12MP) isso pode ser compensado pelo *zoom* óptico de 2x. A limitação de resolução exigirá uma maior aproximação da torre (entre 3 e 10 metros), configurando um risco para o equipamento. No entanto, os resultados, ao analisar o valor global do serviço e o resultado, é algo que deve ser levado em consideração. A **Figura 9** apresenta imagens de inspeção realizadas a partir de um DJI *Phantom 4 Pro* (20MP).

**Figura 9** - Foto de DJI *Phantom 4Pro*, a ~8 metros de distância, câmera 20MP



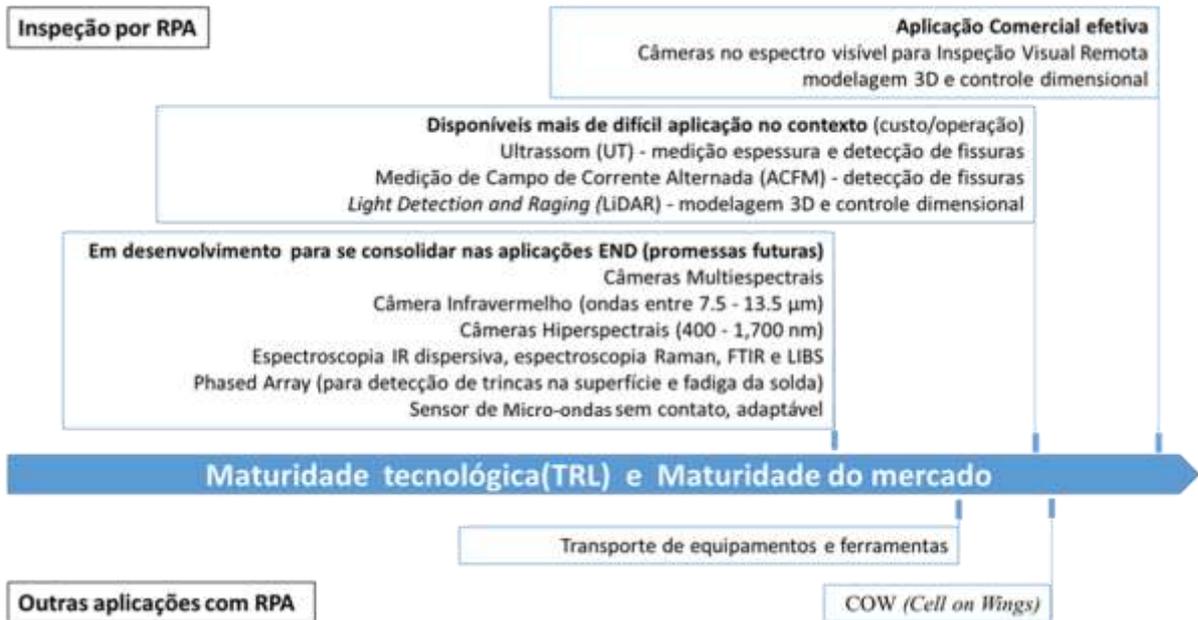
Fonte: Elaborado pelo autor. (Crédito das imagens: *Drones Solution*).

Outro sensor que vem sendo embarcado em RPAS são os sensores a laser conhecido por LiDAR - *Light Detection and Ranging*. Usa o pulso de um laser para coletar medições com precisão abaixo de 5mm em todo o entorno. Fica acomodado em uma cabeça giratória, coletando medições e tonalidades de cores em 360 graus na horizontal por ~300 graus na vertical, gerando uma nuvem de pontos, como se fosse uma casca da superfície conhecida como MDS (Modelo Digital de Superfície), cuja densidade irá depender da distância da aeronave ao solo e ao objeto de interesse.

Atende às demandas de análise geométrica da estrutura (altura, verticalidade da torre e torções), disposição dos painéis (altura, azimute e inclinação), distribuição da cobertura e mapeamento do entorno, ocupação (edificações), análise panorâmica e mapeamento LOS (*Line of Sight*; em português, Linha de Sinal). No entanto, essa tecnologia é muito mais cara e compete diretamente com os métodos tradicionais da aerofotogrametria também com RPAS, que atingem resultados inferiores em acurácia posicional, na ordem de 5 a 10 cm, mas que atendem plenamente aos requisitos da indústria de telecomunicações.

A **Figura 10** resume a avaliação da disponibilidade tecnológica e sua aplicação efetiva no ambiente de estudo (oferta de serviços disponíveis no mercado). Conclui-se que, referente aos métodos END, aplicados em inspeção de estações de telecomunicações, está concentrado na inspeção visual remota no espectro visível e na criação de modelos 3D por aerofotogrametria, mas com potencial para uso de outras faixas do espectro como o infravermelho e o uso de câmera hiperespectral no auxílio de identificação de anomalias. A tecnologia LiDAR para mapeamento 3D compete diretamente com os métodos de criação de modelos 3D por aerofotogrametria, mas os mesmos apresentam custos maiores (aeronave e sensores).

**Figura 10** - Maturidade Tecnologia de Sensores (*payload*) aplicados para END na inspeção de Torres e Mastros em Telecomunicações



Fonte: Elaborado pelo autor.

A atividade de inspeção sendo feita ainda de forma “manual”, resolve questões ergonômicas, o estresse e o risco da atividade em altura, possibilitando a inspeção em *backoffice*, no entanto ainda depende da experiência da equipe como um todo. Ou seja, dependem da experiência do operador de drone para a captura de imagem em ângulos variados que permitam as análises e conclusões (planejamento da missão) e do inspetor para o trabalho de análise das imagens, da estrutura e da emissão do relatório num segundo momento.

#### 5.4 Plataforma de serviços envolvendo Drones voltados à inspeção de Mastros e Torres

O infográfico da **Figura 11**, apresentado Droneii (2018), utiliza uma série de critérios para gerar um *ranking* com a finalidade de identificar os maiores operadores e plataformas SaaS (*Software as a Service*) envolvendo RPAS. Dentre eles: o tamanho da companhia, número de seguidores, quantidade de investimentos recebidos, número de parcerias, o volume de atividade na *web*. Dos vinte (20) ranqueados, onze (11) têm atividades relacionadas com inspeção.

**Figura 11 - Ranking dos Operadores de Drone 2018**

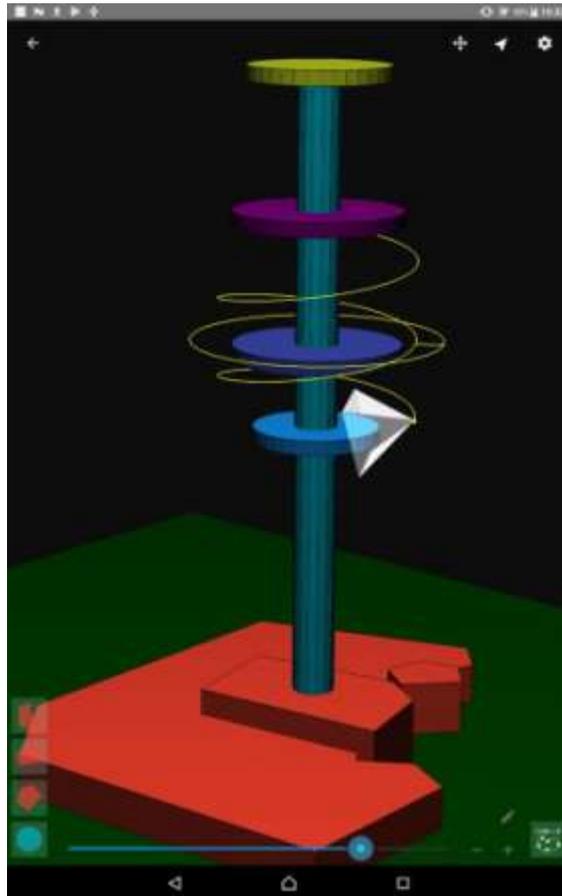


Fonte: DRONEII (2018).

Estudando o portfólio dessas empresas apenas a Austrália UAV e a Texo apresentaram produtos e cases voltados para a indústria de telecomunicações, mas sem muito foco. No geral, todas as empresas estão focadas em indústria de Óleo e Gás, Energia (Solar, Transmissão, Eólica), *On-shore* e *Off-shore*, na Mineração e Construção, certamente por apresentarem *ticket* médio superiores para os serviços, quando comparado com a indústria de telecomunicações.

No entanto, existem plataformas que já oferecem sistemas de planejamento de missão pensado para resolver a complexidade do levantamento de imagens de uma torre, como pode ser visto na **Figura 12**.

**Figura 12** - Planejamento de missão para torre de telecomunicações



Fonte: Plaza (2018).

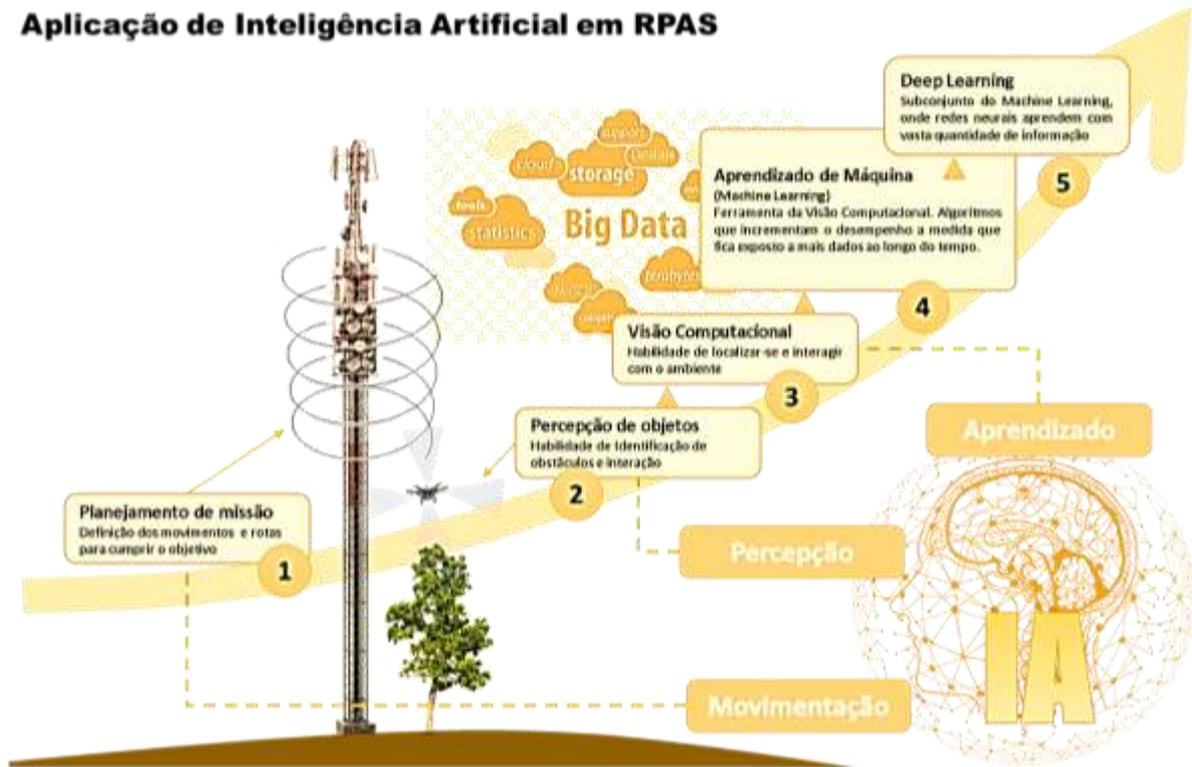
Este tipo de ferramenta automatiza a inspeção e agrega a possibilidade de repetibilidade ao processo. É possível definir envelopes no contorno de objetos, como casas e árvores circunvizinhas, estabelecendo uma cerca virtual, para que o RPA possa realizar o voo sem riscos de choques, ao mesmo tempo em que maximiza a proximidade da torre.

Com o sequenciamento correto da operação é possível realizar todo o planejamento antes da chegada do operador em campo e esse, simplesmente, fazer uma avaliação de risco, verificação das condições ambientais e apertar um botão para iniciar a missão. Existe a tendência crescente de automação até que praticamente não será necessária nenhuma intervenção do operador, como mostra a **Figura 13**.

Assim, como veículo autônomo, as aplicações de Inteligência Artificial (IA) para RPAS já estão em estágio avançado em algumas áreas como a segurança nacional de controle do exército, a segurança patrimonial e soluções semiautônomas como os chamados Drone Box. No entanto, ainda não é uma realidade comum nas atividades de inspeção.

**Figura 13 - Inteligência Artificial (IA) aplicada à navegação de RPAS**

**Aplicação de Inteligência Artificial em RPAS**



Fonte: Adaptado de Schroth (2018).

A Visão Computacional (CV) geralmente é feita com sensores como eletro-óptico, estéreo-óptico, já disponíveis em muitos equipamentos e o LiDAR que ainda tem custo muito elevado. É chamado de percepção de máquina. Daí nasce às demandas para o *Machine Learning* (ML) e o *Deep Learning* (DL), que exigirão cada vez mais potentes processadores e eletrônica embarcada.

Os métodos de aprendizado são baseados no funcionamento do cérebro humano, que também consiste em neurônios interconectados. As chamadas Redes Neurais Artificiais consistem em várias camadas, cada uma conectada à próxima camada e é responsável por uma determinada tarefa. Esse design permite combinar e expandir o que foi aprendido com o novo conteúdo. Desenvolvimentos recentes na indústria de tecnologia, nomeadamente GPUs (unidades de processamento gráfico), permitiram explorar a DL por meio de sua relação preço / desempenho, além da infraestrutura de hardware necessária. Embora haja muito mais poder de computação disponível nas GPUs, ainda é necessário um tempo razoável para treinar os algoritmos de DL, e são necessários principalmente milhões de imagens para executar com segurança uma determinada tarefa com a DL (SCHROTH, 2018).

A exemplo da marca Chinesa DJI®, já estão disponibilizados e alguns dos seus equipamentos contam com recursos como sistema de posicionamento por visão, compensando a ausência de posicionamento por satélite, o sonar e as informações visuais manipuladas por

um chip de CPU dedicado que recebe *feedback* em tempo real, e gera dados e é inteligente o suficiente para distinguir entre objetos e padrões de solo, além da capacidade de evitar obstáculo.

### ***5.5 Aplicação de Automatização e Inteligência Artificial (IA) nas plataformas de processamento***

Em um voo típico, um drone irá reunir centenas de imagens da infraestrutura. O trabalho de *BackOffice* do inspetor deve ser pesquisar manualmente as anomalias dentro de um volume grande de dados, o que levará muito tempo. Os dados coletados precisam de uma representação amigável e não redundante. Normalmente, isso é algo que vem na forma de um modelo 3D que pode ser visualizado, reconhecido e clicado para exibir imagens relevantes para a região selecionada na torre. (KARPOWICZ, 2018).

**Figura 14** - Modelagem 3D com simulação dos lóbulos de irradiação

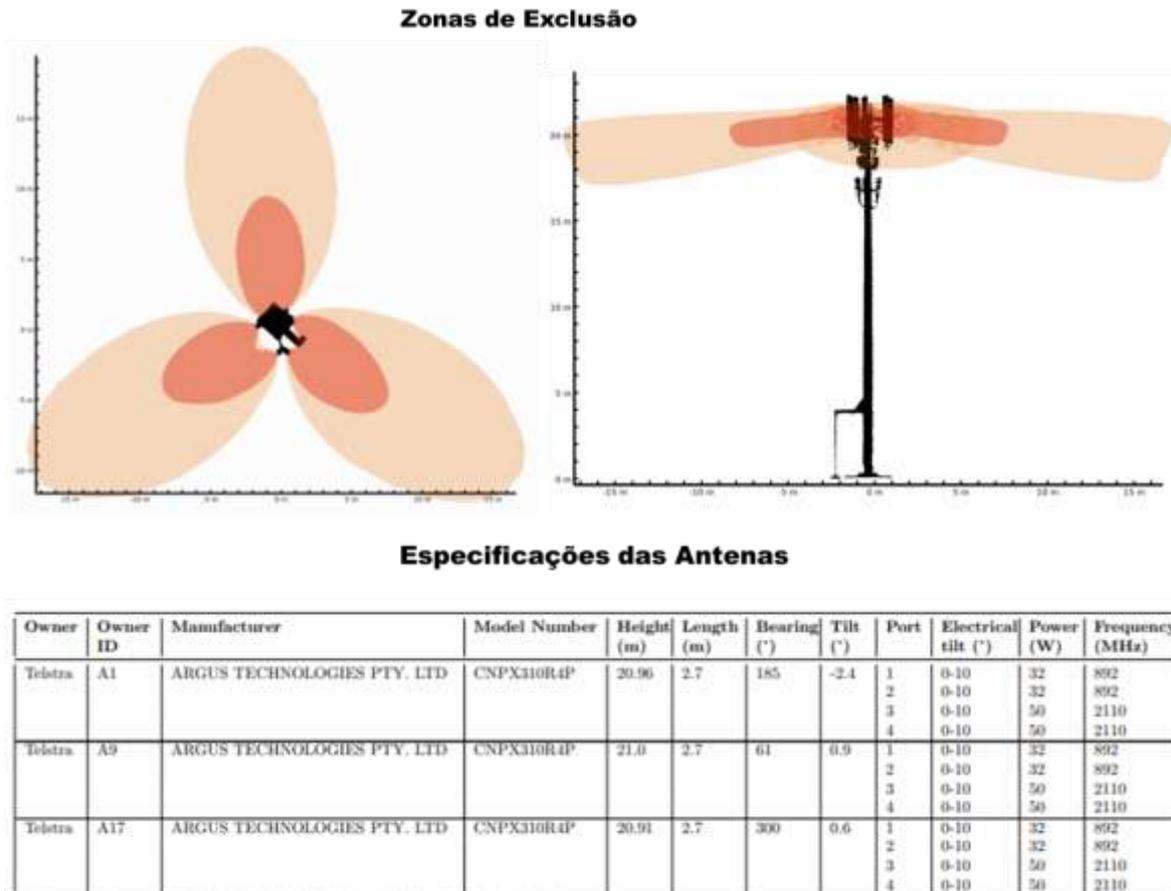


Fonte: SiteSee *Technical Report* (2019).

A Inteligência Artificial (IA) também atua nesse pós-processamento facilitando o trabalho do inspetor com a identificação automática de anomalias, além dos recursos de modelagem 3D. Aqui também são aplicados o ML e DL baseados em inteligência cognitiva por análise de imagens. Assim como na navegação, é requerida uma base de dados muito grande para que a rede neural comece a tomar suas próprias decisões e faça o reconhecimento

das características como fissuras, corrosões, ou até a identificação de componentes, desde parafusos e porcas até painéis de antenas com seu modelo, dimensões e fabricante. Ou seja, além de identificar anomalias, já é possível realizar um inventário completo da torre, antenas e acessórios e construir um *as built* em modelo 3D, conforme mostra a **Figura 15**.

**Figura 15 - As Built por Modelo 3D e Inteligência Cognitiva**



Fonte: *SiteSee Technical Report* (2019).

Do ponto de vista operacional, os RPA compartilham o desenvolvimento tecnológico com outras áreas em expansão, a exemplo a dos carros autônomos: ambos precisam de comunicação sem fio resiliente em longas distâncias. Segundo Palattella *et al.* (2016), as tecnologias móveis, especialmente 5G e o 3GPP LTE, estão entre as tecnologias mais atraentes no cenário de conectividade IoT moderno. Com sistemas de localização mais precisos, como o GNSS (podendo chegar a 0,1 m), aliados às altas velocidades de transmissão de até 60Mbps (com latências abaixo de 40ms do 5G) e a Inteligência Artificial, os RPAS serão capazes de fazer previsões e tomar decisões rápidas para minimizar os riscos de acidentes. Isso abrange tecnologias voltadas à visão de máquina e ao aprendizado de máquina

que precisam ser tão seguras quanto possível. Para atingir esse nível, será demandada cada vez mais a evolução do *cybersecurity* e da regulação (controle do espaço aéreo e responsabilidade civil). Nesse ambiente extremamente automatizado e autônomo, dispositivos destinados a atividades ilícitas ou sobre controle alheio podem causar sérios prejuízos, danos ao indivíduo e à sociedade.

Para os aplicativos e plataformas de pós-processamento de dados, abriu-se espaço para tecnologias voltadas à interpretação de grande volume de imagens e dados coletados. O'Connor (2017) descreve o impacto positivo que foi possível obter, após a integração dos RPA com a IoT. O autor informa, ainda, que a plataforma de IoT da IBM® (Watson®) utiliza inteligência cognitiva com foco em inspeção. Termos como *BigData Analytics*, *Machine Learning*, *Deep Learning* e Inteligência Cognitiva serão cada vez mais comuns na interpretação do grande volume de informações geradas.

Todos esses recursos representam uma transformação sem precedentes na gestão de ativos de infraestrutura. Cabe à gestão das empresas de telecomunicações a análise de como aplicar essa tecnologia em benefício de suas operações, e como conectá-las a sua rede de fornecedores de serviços.

A capilaridade é um desafio do setor, mas é uma questão de adaptação das estruturas e disseminação de competências.

## 6 CONCLUSÕES

A presente prospecção tecnológica teve como objetivo principal buscar o entendimento das tecnologias RPAS disponíveis, capazes de resolver demandas das empresas de telecomunicações, auxiliando-as no processo de gestão dos ativos de infraestrutura. Foi verificado um avanço tecnológico significativo desde os primeiros registros de validação de grandes empresas como a NOKIA e AT&T em 2015, e hoje se apresenta como uma realidade na operação de manutenção das Operadoras de Telefonia e *Tower Companies*, seja pela incorporação da tecnologia ou pela contratação de serviços.

Apesar de atender o escopo de inspeção de forma parcial, a inspeção por RPA apresenta fortes argumentos de redução de riscos à vida humana e perspectivas crescentes de automação do processo. Dentro da perspectiva da gestão de ativos, referenciado pela ISO 55000, esse tipo de inspeção oferece condições para gerar grande quantidade de registros temporais de forma digital, favorecendo o compartilhamento das informações na empresa e entre fornecedores, propiciando um ambiente favorável para tomada de decisão e redução de custos em longo prazo.

As atividades de inspeção visual remota e análise dimensional encontram-se num nível de maturidade elevado em termos de produtos disponíveis, criando um ambiente favorável à multiplicação de provedores de serviços bem equipados e qualificados.

Na inspeção visual remota, os sensores (câmeras DSLM) vêm se desenvolvendo em termos de resolução da imagem. As câmeras de 100MP, seja *airborn* ou integradas a *gimbals*, oferecem quadros de até 11608 x 8708pixels (100MP). Apesar de existirem as câmeras com *zoom* de até 30x, as imagens em alta resolução permitem um *zoom* digital compatível que tende a ser uma melhor alternativa para inspeção, possibilitando a análise em *backoffice* por equipe de especialistas, por inteligência computacional ou combinação dos dois.

Outro fator que pode requerer uma mudança de paradigma é que, numa única investida para inspeção com praticamente o mesmo equipamento e equipe, é possível gerar material para realizar também a análise dimensional e *as built*.

O custo do conjunto, aeronave e sensor, e o resultado esperado (tipo de diagnóstico) é algo que deve ser levado em consideração, posto que são a base para definição da matriz de custo dos serviços, principalmente em função da dispersão territorial desses ativos e de como se organiza o mercado de inspeção e manutenção de torres. Uma plataforma de 42MP, por exemplo, custaria pelo menos cerca de \$9.000,00 nos EUA. Uma quantidade pequena de equipamentos exigiria um volume grande de deslocamento da equipe de operadores de RPA.

Equipamentos com resolução menor, 12MP e 20MP, e com custos menores podem ser mais viáveis, desde que haja difusão de conhecimento para capacitar profissionais para operação de RPA espalhados pela região, mantendo a inteligência (entenda-se, análise dos dados) centralizada ampliando a escalabilidade da solução. A resolução limitada desses equipamentos pode restringir conclusões em relação às de resolução maiores, entretanto não deixam de ser relevantes para tomada de decisão. Em longo prazo, o barateamento da tecnologia irá certamente convergir para uma melhora da qualidade desses equipamentos.

A viabilidade dessa tecnologia compete diretamente com os baixos custos impostos pelos esquemas de terceirização, ou até quarteirização, dos serviços de inspeção por escalada. Apesar da existência de normas como a NR35, pode haver precarização da relação com trabalhador (escalador), o nível de especialização exigido e da equipe mínima necessária para realização de uma atividade com segurança.

Comparativamente a confiabilidade na detecção de anomalias por esse tipo de inspeção em relação à tradicional por escalada é algo a ser estudado, mas abre oportunidade para a interpretação de grande quantidade de informação por máquina. De certo que ela está plenamente alinhada com as tendências da Inteligência Artificial, *BigData*, *IoT* e robotização da Indústria 4.0 e terá a computação como grande aliada para redução de custos e riscos.

Por fim, cabe informar que esse trabalho concentrou o estudo de prospecção na realidade tecnológica atual, considerando então a atual disponibilidade de produtos e serviços. Ainda dentro das perspectivas da prospecção tecnológica, pode ser sugerido para trabalhos futuros estudos de *roadmapping*, para entender as perspectivas de cenários a médio e longo prazos, valendo-se de análises de dados de bases de patentes e artigos.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **Catálogo de Normas. ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em: 1 mar. 2019.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NM 315:2017**. Ensaio não destrutivo — Ensaio Visual — Requisitos e práticas recomendadas. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=382558>. Acesso em: 10 mai. 2019.
- ANSI/ASSP – American National Standards Institute & American Society of Safety Professionals. **A10.48 Standard - Criteria for Safety Practices with the Construction, Demolition**. Modification and Maintenance of Communications Structures, 2016.
- ANTUNES A. M. S.; PARREIRAS, V. M. A.; QUINTELA, C. M.; RIBEIRO, N. M. **Métodos de Prospecção Tecnológica, Inteligência Competitiva e Foresight**: Principais Conceitos e Técnicas – Salvador (BA): IFBA, 2018. 194 p. – PROFNIT, Prospecção tecnológica; V.1 ISBN: 978-85-67562-24-7.
- API – American Petroleum Institute. **Guide for Developing an Unmanned Aircraft Systems Program**, 2019. Disponível em: <https://www.api.org/~media/Files/Policy/Safety/API-Guide-for-Developing-a-UAS-Program-in-the-Oil-and-Natural-Gas-Industry.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2019.
- ASTM – American Society for Testing and Materials. **D610 – 08 Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces**, 2019. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D610.htm>. Acesso em: 30 mai. 2019.
- BOEDECKER, H. Money Talks: Drone Investment Trends Update, 2019. **DRONEII.COM**. Drone Industry Insights. Disponível em: <https://www.droneii.com/drone-investment-trends-update>. Acesso em: 1 nov. 2019.
- BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. **Technology Roadmap: Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia**. 1ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, ISBN 978-85-7193-386-6, 2016.
- BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. NR 35 – Trabalho em Altura, 2016. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR35/NR-35-2016.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2017.
- BRASIL. **Ministério da Economia, Secretaria de Previdência**. Anuário Estatístico da Previdência Social – AEPS, 2016. Disponível em: <http://www.previdencia.gov.br/dados-abertos/dados-abertos-previdencia-social/>. Acesso em: 21 jan. 2019.
- CASTELLANO, F. Commercial Drones Are Revolutionizing Business Operations, 2019. **TOPTAL**. Disponível em: <https://www.toptal.com/finance/market-research-analysts/drone-market>. Acesso em: 10 out. 2017.
- COHN, P.; GREEN, A.; LANGSTAFF, M.; ROLLER, M. Commercial drones are here: The future of unmanned aerial systems. **MCKINSEY Capital Projects & Infrastructure**, 2017.

COSTA, F. G. DA. Manutenção e Avaliação Estruturas Metálicas com Ensaio Não Destrutivos, 2012. **Construmetal** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica. ABCEM. 2012. Disponível em: [https://www.abcem.org.br/construmetal/2012/arquivos/Cont-tecnicas/apresentacoes/30\\_MANUTENCAO-E-AVALIACAO-ESTRUTURAS-METALICAS-COM-ENSAIOS-NAO-DESTRUTIVOS.pdf](https://www.abcem.org.br/construmetal/2012/arquivos/Cont-tecnicas/apresentacoes/30_MANUTENCAO-E-AVALIACAO-ESTRUTURAS-METALICAS-COM-ENSAIOS-NAO-DESTRUTIVOS.pdf). Acesso em: 1 abr. 2019.

DEMIR, K. A.; CICIBAS, H.; ARICA, N. Unmanned Aerial Vehicle Domain: Areas of Research. **Defence Science Journal**, v. 65, n. 4, p. 319-329, 20 Jul. 2015.

DJI - **PHANTOM 4 RTK**. Visionary Intelligence. Elevated Accuracy, 2019. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4-rtk>. Acesso em: 4 nov. 2019.

DRURY, C.; WATSON, J. Good Practices in Visual Inspection. 2002. **Research Gate**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267548062/download>. Acesso em: 16 ago. 2018.

EUA. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. **Visual Inspection Research Project Report on Benchmark Inspections**, 1996. Disponível em [https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/12923/dot\\_12923\\_DS1.pdf?](https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/12923/dot_12923_DS1.pdf?). Acesso em: 1 abr. 2019.

EUA. U.S. Department of Transportation – United States Coast Guard. **Tower Manual**, 2002. Disponível em: [https://media.defense.gov/2017/Mar/29/2001723584/-1/-1/0/CIM\\_11000\\_4A.PDF](https://media.defense.gov/2017/Mar/29/2001723584/-1/-1/0/CIM_11000_4A.PDF). Acesso em: 12 abr. 2019.

EUA – **OSHA Occupational Safety and Health Administration**. Communication Tower Best Practices, 2017. FCC Federal Communications Commission. Disponível em: <https://www.osha.gov/Publications/OSHA3877.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2019.

FAA - Federal Aviation Administration. **AC-43-204 43-204 - Visual Inspection for Aircraft**, 1997. Disponível em: [http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/43-204.pdf](http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/43-204.pdf). Acesso em: 23 mar. 2019.

FAA – Federal Aviation Administration. **Faalc Site Services Uis Tower Inspection Report Data**, 2015. Disponível em: <https://faaco.faa.gov/index.cfm/attachment/download/92519>. Acesso em: 23 mar. 2019.

FLYABILITY. **Drones Camera Resolution: Three Metrics You Should Know About**, 2019. FLYABILITY ARTICLES. Disponível em: <https://www.flyability.com/articles-and-media/drones-camera-resolution-three-metrics-you-should-know-about>. Acesso em: 01 nov. 2019.

FORSYTH, D. S.; YOLKEN, H. T.; MATZKANIN, G. A. Tech Solutions: A Brief Introduction to Nondestructive Testing, 2006. **AMMTIAC**, Quartely, Volume 1, Number 3. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.383.7049&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 01 mai. 2019.

GARTNER. Gartner Says Almost 3 Million Personal and Commercial Drones Will Be Shipped in 2017, 2017. **GARTNER, Inc. Research And Advisory Company**. Disponível em: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3602317>. Acesso em: 25 nov. 2017.

GENERAZLO, E. R.; NASA DOEPOD NDE Capabilities Data Book, 2015, **National Aeronautics and Space Administration**, Langley Research Center, Hampton, Virginia - USA, NASA/TM-2015-218770.

IAEA – International Atomic Energy Agency. **Training Guidelines in Non-Destructive Testing Techniques**: Manual for Visual Testing at Level 2, 2013. Disponível em: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TCS\\_54\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TCS_54_web.pdf). Acesso em: 3 mai. 2019.

IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. **Norma de Inspeção Predial Nacional**, 2012. Disponível em: <http://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/12/Norma-de-Inspe%C3%A7%C3%A3o-Predial-IBAPE-Nacional.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Setor de Tecnologia da Informação e Comunicação no Brasil**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/ciencia-tecnologia-e-inovacao/9139-o-setor-de-tecnologia-da-informacao-e-comunicacao-no-brasil.html?et=oque-e>. Acesso em: 8 nov. 2018.

ISO – Organização Internacional de Normalização (ISO/PC 251). **Asset management. ISO 55001**. Asset management Management systems: Requirements. Disponível em: <https://www.iso.org/committee/604321/x/catalogue/>. Acesso em: 20 nov. 2018.

JEONG, S.; YOON, B. A systematic approach to exploring an essential patent linking standard and patent maps: application of generative topographic mapping (GTM). **American Society for Nondestructive Testing (ASNT)**, Eng. Manage. J., v. 25, p. 48–57, 2015.

KARPOWICZ, J. Reducing Cell Tower Inspection Costs by Up to 50% with Drones, 2018. **Commercial UAV News**. Disponível em: <https://www.expouav.com/news/latest/drones-used-help-reduce-cell-tower-inspections-50/>. Acesso em: 4 abr. 2019.

KERDONCUFF, H.; LIN, W-I.; WACKER, L. J. Spectroscopic techniques for corrosion detection using drones Technology review as part of work within the performance contract “Dronemetrologi”, 2017. **Dranish National Metrology Intitute**. DFM A/S, Denmark. Disponível em: [https://dfm.dk/wp-content/uploads/2019/04/technical\\_review\\_corrosion\\_ID16372\\_DFM-2017-R005\\_V1.01.pdf](https://dfm.dk/wp-content/uploads/2019/04/technical_review_corrosion_ID16372_DFM-2017-R005_V1.01.pdf). Acesso em: 15 mai. 2019.

KUPFER, D.; TIGRE, P. B. Prospecção tecnológica. In: CARUSO, L. A.; TIGRE, P. B. (org.). **Modelo SENAI de prospecção**: documento metodológico. Montevideo: OIT/CINTERFOR, 2004. (Papeis da Oficina Técnica, 4n. 14).

LLOYD’S REGISTER. Guidance Notes for Inspection using Unmanned Aircraft Systems, 2016. **Lloyd’s Register**. Disponível em: <https://www.lr.org/en/latest-news/lloyds-register-releases-guidance-notes-for-inspection-with-uas/>. Acesso em: 03 jan. 2019.

MARQUES, H. F. **Análise da Segurança no Trabalho em Torres de Telefonia: Uma Abordagem Resiliente**, 2014. Dissertação. Escola Politécnica & Escola de Química

Programa de Engenharia Ambiental, UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

MOORE, P. O. The ASNT's Non-Destructive Testing Handbook. **ASNT - The American Society For Nondestructive Testing**, Volume 9. ISBN 978-1-57117-186-3, 2010.

NACE INTERNATIONAL – International Measures of Prevention. **Application, and Economics of Corrosion Technologies Study**, 2016. Disponível em: <http://impact.nace.org/documents/Nace-International-Report.pdf>. Acesso em: 7 out. 2018.

O'CONNOR. The cognitive drone and the promise of IoT. IBM: Internet of Things blog, 2017. **IBM Blog**. Disponível em: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/iot-cognitive-drone/>. Acesso em: 18 jul. 2017.

OSHA – Occupational Safety and Health Standards. **1910 Subpart D - Walking-Working Surfaces 1910.22**, 2016. General requirements. Disponível em: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.22>. Acesso em: 2 set. 2018.

PAJARES, G. Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 81, n. 4, p. 281-329, 2015. ISSN 0099-1112.

PALATTELLA, M. R.; DOHLER, M.; GRIECO, L.A.; RIZZO, G.; TORSNER, J.; ENGEL, T.; LATIF, L. **Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture and Business Models**. IEEE JSAC, Emerging Technologies in Communications, 2016.

PANASONIC. **Camera Principles and Types, Lesson 12**. Digital Camera LUMIX – Digital Camera Know-How. Disponível em: <https://av.jpn.support.panasonic.com/support/global/cs/dsc/knowhow/knowhow12.html>. Acesso em: 3 jun. 2019.

PLAZA, J. Cell Tower Scan from Drone Harmony Transforms Expectations for Cell Tower Inspections, 2018. **Commercial UAV News**, July 12, 2018. Disponível em: <https://www.expouav.com/news/latest/cell-tower-scan-drone-harmony/>. Acesso em: 12 mar. 2019.

RAMBO, S. Flying COW drones make headway, 2018. **RCR Wireless News, Intelligence on All Things Wireless**. Disponível em: <https://www.rcrwireless.com/20180605/drones/operators-take-flight-flying-cow-drones-tag41-tag99>. Acesso em: 2 mai. 2019.

RUEDLINGER, J. Impact of New ANSI/TIA-222-H Standard on Broadcast 2018. **NAB, ERI Breakfast**, Apr 11, 2018. Disponível em: [https://www.eriinc.com/wp-content/uploads/2018/04/ERI-Breakfast\\_2018-NAB\\_222-H-Impact\\_Ruedlinger.pdf](https://www.eriinc.com/wp-content/uploads/2018/04/ERI-Breakfast_2018-NAB_222-H-Impact_Ruedlinger.pdf). Acesso em: 1 abr. 2019.

RUMMEL, W. D. A Path Forward for NDE Reliability, 2013. **5th European-American Workshop on Reliability of NDE – Lecture 1**. Disponível em: <http://www.nde-reliability.de/portals/nde-reliability2013/BB/lecture1.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2019.

RUMMEL, W. D.; HARDY, G. L.; COOPER, T. D. Applications of NDE reliability to

systems. **ASM Metals Handbook**, Ninth Edition, 17, pp 674-688, Ohio, USA, 1989.

SCHROTH, L. Drones and Artificial Intelligence, 2018. **DRONEI.COM**. Drone Industry Insights. Disponível em: <https://www.droneii.com/drones-and-artificial-intelligence>. Acesso em: 1 jun. 2019

SCOTT, A. GE begins testing drones to inspect refineries, factories - executive, 2017. **REUTERS**. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-ge-drones/exclusive-ge-begins-testing-drones-to-inspect-refineries-factories-executive-idUSKBN1940I3>. Acesso em: 3 jul. 2018.

SESAR JOINT UNDERTAKING. The Single European Sky ATM Research. **European Drones Outlook Study 2016**. Unlocking the value for Europe. Disponível em : [https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European\\_Drones\\_Outlook\\_Study\\_2016.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf). Acesso em: 17 jul. 2018.

SESAR JOINT UNDERTAKING. The Single European Sky ATM Research. **SESAR launches call to establish U-space demonstrators across Europe**, 2018. Disponível em: <https://www.sesarju.eu/news/sesar-launches-call-demonstrations-drone-integration>. Acesso em: 7 out. 2018.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação** – 3ed. rev. atual. – Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. 121p.

SITSEEE. **Telecommunications Infrastructure Intelligence**. Disponível em: <https://www.siteee.io/telecommunications>. Acesso em: 1 mar. 2019.

SNYDER, C. M. Entendendo e Prevenindo a Falha da Torre Conduzida Devido à Corrosão do Âncora de Eixo, 1994. **Broadcast Engineering Conference Proceedings**. Disponível em: [http://www.anchorguard.com/reference\\_understand.cfm](http://www.anchorguard.com/reference_understand.cfm). Acesso em: 05 mai. 2019.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo, Ed. Pini. SBN 85-7266-096-8, 1998.

SPENCER, F. W. **Visual Inspection Research Project Report on Benchmark Inspections**, 1996. U.S. Department of Transportation. FAA – Federal Aviation Administration, Washington, DC. 1996.

TELCO - Inteligência em Telecomunicações. **Tutorias em Telefonia Celular**, 2019. Disponível em: [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialerb/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialerb/pagina_1.asp). Acesso em: 19 mai. 2019.

TELCO - Inteligência em Telecomunicações. **Estações Rádio Base no Brasil por Operadora**, 2019. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/erb.asp>. Acesso em: 19 jul. 2019.

TELEBRAS. SDT 240-400-702 - 1997 - Especificações Gerais para Memória de Cálculo de Torres e Postes Metálicos, 1997. **eDOC**. Disponível em: <https://edoc.pub/queue/telebras-sdt-240-400-702-1997-especificacoes-gerais-para-memoria-de-calculo-de-torres-e-postes-metalicospdf-pdf-free.html>. Acesso em: 16 mai. 2019.

TEXO DSI. **Texo DSI and D2R Technology Announce Strategic Partnership**, 2018. Texo Gourp. Disponível em: <http://texo.co.uk/news/36>. Acesso em: 1 mai. 2019.

THOMAS, J. P. The role of drones in telecommunications tower inspection, 2017. **RCRWireless**. Disponível em: <https://www.rcrwireless.com/20170221/cell-tower-news/drones-telecommunications-tower-inspection-tag23-tag99>. Acesso em: 15 mar. 2019.

TIA/EIA – Telecommunications Industry Association & Electronic Industry Association. **222-F Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas**, 2005. Disponível em: <https://faaco.faa.gov/index.cfm/attachment/download/66449>. Acesso em: 01 mai. 2019.

TOMASTÍK, J. *ET AL.* UAV RTK/PPK Method – An Optimal Solution for Mapping Inaccessible Forested Areas, 2019. *In: MDPI – United Nations Global Compact, Remote Sensing Journal*. Remote Sens., 11, 721, 2019; doi:10.3390/rs11060721. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/6/721>. Acesso em: 19 mar. 2019.

TUNG, L. Nokia puts 'telco drones' to work inspecting cell towers, July 8, 2015. **ZDNET**. Disponível em: <https://www.zdnet.com/article/nokia-puts-telco-drones-to-work-inspecting-cell-towers/>. Acesso em: 15 mar. 2019.

VODAFONE. Rise of the Drones, 2018. **Vodafone White Paper**. Disponível em: <https://www.vodafone.com/business/news-and-insights/white-paper/the-rise-of-drones>. Acesso em: 10 abr. 2019.

WATTS, R. J.; PORTER, A. L. **Innovation Forecasting**, 1997. Technological Forecasting and Social Change 56, 25-47 (1997), Elsevier Science Inc.

WILLOUGHBY, J. **DJI Phantom 4 RTK: survey-grade accuracy confirmed!**, 2019. Disponível em: <https://www.heliguy.com/blog/2019/01/31/dji-phantom-4-rtk-accuracy-confirmed/>. Acesso em: 01 nov. 2019.

WIRELESS ESTIMATOR.CO. **Fatalities Index**. Disponível em: <http://wirelessestimator.com/content/fatalities>. Acesso em: 2 set. 2018.

YOLE DEVELOPMENT. Sensors have the lead role in the drones & robots market revolution, 2016. Press Releases. **DRONES & ROBOTS – FUNCTIONALITIES**. Disponível em: [http://www.yole.fr/Drones\\_Robots\\_Functionalities.aspx#.W-Ud2pNKiUk](http://www.yole.fr/Drones_Robots_Functionalities.aspx#.W-Ud2pNKiUk). Acesso em: 1 nov. 2018.

ZAMPIRON, I. **Avaliação das Características e Desempenho de Estruturas para Telecomunicações Visando o Projeto de Novo Modelo de Torre Autoportante**, 2008. Dissertação - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

ZHANG, H. *ET AL.* Improved multi-position calibration for inertial measurement units, 2010. **Measurement Science and Technology**, Volume 21, Number 1. Published 23 November 2009, 2010, IOP Publishing Ltd.

## ANEXO A - CHECK LIST DE INSPEÇÃO DE TORRE

Item	Descrição
1	<b>Identificação</b> Verificar se o equipamento possui a etiqueta / placa de identificação legível e em perfeito estado de conservação.
2	<b>Sistema de sinalização noturna</b> Verificar se existe o sistema de sinalização noturna e as condições de conservação e funcionamento, incluindo tubulação, caixas de passagem, cabeção, fotocélulas, lâmpadas, etc.
3	<b>Pintura e conservação geral</b> Verificar estado geral de conservação da torre, pintura e aparência da estrutura vertical.
4	<b>Fundação / Base de Fixação</b> Verificar estado de conservação e aparência da fundação e das bases / sapatilhas de fixação da estrutura vertical.
5	<b>Elementos de Fixação: Chumbadores / Porcas e Contra - Porcas / Chapa de Apoio</b> Verificar o estado de conservação ou ausência de elementos de fixação da estrutura vertical em sua base, como chumbadores, parafusos, porcas e contra-porcas, arruelas, placas de apoio e assemelhados.
6	<b>Sistemas de sustentação / Estais</b> Verificar o estado de conservação dos estais, bitola dos cabos de aço, ausência de corrosão, cortes, amassamentos, etc.
7	<b>Estrutura / Perfis / Montantes / Diagonais / Horizontais / Chapas / Talas de União</b> Verificar estado de conservação do corpo da estrutura vertical, avaliando a existência de peças danificadas e pontos de corrosão.
8	<b>Sistemas de acesso à estrutura vertical</b> Verificar a existência e o estado de conservação dos sistemas de acesso, como escadas, plataformas de descanso e trabalho, guarda-corpos e cabos trava-quedas.
9	<b>Sistemas de segurança</b> Avaliar a existência e o estado de conservação dos sistemas de segurança de pessoas, como tramelas, fixadores de plataformas, fixadores de alçapões, cabo trava-quedas, guarda-corpo, etc.
10	<b>Estruturas de sustentação e proteção dos cabos e guias de onda</b> Verificar a existência e o estado de conservação das esteiras, posicionamento e alinhamento das mesmas. Verificar também se as esteiras estão presas com todos os parafusos, existência de cobertura na esteira horizontal e pontos de corrosão.
11	<b>Conectores</b> Verificar se os conectores do equipamento estão devidamente dispostos, firmes e bem conservados.
12	<b>Cabeção</b> Verificar se: - os cabos estão bem acomodados no devido lugar, amarrados e, quando for o caso, identificados; - existem cabeção desativada e <i>jumpers</i> soltos; - existem cabos de RF e Guias de Onda desativados.
13	<b>QCAB: Box / Quadro / Fixação / Chapa de Cobertura / Aterramento da Carcaça / Alimentação AC/DC / Fiação (anilhas).</b> Verificar as conexões dos cabos, a existência da chapa de cobertura da curva de concordância. Verificar também se a estrutura do quadro está aterrada e se a distância está dentro do estabelecido.
14	<b>Sistema de aterramento do equipamento</b> Verificar: - existência e estado de conservação do sistema de aterramento; - vinculação da estrutura vertical à malha de aterramento da Estação; - estado das caixas de inspeção, das hastes, dos espaçadores e dimensionamento e estado de conservação dos cabos utilizados. - deve-se medir a resistência ôhmica entre o equipamento e a barra de terra da estação.
15	<b>Sistemas de para-raios</b> Verificar as conexões do para-raios, sua estrutura e fixação, o estado do aterramento e pontos de corrosão.

Fonte: Análise da Segurança no Trabalho em Torres de Telefonia: Uma Abordagem Resiliente (Marques, 2014).

## ANEXO B - DIRETRIZES DE AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO E DE MANUTENÇÃO DA TIA/EIA-222

ANSI/TIA-222-G

### ANNEX J: MAINTAINANCE AND CONDITION ASSESSMENT (Normative)

This annex provides checklists for: (a) maintenance and condition assessment, and (b) field mapping of structures and appurtenances.

Note: This annex does not provide means and methods for RF protection.

#### J.1 Maintenance and Condition Assessment

- A) Structure Condition
  - 1) Damaged members (legs and bracing)
  - 2) Loose members
  - 3) Missing members
  - 4) Climbing facilities, platforms, catwalks – all secure
  - 5) Loose and/or missing bolts and/or nut locking devices
  - 6) Visible cracks in welded connections
  
- B) Finish
  - 1) Paint and/or galvanizing condition
  - 2) Rust and/or corrosion condition including mounts and accessories
  - 3) FAA or ICAO color marking conditions
  - 4) Water collection in members (to be remedied, e.g., unplug drain holes, etc.)
  
- C) Lighting
  - 1) Conduit, junction boxes, and fasteners (weather tight and secure)
  - 2) Drain and vent openings (unobstructed)
  - 3) Wiring condition
  - 4) Light lenses
  - 5) Bulb condition
  - 6) Controllers (functioning)
    - a) Flasher
    - b) Photo control
    - c) Alarms
  
- D) Grounding
  - 1) Connections
  - 2) Corrosion
  - 3) Lightning protection (secured to structure)
  
- E) Antennas and Lines
  - 1) Antenna condition
  - 2) Mount and/or ice shield condition (bent, loose, and/or missing members)
  - 3) Feed line condition (flanges, seals, dents, jacket damage, grounding, etc.)
  - 4) Hanger condition (snap-ins, bolt on, kellum grips, etc.)
  - 5) Secured to structure
  
- F) Other appurtenances (walkways, platforms, sensors, floodlights, etc.)
  - 1) Condition
  - 2) Secured to structure

ANSI/TIA-222-G

- G) Insulator Condition
- 1) Cracking and chipping
  - 2) Cleanliness of insulators
  - 3) Spark gaps set properly
  - 4) Isolation transformer condition
  - 5) Bolts and connection secure
- H) Guys
- 1) Strand condition (corrosion, breaks, nicks, kinks, etc.)
  - 2) Guy Hardware Conditions
    - a) Turnbuckles or equivalent (secure and safety properly applied)
    - b) Cable thimbles properly in place (if required)
    - c) Service sleeves properly in place (if required)
    - d) Cable connectors (end fittings)
      - (i) Cable clamps applied properly and bolts tight
      - (ii) Wire serving properly applied
      - (iii) No signs of slippage or damaged strands
      - (iv) Preformed wraps – properly applied, fully wrapped, and sleeve in place
      - (v) Poured sockets secure and showing no separation
      - (vi) Shackles, bolts, pins and cotter pins secure and in good condition
  - 3) Guy Tensions
  - 4) Measure guy tensions (refer to Annex K)
  - 5) Record temperature, wind speed and wind direction

## Notes:

- 1) Minor variations in guy tensions are to be expected due to temperature and low wind speed conditions. The cause of significant changes should be determined immediately and proper remedial action taken. Possible causes may be initial construction loosening, previously experienced extreme wind or ice, anchor movements, base settlement, or connection slippage.
- 2) Tension variations at a single level are to be expected because of anchor elevation differences, construction deviations, and wind effects.

- I) Concrete Foundations
- 1) Ground condition
    - a) Settlement, movement or earth cracks
    - b) Erosion
    - c) Site condition (standing water, drainage, trees, etc.)
  - 2) Anchorage condition
    - a) Nuts and/or nut locking device (tightened)
    - b) Grout condition
    - c) Anchorages and/or anchor rod condition
  - 3) Concrete condition
    - a) Cracking, spalling, or splitting
    - b) Chipped or broken concrete
    - c) Honeycombing
    - d) Low spots to collect moisture

- J) Guyed Mast Anchors
  - 1) Settlement, movement or earth cracks
  - 2) Backfill heaped over concrete for water shedding
  - 3) Anchor rod condition below earth (Maintain required structural capacity of anchor during exploration. Attachment to temporary anchorage may be required)
  - 4) Corrosion control measures (galvanizing, coating, concrete encasement, cathodic protection systems, etc.)
  - 5) Anchor heads clear of earth
- K) Tower Alignment
  - 1) Tower Plumb and Twist (See Figures J-1 and J-2)

## J.2 Field Mapping

### J.2.1 Mapping of Appurtenances

The mapping of appurtenances shall provide sufficient dimensional data in order to calculate the effective projected area, weight and location of all appurtenances.

The mapping of appurtenances shall include, as a minimum:

- A) Inventory of existing antennas: Elevation, antenna type and dimensions/model number, support mount and location, spacing and orientation on cross-section, and corresponding transmission line(s).
- B) Inventory of other appurtenances (such as climbing ladders, platforms, etc.): Elevation, appurtenance type and dimensions, location, spacing and orientation on cross-section.
- C) A cross-section sketch locating and labeling the transmission lines (size and spacing) and showing the orientation of the lines and the structure with respect to North. For transmission lines in clusters: number of lines per row, number of rows, and separation between the lines, overall width and depth dimensions.

### J.2.2 Mapping of Structural Components

In order to perform an analysis of a structure, the structural configuration and the size of all structural members must be mapped in order to calculate wind loading and member capacities.

The mapping of the structure and its main structural members shall include, as a minimum:

#### J.2.2.1 Self-Supporting Latticed Structures

- A) Sketch of overall structure numbering all sections.
- B) The Configuration of each section:
  - 1) Section height
  - 2) Panel height and number of panels
  - 3) Configuration of the panels (X, X with horizontal, K)
  - 4) Face width (Center to Center of legs) at all taper change locations.
  - 5) Sketch indicating the above for each typical section
- C) Member sizes for each section:
  - 1) Leg member sizes - i.e. pipe diameter (outside diameter & wall thickness using ultra sound device), solid round diameter, or angle size & thickness (60 deg. or 90 deg.)
  - 2) Diagonal member sizes - i.e. pipe diameter (outside diameter & wall thickness using ultra sound device), angle size, thickness and orientation (long leg back to back, LLBB, or short leg back to back, SLBB)

## ANSI/TIA-222-G

- 3) Horizontal member sizes - i.e. pipe diameter (outside diameter & wall thickness using ultra sound device), angle size, thickness and orientation (LLBB, SLBB)
- 4) Subbrace member sizes (if applicable) - i.e. pipe diameter (outside diameter & wall thickness using ultra sound device), angle size, thickness and orientation (LLBB, SLBB)

**J.2.2.2 Guyed Masts**

- A) Structure base type (fixed or pinned) and tapered or flat base
- B) Guy anchor dimensions: distance from base to guy anchors and their relative elevations to base and their orientation.
- C) Sketch of overall structure numbering all sections. Locate and label all guy wire levels.
  - 1) The configuration of each Section:
  - 2) Section height
  - 3) Panel height and number of panels
  - 4) Configuration of the panels (X, X with horizontals, K)
  - 5) Face width (center to center of legs) at all taper change locations
  - 6) Sketch indicating the above for each typical section
- D) Member sizes for each section:
  - 1) Leg member sizes - i.e. pipe diameter (outside diameter & wall thickness using ultra sound device), solid round diameter, angle size & thickness (60 deg. or 90 deg.)
  - 2) Diagonal member sizes - i.e. pipe diameter (outside diameter & wall thickness using ultra sound device), angle size, thickness and orientation (long leg back to back, LLBB, or short leg back to back, SLBB)
  - 3) Horizontal member sizes - i.e. pipe diameter (outside diameter & wall thickness using ultra sound device), solid round diameter, angle size, thickness and orientation (LLBB, SLBB)
  - 4) Subbrace member sizes (if applicable) - i.e. pipe diameter (outside diameter & wall thickness using ultra sound device), angle size, thickness and orientation (LLBB, SLBB)
- E) Guy wire elevation, size and type for each guy level

**J.2.2.3 Pole Structures**

- A) Sketch of overall structure numbering all sections.
- B) Configuration of each section:
- C) Section height - For flanged type, the length from splice to splice. For telescoping poles, the length from butt to butt
- D) If multi-sided, number of sides
- E) Flat to flat dimension or diameter and circumference at top and bottom of each section
- F) Port hole opening size, reinforcing and location
- G) Size for each Section:
  - 1) Wall thickness of each section

**J.2.2.4 Connections**

In order to perform a rigorous structural analysis of a structure the details of all structural connections must be mapped in order to calculate connection capacities.

The mapping of the structure connections shall include, as a minimum, the following:

- A) Member end connection details:
- B) If Bolted: number, type and size of end bolts and center bolts
- C) Size and thickness of gusset plate with related details (hole sizes, edge distances, weld size and length)
- D) If Welded: weld size and length of end and center connections

## ANSI/TIA-222-G

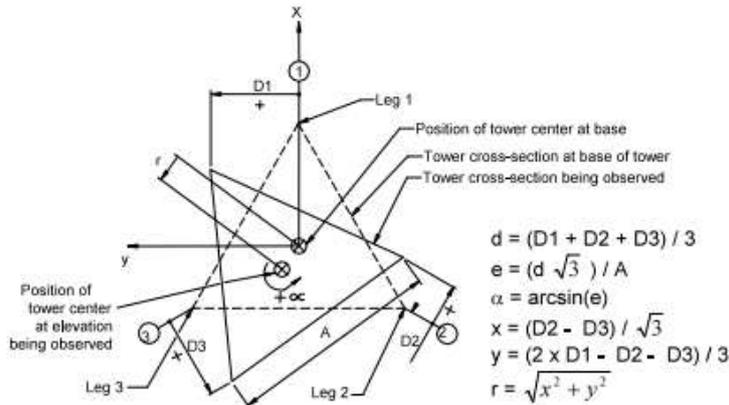
- E) Splice connection details:
- F) Number, type and size of bolts
- G) Size and thickness of splice plate with related details (hole sizes, edge distances, weld size and length,) and distance from panel intersection point
- H) Anchor rod type, size, number, and bolt circle
- I) Guy Assembly and connection details:
- J) Preformed size/type, turnbuckle size, shackle size
- K) Socket size, pin size, link plate dimensions with related details
- L) Size and thickness of guy pull-off plate with related details (hole sizes, edge distances, weld size and length, stiffener size)
- M) Guy anchor head plate size, thickness, holes size, spacing, and edge distances of holes, shaft type, size and extension length and angle from horizontal plane and weld size and length of connection between shaft and fan plate

ANSI/TIA-222-G

Site Name: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Wind: \_\_\_\_\_ Temperature: \_\_\_\_\_

The transit is to be set up on each leg azimuth at the base of the tower. The corresponding tower leg at the base of the tower is used to set the vertical baseline. The deflection at each point of interest on the tower is measured from this vertical baseline, as shown below.



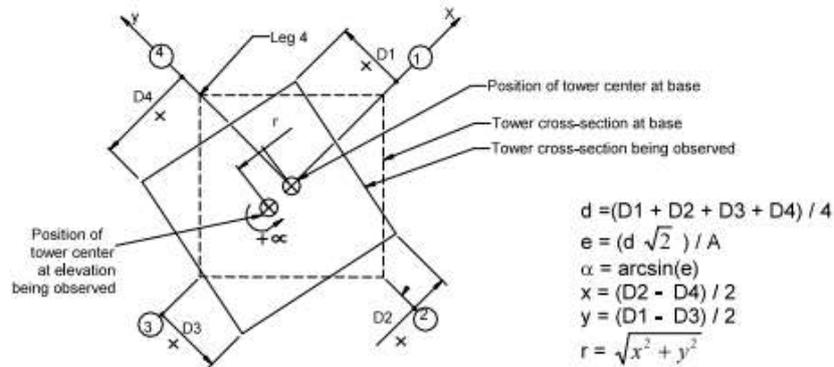
OBSERVED LEG DISPLACEMENTS					CALCULATED TWIST			CALCULATED OUT-OF-PLUMB		
SIGHTED ELEV ft [m]	A in [mm]	D1 in [mm]	D2 in [mm]	D3 in [mm]	d in [mm]	e	$\alpha$ deg.	x in [mm]	y in [mm]	r in [mm]

Figure J-1: Twist and Out-of Plumb Determination for Triangular Towers

Site Name: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Wind: \_\_\_\_\_ Temperature: \_\_\_\_\_

The transit is to be set up on each leg azimuth at the base of the tower. The corresponding tower leg at the base of the tower is used to set the vertical baseline. The deflection at each point of interest on the tower is measured from this vertical baseline, as shown below.



OBSERVED LEG DISPLACEMENTS						CALCULATED TWIST			CALCULATED OUT-OF-PLUMB		
SIGHTED ELEV ft [m]	A in [mm]	D1 in [mm]	D2 in [mm]	D3 in [mm]	D4 in [mm]	d in [mm]	e	alpha deg.	x in [mm]	y in [mm]	r in [mm]

Figure J-2: Twist and Out-of-Plumb Determination for Square Towers