

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MIKE DUARTE

**O ESTADO DA ARTE QUANTO À UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO
TRIPULADOS (VANTs) PARA O LEVANTAMENTO DE DEFEITOS SUPERFICIAIS
EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2020**

MIKE DUARTE

**O ESTADO DA ARTE QUANTO À UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO
TRIPULADOS PARA O LEVANTAMENTO DE DEFEITOS SUPERFICIAIS EM
PAVIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Rinaldi
Bisconsini

Pato Branco
2020

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

O ESTADO DA ARTE QUANTO À UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA O LEVANTAMENTO DE DEFEITOS SUPERFICIAIS EM PAVIMENTOS

Por
Mike Duarte

Monografia apresentada às 14 horas 00 min. do dia 14 de agosto de 2020 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Jairo Trombetta	Membro
Prof. Henrique Felipetto	Membro
Prof. Danilo Rinaldi Bisconsini	Orientador
Prof. Elizangela Marcelo Siliprandi	Professor(a) responsável TCCII



Documento assinado eletronicamente por ELIZANGELA MARCELO SILIPRANDI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/08/2020, às 10:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por DANILLO RINALDI BISCONSINI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 21/08/2020, às 11:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por JAIRO TROMBETTA, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 31/08/2020, às 12:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por HENRIQUE DOS SANTOS FELIPETTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 31/08/2020, às 13:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Mike Duarte, Usuário Externo, em 31/08/2020, às 15:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1571273 e o código CRC 6F71D78B.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio incondicional, em especial ao meu filho, Davi M.M. Duarte, pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus** pelo dom da vida.

Deixo registrado meu agradecimento e reconhecimento à minha família. Sem vocês, nada disso seria possível. Mariene Duarte, minha mãe, Érica Duarte, minha vó, vocês foram meu suporte e minha fortaleza; Kelliane Marques, minha amada, Davi Duarte, meu filho, vocês foram minha fonte de inspiração.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Danilo Rinaldi Bisconsini, pela paciência e sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Gostaria de agradecer a todos os professores que contribuíram para minha formação, em especial ao Prof. Dr. Angel Akio Tateish pelo apoio e pelos conselhos.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

As verdades mais preciosas são aquelas que se descobrem por último; mas as verdades mais preciosas vêm a ser os métodos.

(Nietzsche)

RESUMO

DUARTE, Mike. **O estado da arte quanto à utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados para o levantamento de defeitos superficiais em pavimentos.** 2020. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2020.

Os defeitos superficiais em pavimentos rodoviários são uma preocupação que possui caráter econômico, de segurança e conforto aos usuários. Os métodos tradicionais de levantamento de tais defeitos são caros, demorados, bloqueiam o tráfego e trazem riscos aos técnicos envolvidos. Diante disso, e buscando aproveitar as novas tecnologias emergentes, tais como os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), pesquisadores e instituições de ensino e pesquisa têm trabalhado para desenvolver métodos de aplicações dessas tecnologias para o levantamento de defeitos superficiais em pavimentos, buscando uma otimização do tempo e dos recursos financeiros envolvidos nesse processo. Por se ter inúmeras pesquisas acadêmicas relacionando temas como VANTs e Defeitos Superficiais dos Pavimentos, a realização de um estudo bibliográfico sobre esse tema é importante, uma vez que pesquisas dessa natureza são fundamentais e apresentam de forma sintetizada trabalhos acadêmicos do tema proposto, mostrando quando, como e com quais métodos e materiais os trabalhos acadêmicos estão sendo feitos. Portanto, este trabalho busca responder a essas questões por meio de uma revisão bibliográfica sobre pesquisas envolvendo temas relacionados ao uso de VANTs para a identificação de defeitos superficiais em pavimentos. Discute-se as técnicas e metodologias envolvidas nessas pesquisas e apresentam-se os principais resultados e as possíveis lacunas de tais trabalhos. De modo geral, alguns resultados mostraram-se promissores, com alta porcentagem de acerto de defeitos como trincas, panelas e remendos. Destaca-se ainda algumas dificuldades em relação aos algoritmos utilizados e métodos de VANTs na prática de Gerência de Pavimentos.

Palavras-chave: Veículo Aéreo Não Tripulado. Levantamento de Defeitos. Pavimento. Estado da Arte. VANT.

ABSTRACT

DUARTE, Mike. **The state of the art regarding the use of Unmanned Aerial Vehicles to survey surface defects in pavements.** 2020. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2020.

Surface defects in road pavements are a concern that has an economic, safety and comfort to users. Traditional methods of surveying such defects are expensive, time-consuming, block traffic and pose risks to the technicians involved. Therefore, and seeking to take advantage of new emerging technologies, such as Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), researchers and teaching and research institutions have been working to develop methods of applying these technologies to survey surface defects in pavements, seeking an optimization the time and financial resources involved in this process. Because there are countless academic researches relating to topics such as UAVs and Surface Defects of Pavements, the realization of a bibliographic study on this theme is important, since researches of this nature are fundamental and present in a summarized academic work the proposed theme, showing when, how and with what methods and materials academic work is being done. Therefore, this work seeks to answer these questions through a bibliographic review on research involving themes related to the use of UAVs for the identification of surface defects in pavements. The techniques and methodologies involved in these researches are discussed and the main results and possible gaps in such works are presented. In general, some results have shown promise, with a high percentage of correct defects such as cracks, pans and patches. It also highlights some difficulties in relation to the algorithms used and UAV methods in the practice of Pavement Management.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle. Defects Identification. Pavement. State of the Art. UAV.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: PIB do setor de Transportes, Armazenagem e Correios e o PIB Real versus PIB Real	18
Figura 2: Densidade rodoviária em diferentes países	19
Figura 3: Sistema de Gerência de Pavimento	20
Figura 4: Seção transversal de um pavimento	22
Figura 5: Estruturas dos pavimentos mais comuns.....	23
Figura 6: Trincas por fadiga em pavimento flexível	25
Figura 7: Trincas em blocos	25
Figura 8: Trincas nos bordos em pavimento flexível	26
Figura 9: Trincas longitudinais em pavimento flexível	26
Figura 10: Trincas transversais por reflexão	27
Figura 11: Trincas Longitudinais por reflexão.....	27
Figura 12: Trincas em blocos por reflexão	27
Figura 13: Afundamento de trilha de roda	28
Figura 14: Ondulação	28
Figura 15: Escorregamento	29
Figura 16: Esxudação	29
Figura 17: Desgaste	30
Figura 18: Painel ou Buraco.....	31
Figura 19: Remendo em pavimento flexível	31
Figura 20: Quadro resumo dos defeitos	32
Figura 21: Elementos essenciais de um Sensoriamento Remoto	34
Figura 22: Elementos essenciais de um SR.....	36
Figura 23: Diferentes níveis de aquisição de dados em um SR	36
Figura 24: a) Imagem digital; (b) área em zoom de grupo de pixels em valores de cinza; (c) correspondentes	37
Figura 25: Histórico da Fotogrametria	41
Figura 26: Fluxograma para o mapeamento pelo processo Fotogramétrico	42
Figura 27: Superposição entre fotografias. (a) vista superior de duas faixas mostrando a superposição longitudinal e a superposição lateral; (b) perfil esquemático mostrando a cobertura longitudinal de cada fotograma	43
Figura 28: VANTs de asa rotativa (esquerda) e asa fixa (direita).....	45
Figura 29: VANTs Híbridos. a) Modelo Phantom Swift; b) Modelo SLT	46
Figura 30: Fluxograma da Solicitação de Autorização para Operação de RPA	50
Figura 31: Macrovisão da metodologia MANIAC.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 32: Resultado da metodologia e saída do algoritmo de Petkova para identificação de defeitos do tipo Painelas	Erro! Indicador não definido.

Figura 33: Comparativo entre parcela de áreas de remendos identificados	67
Figura 34: Métodos de classificação e algoritmos utilizados	71
Figura 35: Tempo necessário para a execução de cada uma das metodologias. Erro! Indicador não definido.	
Figura 36: Fluxograma do experimento de detecção dos defeitos nos pavimentos ..	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Componentes de um Sensoriamento Remoto.....	35
Quadro 2: Quadro-resumo dos trabalhos analisados.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos VANTs	47
Tabela 2: Classificação dos VANTS segundo o DoD, Estados Unidos.....	48
Tabela 3: Classificação dos RPAs conforme ANAC.....	49
Tabela 4: Resultados dos experimentos	62
Tabela 5: Defeitos identificados nos experimentos	63
Tabela 6: IGG e IGGE para os experimentos.....	63
Tabela 7: Resultados dos algoritmos classificadores em Pan et al. (2018)	75

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
BMP	Bitmap
BVLOS	<i>Beyond Visual Line of Sight</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAVE	Certificado de Autorização de Voo Experimental
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DOD	<i>Department of Defense</i>
ENVI	<i>Environment for Visualizing</i>
ER-MAPPER	<i>Earth Resource Mapping</i>
EVLOS	<i>Extended Visual Line of Sight</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
HALE	<i>High Altitude Long Endurance</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP	Índice de Condição do Pavimento
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IGG	Índice de Gravidade Global
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
IS	Instrução Suplementar
JPEG	<i>Joint Photographics Experts Group</i>
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
KNN	<i>K-Nearest Neighbours</i>
LVC	Levantamento Visual Contínuo
MALE	<i>Medium Altitude Long Endurance</i>
MANIAC	<i>Methodology for Asphalt Automatic Characterization</i>
MAV	<i>Micro Air Vehicle</i>
MDS	Modelo Digital de Superfície
MP	Megapixel
MSI	<i>MultiSpectral Imagery</i>

MUAV	<i>Mini UAV</i>
NAV	<i>Nano Air Vehicle</i>
NIR	<i>Near Infrared</i>
PCI	<i>Pavement Condition Index</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PMD	Peso Máximo de Decolagem
PNG	<i>Portable Network Graphics</i>
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação
RBHA	Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica
REM	Emissão da Radiação Eletromagnética
RF	<i>Random Forest</i>
RGB	<i>Red, Gren and Blue</i>
RPA	Remotely-Piloted Aircraft
RPAS	<i>Remotely-Piloted Aircraft System</i>
SARP	Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada
SANT	Sistema de Aeronave Não Tripulada
SHRP	<i>Strategic Highway Research Program</i>
SGP	Sistema de Gerência de Pavimento
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SR	Sensoriamento Remoto
STI	Sistema de Transporte Inteligente
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIFF	<i>Tagged Image File Formart</i>
TUAV	<i>Tactical UAV</i>
UAS	<i>Unmanned Aerial System</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VLOS	<i>Visual Line of Sight</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Geral.....	14
1.1.2 Específico	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 PESQUISAS DENOMINADAS DE “ESTADO DA ARTE”	17
2.2 IMPORTÂNCIA E CONDIÇÕES DAS RODOVIAS FEDERAIS DO BRASIL	18
2.3 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS (SGP)	19
2.4 PAVIMENTOS E SEUS DEFEITOS	22
2.4.1 Fenda (F)	24
2.4.1.1 Trincas por fadiga	24
2.4.1.2 Trincas em blocos.....	25
2.4.1.3 Trincas nos bordos.....	25
2.4.1.4 Trincas longitudinais	26
2.4.1.5 Trincas por reflexão	26
2.4.2 Afundamento (A).....	28
2.4.3 Ondulação ou Corrugação (O).....	28
2.4.4 Escorregamento (E).....	29
2.4.5 Esxudação (EX)	29
2.4.6 Desgaste (D).....	30
2.4.7 Panela ou Buraco (P).....	30
2.4.8 Remendo (R)	31
2.5 SENSORAMENTO REMOTO.....	32
2.5.1 Imagem de Sensoriamento Remoto	37
2.6 FOTOGRAMETRIA.....	38
2.6.1 Aerofotogrametria	41
2.7 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT).....	43
2.7.1 Regulamentação.....	48
2.7.2 Aplicações Diversas.....	51
2.7.2.1 Canteiro de obras e inspeção de estruturas	52
2.7.2.2 Transportes.....	52
3 MÉTODO	54
3.1 MATERIAL	54
3.2 TÉCNICA	55
3.3 PROCEDIMENTO.....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE VANTS NA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS.....	76

5 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

A condição dos pavimentos das rodovias afeta a segurança e o conforto, o custo operacional dos veículos e o tempo de viagem. Na busca por otimizar as tais condições dos pavimentos rodoviários e garantir uma mobilidade satisfatória em todos os sentidos e para todos os usuários, o Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) mostra-se como uma ferramenta necessária e imprescindível (OLIVEIRA, 2013).

Um SGP efetivo e operante necessita da disponibilidade de dados atualizados da condição dos pavimentos das rodovias para que se faça uma avaliação e apontamento dos melhores programas de manutenção (RAGNOLI et al., 2018).

Nas últimas décadas, muitos pesquisadores têm voltado a atenção para soluções de detecção da deterioração do pavimento (tais como trincas e panelas) usando uma grande variedade de recursos tecnológicos voltados tanto para a aquisição de dados quanto para a qualificação e quantificação dessas informações. Esse conjunto de ferramentas tecnológicas (sensores remotos, tecnologia da informação, sistema de comunicação de dados, entre outros) são chamados de Sistemas de Transportes Inteligentes (STI) (BRANCO, 2016). Uma dessas ferramentas são os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), ou seja, aeronaves projetadas para operar remotamente e sem a presença de um piloto a bordo. Os VANTs, quando utilizados em conjuntos com sensores digitais (câmeras fotográficas, por exemplo) possuem diversas aplicações, variando de fotos e vídeos para *marketing*, inspeção de canteiro de obras, análises de redes elétricas de alta tensão, monitoramento de barragens e etc. Sendo assim, o enfoque deste trabalho serão as pesquisas envolvendo VANTs para o levantamento de defeitos superficiais nos pavimentos rodoviários.

Na busca de se organizar o conhecimento, estudos do tipo “Estado da Arte” são recorrentes nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, possuindo inclusive centros de estudos para a realização de tais trabalhos, como é o caso do *UK Cochrane Centre*, uma referência em revisões na área da saúde e a *Campbell Collaboration* focada na área social e educacional (VOSGERAU; ROMANOWSKI, 2014). Estes estudos são comuns em áreas como a medicina e as ciências humanas (Educação), mas não se restringem a esses campos do conhecimento.

No sentido de mostrar o Estado da Arte com pesquisas envolvendo Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) para o levantamento de defeitos superficiais em pavimentos rodoviários é que este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) se embasa, buscando apresentar os métodos empregados, os equipamentos utilizados, os locais de estudo, as dificuldades e limitações, os resultados e as possíveis lacunas existentes nesse ramo do conhecimento.

1.1 OBJETIVOS

Investigar os avanços e possibilidades de aplicação de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) para o levantamento de defeitos superficiais dos pavimentos rodoviários.

1.1.1 Geral

Investigar o Estado da Arte quanto ao uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) para o levantamento de defeitos superficiais nos pavimentos rodoviários.

1.1.2 Específico

- Investigar métodos empregados para a identificação de defeitos superficiais em pavimentos rodoviários através de VANTs;
- Analisar e apontar quais são os novos caminhos e desafios para o desenvolvimento e aplicação da tecnologia dos VANTs para a identificação de defeitos em pavimentos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Num país de extensões continentais como é o caso do Brasil, a preservação e o monitoramento das rodovias é algo de suma importância. Os defeitos superficiais em pavimentos rodoviários são uma preocupação que possui caráter econômico, de segurança e conforto aos usuários. De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2019), os defeitos encontrados nas rodovias nacionais foram responsáveis, somente no ano de 2019, por um aumento de 28,5% do custo operacional do transporte, além de uma perda de 900 bilhões somente em litros de diesel, sendo que, além do caráter econômico, este fato também agrava a emissão de Dióxido de Carbono (CO₂).

No que se refere à segurança viária, tem-se verificado um crescente aumento do número de acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras, acarretando perdas financeiras estimadas em 10 bilhões de reais ao ano (CNT, 2019), colocando o Brasil como um dos países mais perigosos para se dirigir no mundo (WHO, 2018).

Outro problema das rodovias nacionais é a dificuldade de escoamento da produção interna, o que resulta no chamado Custo-Brasil, sendo este um termo genérico utilizado para designar os custos de produção, taxas, encargos sobre a exportação, entre outros fatores que encarece a produção brasileira, diminuindo, portanto, a competitividade econômica do país no cenário internacional (CASTOR, 1999).

Portanto, é evidente a necessidade de constantes intervenções nas rodovias nacionais, com investimentos que garantam a melhoria e a manutenção das mesmas, o que pode ser alcançado a partir de um adequado Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP).

O levantamento dos defeitos superficiais constitui parte fundamental para a identificação dos trechos de pavimentos em condições de rolamento inadequadas, fornecendo dados para a alimentação de bancos de dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), possibilitando a execução de intervenções com qualidade e segurança.

De acordo com Gomes Jr e Duarte (2018), os métodos tradicionais de levantamento de defeitos e determinação dos índices de qualidade dos pavimentos são caros, bloqueiam o tráfego, trazem riscos aos técnicos envolvidos, são

subjetivos e demorados. Diante disso, e buscando aproveitar as novas tecnologias emergentes, tais como sensores instalados em carros (BARELLA, 2008) e os Veículos Aéreos Não Tripulados (BRANCO, 2016), pesquisadores e instituições de ensino e pesquisa têm trabalhado para desenvolver métodos de aplicações dessas tecnologias, buscando uma otimização do tempo e dos recursos financeiros envolvidos nesse processo.

Por se ter inúmeras pesquisas acadêmicas relacionando temas como Sensoriamento Remoto, VANTs e Defeitos Superficiais dos Pavimentos, a realização de um estudo bibliográfico sobre esse tema é importante, uma vez que, segundo Souza e Nunes (2020), pesquisas dessa natureza são fundamentais para se responder às questões como: Quais são os temas mais focalizados? E quais são os temas menos focalizados? Quem tem abordado tais temas? Onde tem sido realizadas essas pesquisas? Quais abordagens metodológicas empregadas? Quais contribuições de tais publicações para a área?

Portanto, este trabalho busca responder a essas questões por meio de uma revisão bibliográfica sobre pesquisas envolvendo temas relacionados ao uso de VANTs e Sensoriamento Remoto para a identificação de defeitos superficiais em pavimentos.

Este Trabalho de Conclusão de Curso está organizado do seguinte modo: a Seção 2 traz os conceitos e definições necessárias para o entendimento do tema proposto; a Seção 3 apresenta o método do trabalho, destacando a forma como o estudo foi planejado para reduzir a subjetividade do direcionamento da pesquisa bibliográfica; a Seção 4 discute os trabalhos selecionados, fazendo-se uma análise crítica sobre os mesmos e inter-relacionando-os; na Seção 5 tem-se as Conclusões, onde é feito uma síntese do trabalho e principais conclusões, limitações e futuros encaminhamentos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PESQUISAS DENOMINADAS DE “ESTADO DA ARTE”

O termo Estado da Arte é uma tradução literal do inglês “*state of the art*”. São trabalhos acadêmicos que permitem a sintetização de determinado campo do conhecimento, mapeamento e reconhecimento das produções, identificando temáticas e abordagens dominantes e emergentes, bem como lacunas e campos inexplorados abertos à pesquisa, num recorte temporal definido (ROSSETTO et al., 2011).

Brandão (1986, p. 2), sendo um dos primeiros autores a definir a expressão Estado da Arte na literatura científica nacional, diz que o termo pode “constituir-se em levantamentos do que se conhece sobre determinada área, desenvolvimento de protótipos, de análises de pesquisas ou avaliação da situação da produção do conhecimento da área focalizada”.

Logo após, numa linha temporal, Messina (1998) apresenta um conceito um pouco mais elaborado do termo, conforme se segue:

Um estado da arte é um mapa que nos permite continuar caminhando; é também uma possibilidade de perceber discursos que em um primeiro momento se apresentam como descontínuos ou contraditórios. Em um estudo da arte está presente a possibilidade de contribuir com a teoria e a prática de um campo do conhecimento (MESSINA, 1998, p.1)

De acordo com Romanowski e Ens (2006, p. 39), estudos dessa natureza “se tornaram imprescindíveis para apreender a amplitude do que vem sendo dito” e que tais estudos, os que tratam do Estado da Arte, “recebem esta denominação quando abrangem toda uma área do conhecimento, nos diferentes aspectos que geraram produções”.

Dada a importância desse tipo de pesquisa, pode-se destacar que tais pesquisas “favorecem a organização que mostre a integração e a configuração emergentes, as diferentes perspectivas investigadas, os estudos recorrentes, as lacunas e as contradições” (VOSGERAU; ROMANOWSKI; 2014, p. 168, grifo nosso)

Diante de tais definições, nota-se uma unidade, uma “espinha dorsal” do que seja Estado da Arte, sendo este um conceito que vai mapear de forma sistemática, e

estruturar uma determinada área do conhecimento, buscando mostrar as metodologias empregadas, além de apontar possíveis lacunas em determinada área do conhecimento, sem o qual o avanço na produção acadêmica, de acordo com Rossetto et al. (2009), fica limitado, uma vez que se faz necessário aos pesquisadores entender o que vem sendo produzido ao longo do tempo.

2.2 IMPORTÂNCIA E CONDIÇÕES DAS RODOVIAS FEDERAIS DO BRASIL

O sistema de transporte brasileiro é composto majoritariamente por rodovias. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), o modal rodoviário é o segmento de maior participação na matriz de transporte de cargas, 61%, e o principal modo de deslocamento de passageiros, 95%, independente da distância. As rodovias nacionais são responsáveis pelo escoamento da produção interna, exercendo papel essencial na geração de riqueza, no fortalecimento da economia e, portanto, na qualidade de vida de toda a população.

Conforme o relatório divulgado pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), além de possuir a maior participação na matriz de transporte, o transporte rodoviário é o principal responsável pela integração de todo o sistema de transporte do país. Para se ter uma ideia da importância das rodovias no setor econômico, o modal rodoviário foi responsável por 55,2% do PIB (Produto Interno Bruto) do setor de transporte em 2014 (IBGE, 2015). Na Figura 1 é possível observar que o PIB do setor de transporte, armazenagem e correio acompanha o movimento do PIB como um todo, evidenciando sua importância.

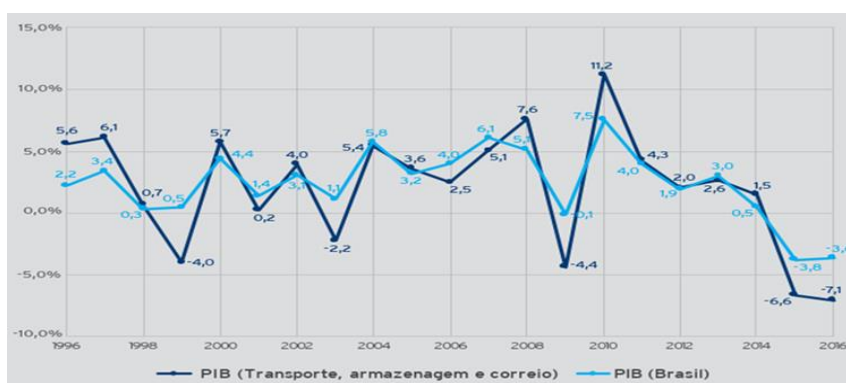


Figura 1: PIB do setor de Transportes, Armazenagem e Correios e o PIB Real versus PIB Real
Fonte: Elaboração CNT com dados do Sistema Nacional de Contas Trimestrais – IBGE (2018)

De acordo com Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019), o Brasil possui 1.720.756 km de rodovias, dos quais apenas 211.468 km são pavimentadas, o que representa 12,3% da extensão total. Para efeito de comparação, pode-se observar na Figura 2 a situação do Brasil frente a outros países.

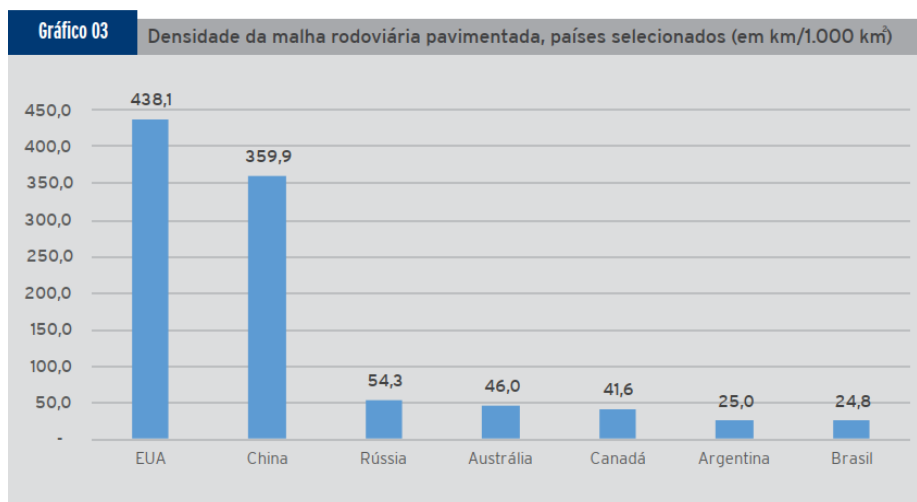


Figura 2: Densidade rodoviária em diferentes países

Fonte: Elaboração CNT, com dados SNV (2016), para o Brasil, e da Central intelligence Agency (CIA), para os demais países.

Conservar as rodovias, portanto, é essencial do ponto de vista do desenvolvimento econômico e social do país.

2.3 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS (SGP)

A Gerência de Pavimentos surgiu na década de 1960 nos Estados Unidos e Canadá graças às numerosas falhas ocorridas nas rodovias desses países (HAAS; HUDSON, 2015). Hoje em dia, a Gerência de Pavimentos é uma ferramenta de administração muito importante, uma vez que busca aplicar os recursos disponíveis sempre de forma eficaz, através de diversos níveis de intervenções, com objetivo de garantir o melhor custo-benefício (DNIT, 2011).

Do seu surgimento, na década de 1960, até 1980 diversas pesquisas foram sendo realizadas e a própria definição de SGP foi mudando. No Brasil, de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2011), o grande interesse nos SGP se deu a partir de 1980 por diversos motivos, os quais

cabe destacar: 1) necessidade de manutenção adequada da rede rodoviária; 2) exigência e estímulo por parte dos órgãos financiadores, tais como o Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) de adoção de técnicas racionais; 3) a escassez dos recursos a serem aplicados no setor rodoviário.

De modo geral, um SGP reúne toda uma gama de atividades relacionadas ao planejamento, projeto, construção, manutenção e reabilitação do pavimento (OLIVEIRA, 2013). Para DNIT (2011), os principais fatores externos que afetam um SGP são os recursos orçamentários disponíveis, os dados necessários ao sistema e as diretrizes políticas e administrativas (Figura 3).

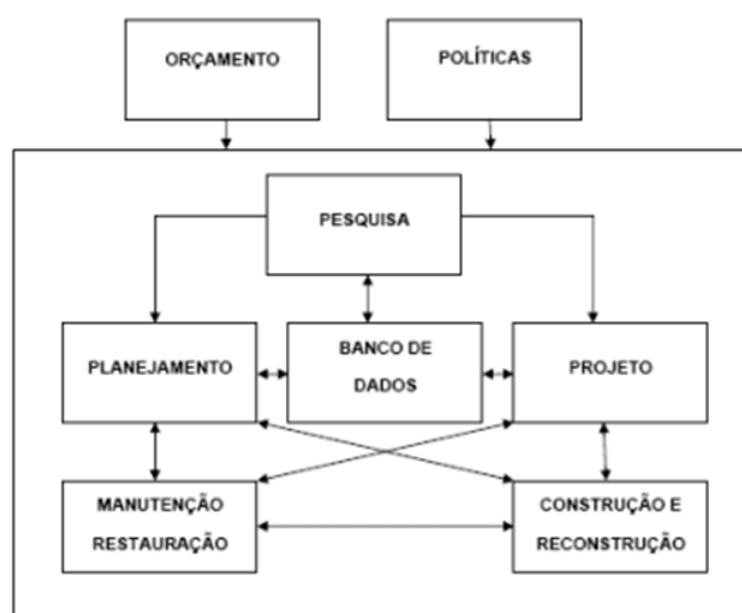


Figura 3: Sistema de Gerência de Pavimento
Fonte: DNIT (2011)

Um SGP é capaz de prover pavimentos seguros, confortáveis e econômicos ao usuário, sendo capaz de prolongar a vida útil do pavimento, garantindo padrões mínimos de serviços em toda a malha viária (FERNANDES JR et al., 2011).

Campos (2004) argumenta que para os países que são dependentes do transporte rodoviário, há um efeito cascata econômico significativo quando se trata do estado dos pavimentos, uma vez que a precariedade das estradas aumentam tanto o custo operacional dos veículos, como o tempo de viagem; esses fatores acabam por refletir o valor do frete, o que acaba influenciando o valor final dos produtos transportados, e conseqüentemente, afetando o poder de compra da população em geral.

Os benefícios obtidos a partir da Gerência de Pavimentos é inquestionável quando dos dados apresentados pelo WORLD ROAD ASSOCIATION (2005), sendo:

- Para cada dólar não investido em manutenção viária, os usuários acabam desembolsando três dólares em custos extras envolvendo os transportes por meio das rodovias. Este fato gera um efeito multiplicador danoso a toda economia.

- Enquanto a construção de 1 km de rodovia pavimentada, com 2 faixas de tráfego, custa cerca de 175 mil dólares, a manutenção anual da mesma irá custar cerca de 6 mil dólares. Ao negligenciar esta manutenção, o custo futuro de se recuperar o segmento será cerca de três ou quatro vezes maior; ou seja, economicamente é uma perda injustificável.

- Em um estudo em que foi analisado com cerca de 85 países que alocavam recursos em manutenção viária, identificou-se que um gasto de 12 bilhões de dólares em manutenção preventiva poderia evitar um custo de 40 bilhões de dólares em reconstrução.

Tendo como um dos principais objetivos, um SGP precisa definir a estratégia ótima de intervenção num pavimento (“o que fazer”), definir as atividades de manutenção e reabilitação para cada seção (“como fazer”), apontar a melhor época para a realização de serviços de manutenção (“quando fazer”) e indicar as informações em nível de rede, ou seja, os trechos prioritários da malha rodoviária que precisam de atenção (“onde fazer”) (FERNANDES JR et al., 2011).

No SGP, a obtenção dos dados acerca das condições dos pavimentos é parte central do sistema, uma vez que será com base nesses dados que todo o trabalho de manutenção, prevenção e elaboração de projetos orçamentários serão feitos. De acordo com Oliveira (2013), detectar os defeitos quando os mesmos começarem a aparecer é uma das tarefas mais importantes da manutenção, e conseqüentemente, de um SGP. De acordo com Fernandes Jr et al. (2011), um SGP depende da monitorização periódica do pavimento, responsável pela obtenção de informações sobre as características físicas da via ao longo do tempo.

As pesquisas envolvendo VANTs e suas aplicações em pavimentação tratam exatamente deste ponto, ou seja, versam sobre o levantamento de informações (defeitos) capazes de alimentar um banco de dados de um SGP.

2.4 PAVIMENTOS E SEUS DEFEITOS

O pavimento pode ser entendido como um sistema de camadas (que vão do subleito ao revestimento) umas sobre as outras destinadas a servir o usuário. Pode-se observar um exemplo dessa estrutura na Figura 4.

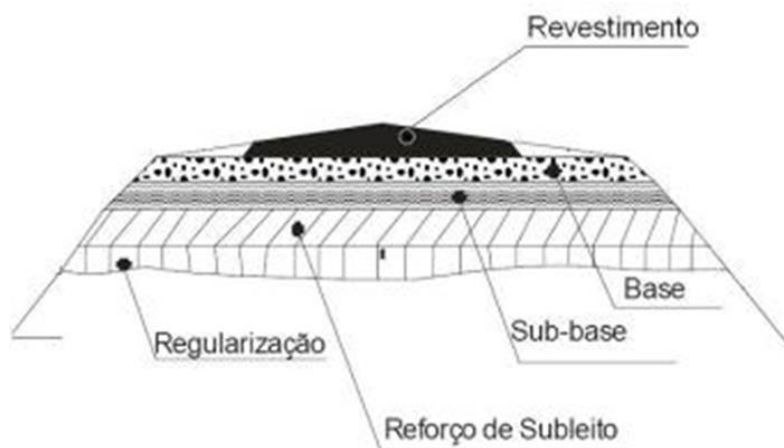


Figura 4: Seção transversal de um pavimento
Fonte: DNIT (2006)

De modo amplo, o pavimento é constituído de duas partes: o leito carroçável, destinado principalmente ao trânsito de veículos, e o passeio, destinado ao trânsito de pedestres.

Para que um pavimento atenda de forma satisfatória aos usuários, ou seja, com segurança, qualidade e economia, o mesmo é dimensionado para suportar principalmente as cargas oriundas do tráfego, mas também as cargas impostas pelo clima. Entretanto, mesmo com um dimensionamento e uma execução correta, os pavimentos apresentarão, com o passar do tempo, alguns defeitos. Tais defeitos são provenientes das solicitações impostas pelo tráfego e pelo clima e afetam tanto a vida útil do pavimento quanto a qualidade do rolamento do mesmo (FERNANDES JR et al., 1999).

A ocorrência e tipo de defeitos irão depender, também, do tipo do pavimento que, de acordo com Medina (1997), são divididos em duas categorias: Pavimento flexível e Pavimento Rígido. Essa é a mesma classificação dada por Bernucci et al. (2006). Pode-se ter ainda a classificação mais ampla em Flexíveis, Semirrígidos e

Rígidos, conforme o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT, 2006):

- **Flexível:** aqueles pavimentos constituídos, por exemplo, de uma base de brita ou base de solo pedregulhoso, revestido por uma camada asfáltica. Possui como característica principal do ponto de vista estrutural, a deformação elástica significativa por parte de todas as camadas, fazendo com que a distribuição das cargas seja aproximadamente equivalente entre as camadas.
- **Semirrígido:** caracterizada por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias. Tem-se a camada de solo-cimento revestida por uma camada asfáltica.
- **Rígido:** O revestimento possui elevada rigidez em relação às camadas inferiores. A característica estrutural é que esse revestimento absorve praticamente todas as tensões resultantes do carregamento. Um exemplo são as camadas de lajes de concreto de cimento Portland usadas em pavimentos.

Na Figura 5, pode-se observar as estruturas (camadas) dos pavimentos citados.

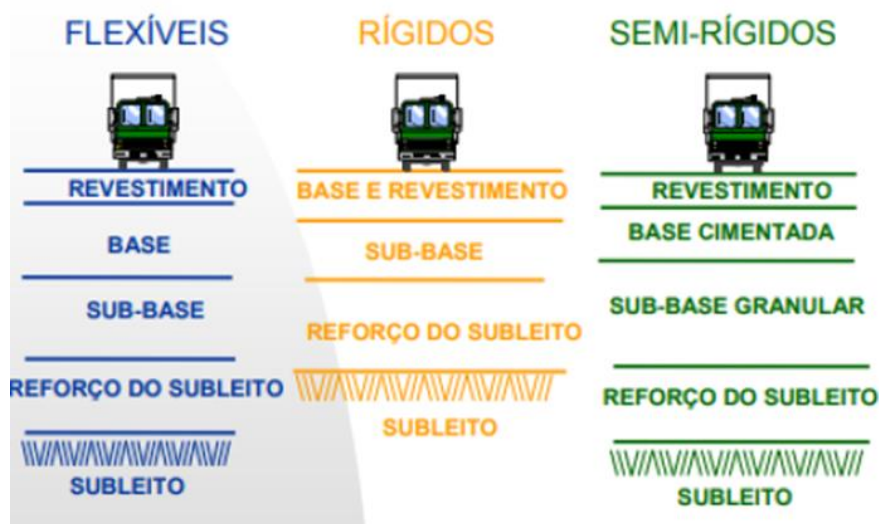


Figura 5: Estruturas dos pavimentos mais comuns
Fonte: Berres (2018)

Quando se busca na literatura sobre os tipos de defeitos de pavimentos, é possível encontrar vários tipos de classificação dos mesmos, e vários manuais nacionais e internacionais que tratam do assunto. Entretanto, por uma questão de padronização e uniformização dos dados, muitos países (o Brasil, inclusive) adotam

o manual de levantamento de defeitos no campo do Programa SHRP (*Strategic Highway Research Program*) (LIMA, 2007).

O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (2003), portanto, considera quinze (15) tipos de defeitos (os mesmos adotados pelo SHRP), sendo eles: trincas por fadiga, trincas nos bordos laterais, trincas em blocos, trincas por reflexão, trincas longitudinais, trincas transversais, remendos, painelas, deformação permanente nas trilhas de rodas, corrugação, exsudação, agregados polidos, desnível pista-acostamento, desgaste e bombeamento.

Para uma visão acerca do que se falou sobre os defeitos nos pavimentos, será feita uma apresentação dos mesmos conforme descritos em Fernandes Jr et al. (2011) e segundo a norma DNIT 005/2003.

2.4.1 Fenda (F)

São as descontinuidades nas superfícies do pavimento, de menor ou maior porte, mostrando-se de diversas formas. Podem ser classificadas como Fissura ou Trinca. No primeiro caso, tem-se uma fenda de largura capilar somente perceptível a uma distância inferior a 1,50 m. A Trinca, por sua vez, é facilmente visível, tendo uma abertura superior à da Fissura (DNIT, 2003). Tem-se ainda dois tipos possíveis de Trincas: isolada ou interligada. Do primeiro grupo participam as trincas transversais, longitudinais e as de retração. Do segundo grupo, das trincas interligadas, participam as trincas por fadiga, trincas em blocos e as trincas em bloco por reflexão. Será feita uma breve explanação de cada uma das trincas citadas.

2.4.1.1 Trincas por fadiga

Também conhecida como couro de crocodilo ou tela de galinheiro, as trincas por fadigas são caracterizadas por serem conectadas, conforme Figura 6, tendo como causa as deformações repetidas impostas pelas cargas oriundas do trafego, simultaneamente à ocorrência de uma ou mais camadas instáveis (FERNANDES JR. et al. 1999).



Figura 6: Trincas por fadiga em pavimento flexível
Fonte: Fernandes Jr et al. (1999)

2.4.1.2 Trincas em blocos

Como o próprio nome sugere, são trincas em formatos de blocos, normalmente com lados maiores que 30 cm e aproximadamente retangulares (Figura 7), sendo causadas por “mudanças no volume de misturas asfálticas com agregados finos e elevado teor de asfalto muito viscoso (baixa penetração)” (FERNANDES JR. et al., 1999, p. 71), sendo que a ausência de tráfego acelera este processo de formação das trincas em blocos.



Figura 7: Trincas em blocos
Fonte: DNIT (2003)

2.4.1.3 Trincas nos bordos

São trincas que se desenvolvem longitudinalmente, normalmente a uma distância de 30 cm da extremidade lateral do pavimento (Figura 8), sendo causada por erros de execução (erros de adensamento e falta de adequado refinamento lateral, por exemplo) consequentes de uma drenagem ineficiente ou inexistente ((FERNANDES JR. et al., 1999).



Figura 8: Trincas nos bordos em pavimento flexível
Fonte: Fernandes Jr et al. (1999)

2.4.1.4 Trincas longitudinais

São trincas que ocorrem nas juntas longitudinais (por isso o nome) de faixas de tráfego contínuas e são predominantemente paralelas ao eixo, sendo causadas por erros de execução, como ligações inadequadas entre camadas, conforme Figura 9 (FERNANDES JR. et al., 1999).



Figura 9: Trincas longitudinais em pavimento flexível
Fonte: DNIT (2003)

2.4.1.5 Trincas por reflexão

“As trincas por reflexão manifestam (“refletem”), à superfície do pavimento, o mesmo padrão de trincas originadas nas

camadas inferiores [...] Ocorrem mais frequentemente em revestimentos asfálticos sobre pavimentos de concreto de cimento Portland e sobre bases tratadas com cimento ou bases executadas com solo arenoso fino laterítico. (FERNANDES JR. et al. 2011).

As trincas podem ser transversais (Figura 10), longitudinais (Figura 11) ou em blocos (Figura 12).



Figura 10: Trincas transversais por reflexão
Fonte: Fernandes Jr et al. (2011)



Figura 11: Trincas Longitudinais por reflexão
Fonte: Fernandes Jr et al. (2011)



Figura 12: Trincas em blocos por reflexão
Fonte: Fernandes Jr et al. (2011)

2.4.2 Afundamento (A)

São as Deformações Permanentes nas Trilhas de Rodas, ou seja, uma distorção manifestada como sendo depressões longitudinais, podendo apresentar-se como afundamento plástico ou consolidação (Figura 13) (DNIT, 2003).



Figura 13: Afundamento de trilha de roda
Fonte: DNIT (2003)

São resultantes de problemas de drenagem e erros construtivos (mal compactados ou baixa estabilidade).

2.4.3 Ondulação ou Corrugação (O)

Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento” (DNIT, 2003). A ocorrência é comum em locais onde apresentam elevados esforços tangenciais (frenagem, aceleração e curvas), tendo como causa a dosagem inadequada (excesso de asfalto, por exemplo) ou problemas construtivos (excesso de umidade, por exemplo) (FERNANDES JR. et al. 2011).



Figura 14: Ondulação
Fonte: DNIT (2003)

2.4.4 Escorregamento (E)

Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua (DNIT, 2003).



Figura 15: Escorregamento
Fonte: DNIT (2003)

2.4.5 Esxudação (EX)

Defeito caracterizado por excesso de ligante asfáltico na superfície do pavimento. Mais frequente em países de clima quente, tendo como causa, além do excesso de ligante asfáltico, o baixo índice de vazios da mistura e a compactação pelo tráfego (Figura 16) (DNIT, 2003).



Figura 16: Esxudação
Fonte: DNIT (2003)

2.4.6 Desgaste (D)

Resultante do arrancamento constante e progressivo do agregado do pavimento (Figura 17) (DNIT, 2003), comprometendo a segurança da via, uma vez que altera o coeficiente de atrito pneu-pavimento.



Figura 17: Desgaste
Fonte: DNIT (2003)

São provocados por esforços tangenciais provenientes do tráfego e englobam o envelhecimento, a oxidação, o endurecimento, a volatilização e a intemperização, tendo como causas a falta de ligante asfáltico, superaquecimento da mistura na usina, compactação insuficiente (excesso de vazios), etc. (FERNANDES JR et al., 2010).

2.4.7 Panela ou Buraco (P)

Paneles ou buracos “são cavidades de diversos tamanhos que ocorrem no revestimento, resultantes de uma desintegração localizada” (FERNANDES JR. et al. 2010, p. 79). Estão associados a uma drenagem deficiente e evoluem a partir de outros defeitos (trincas por fadiga, por exemplo) (Figura 18).



Figura 18: Panela ou Buraco
Fonte: DNIT (2003)

2.4.8 Remendo (R)

São as panelas preenchidas por uma ou mais camadas de pavimentos durante operações conhecidas como “tapa-buracos” (DNIT, 2003). Podem ser de dois tipos: remendo superficial e remendo profundo. O primeiro é uma correção pela aplicação de uma camada betuminosa; o segundo é aquele em que há a substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento (DNIT, 2003).



Figura 19: Remendo em pavimento flexível
Fonte: Cava (2018)

Na Figura 20, tem-se um resumo dos defeitos conforme a NORMA DNIT 005/2003.

Quadro resumo dos defeitos – Codificação e Classificação

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3
OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO			
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP			
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP			
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC			
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC			
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O			
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E			
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX			
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D			
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P			
Remendos			Remendo Superficial	RS			
			Remendo Profundo	RP			

Figura 20: Quadro resumo dos defeitos
Fonte: DNIT (2003)

2.5 SENSORAMENTO REMOTO

O termo Sensoriamento Remoto (SR) foi cunhado por Evelyn L. Pruit nos anos de 1960 (ROSA et al., 2012), entretanto, os fundamentos de SR são bem mais

antigos e estão ligados intimamente à Fotografia e à Pesquisa Espacial (NOVO; PONZONI, 2001). Por sua ligação direta com a fotografia, alguns autores alegam que o SR surgiu com o nascimento da fotografia (SANTOS, 2013), sendo que a primeira fotografia registrada foi obtida por Daguerre e Niepce em 1839 (NOVO; PONZONI, 2001). Entretanto, para Jong et al. (2004), a era do Sensoriamento Remoto tem início em 1859, quando Gaspard Tournachon capturou uma fotografia oblíqua de uma pequena vila próximo a Paris a bordo de um balão.

Após um longo período de latência e de uma utilização limitada do Sensoriamento Remoto, a chamada Corrida Espacial trouxe consigo avanços significativos nas áreas relacionadas ao Sensoriamento Remoto tais como ciência da computação, telecomunicações, óptica de precisão, etc., contribuindo para a criação de novas técnicas e aperfeiçoamento do SR (JONG et al., 2004).

Por se tratar de uma área que envolve muitas outras áreas (engenharia, telecomunicações, biologia, física, medicina, etc.), o Sensoriamento Remoto acaba por possuir diversas definições. A definição padrão e mais conhecida de SR é: Sensoriamento Remoto é uma “técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto” (AGGARWAL, 2004, p. 23).

Para Mårtensson (2011, p. 4), “Sensoriamento Remoto é o nome comum para todos os métodos usados para coletar dados à distância do objeto em estudo por algum tipo de dispositivo de registro.” Por se tratar de uma definição muito abrangente e também utilizada por outros autores, este conceito abarca uma gama muito grande de dispositivos e de tecnologias de capturas de dados, incluindo até mesmo a visão humana como uma espécie de sensoriamento remoto natural (WENG, 2013).

Para Rosa et al. (2012, p. 3), uma definição mais científica de Sensoriamento Remoto seria uma “ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”. A Figura 21 ilustra esse processo de maneira simples.

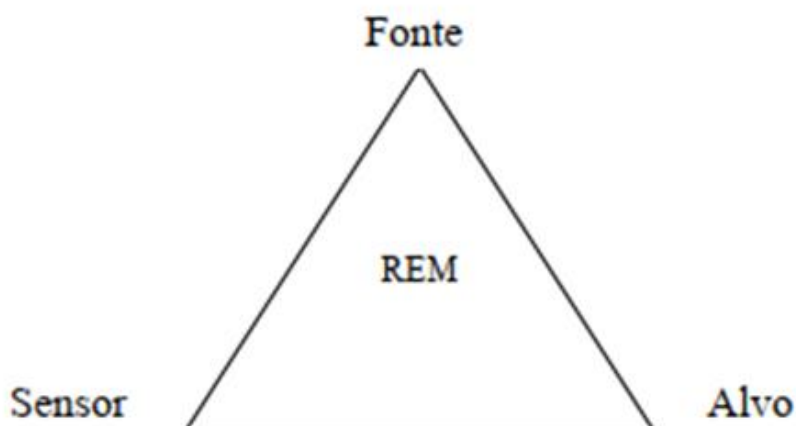


Figura 21: Elementos essenciais de um Sensoriamento Remoto
Fonte: Novo e Panzoni (2001)

Portanto, a partir da conceituação de Rosa et al., (2012), fica claro que qualquer sensor que não use radiação eletromagnética não deve ser classificado como Sensoriamento Remoto. Esse esclarecimento se faz necessário para que não se faça confusão com os outros tipos de sensores, tais como os sensores geofísicos aerotransportados e outros. Há também a errônea ideia de considerar apenas como sensoriamento remoto as imagens obtidas via satélite (MÅRTENSSON, 2011).

As aplicações de Sensoriamento Remoto são das mais diversas e consistem em confecções de mapas, agricultura, investigações arqueológicas, dinâmica da vegetação e do clima, qualidade da água, dinâmica populacional, urbanismo, poluição das cidades, etc. (AGGARWAL, 2004).

Para Santos (2013), o Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um sistema de aquisição de informações, podendo ser dividido em dois grandes subsistemas:

- i) Coleta de Dados;
- ii) Análise de Dados.

O primeiro é responsável pela detecção e transformação da radiação proveniente da superfície terrestre para posterior transmissão e registro.

Já o segundo subsistema é mais complexo e envolve uma variedade de funções, das quais Santos (2013) destaca:

- a) Pré-processamento;

- b) Processamento de realce;
- c) Fotointerpretação;
- d) Interpretação automática;
- e) Modelagem.

O Quadro 1 a seguir apresenta os principais componentes de um Sensoriamento Remoto.

Quadro 1: Componentes de um Sensoriamento Remoto

Componente	Função
Fonte	Gerar energia eletromagnética
Meio 1	Permitir propagação da energia
Alvo	Receber, interagir e refletir a energia
Meio 2	Permitir a propagação da energia refletida
Sensor	Receber a energia refletida
Processador	Transformar a energia recebida em dados
Analista	Transformar dados em informação

Fonte: Adaptado de Santos (2013)

De acordo com Aggarwal (2004), existe um número de estágios no processo de Sensoriamento Remoto em que cada um é importante para o sucesso da operação. São eles:

- Emissão da radiação eletromagnética (REM);
- Transmissão da energia da fonte para a superfície da Terra;
- Interação da radiação eletromagnética com a superfície terrestre: reflexão e emissão;
- Transmissão da energia da superfície para um sensor remoto;
- Saída de dados do sensor;
- Transmissão, processamento e análise dos dados.

Todo esse processo pode ser ilustrado na Figura 22.

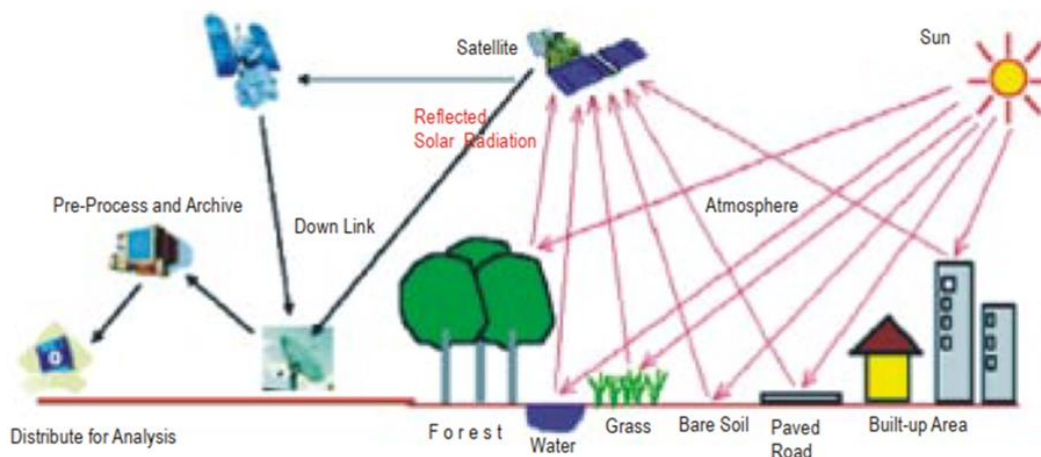


Figura 22: Elementos essenciais de um SR
Fonte: Maio et al. (2008)

Conforme argumenta Rosa et al. (2012), o SR não é apenas via satélite, possuindo, portanto, diferentes Níveis de Aquisição de Dados. De acordo com Maio et al. (2008), pode-se ter a aquisição de dados via sistemas-sensores mantidos no nível orbital (satélites), suborbital (acoplados em aeronaves) ou mantidos no nível do solo. A Figura 23 mostra os diferentes níveis de aquisição de dados.

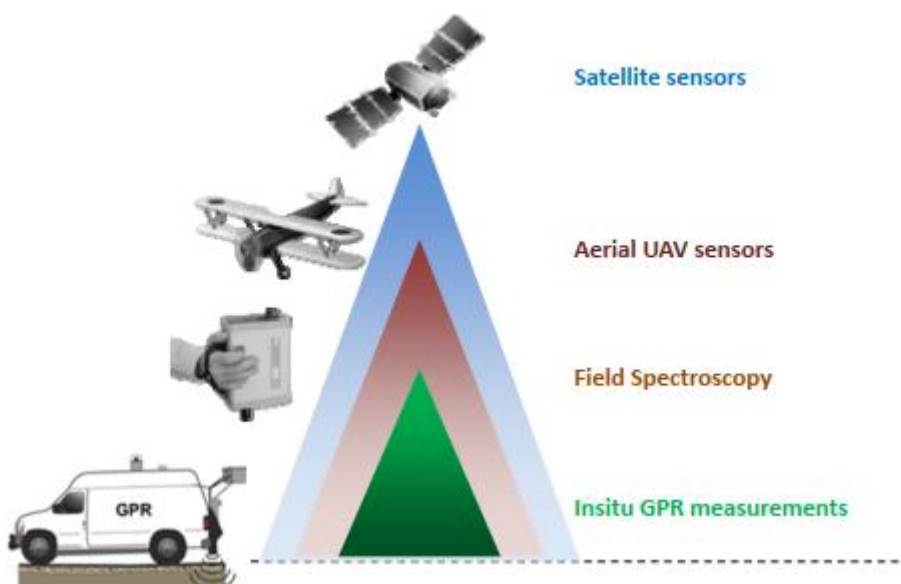


Figura 23: Diferentes níveis de aquisição de dados em um SR
Fonte: Santos (2013)

No nível orbital, a aquisição de dados é feita por meio de sensores acoplados em satélites artificiais, tais como o *Landsat*, *Spot*, *Radarsat*, *Jers-1*, etc. Neste nível, o SR é capaz de varrer grandes áreas, sendo adequado, por exemplo, ao monitoramento de recursos naturais, tais como florestas e oceanos.

No nível de solo, a obtenção de dados é feita em laboratório ou em campo utilizando-se medidas feitas a partir de radiômetros ou espectrorradiômetros.

Já no nível de aeronaves (suborbital), temos os sistemas sensores acoplados nos balões, nas aeronaves e nos VANTs. Aqui, a altura do voo reflete diretamente na resolução espacial dos dados (GOMES JUNIOR; DUARTE, 2018).

Os estudos analisados neste trabalho serão, conforme Figura 23, os que utilizam VANTs (nível suborbital) para obtenção de dados.

2.5.1 Imagem de Sensoriamento Remoto

Podemos definir, genericamente, qualquer como sendo uma função bidimensional representada por $f(x, y)$. Quando (x, y) e os valores de amplitude f são quantidades discretas (números inteiros), a imagem é uma imagem digital (NOVO; PONZONI, 2019). Na Figura 24, tem-se um exemplo de imagem digital:

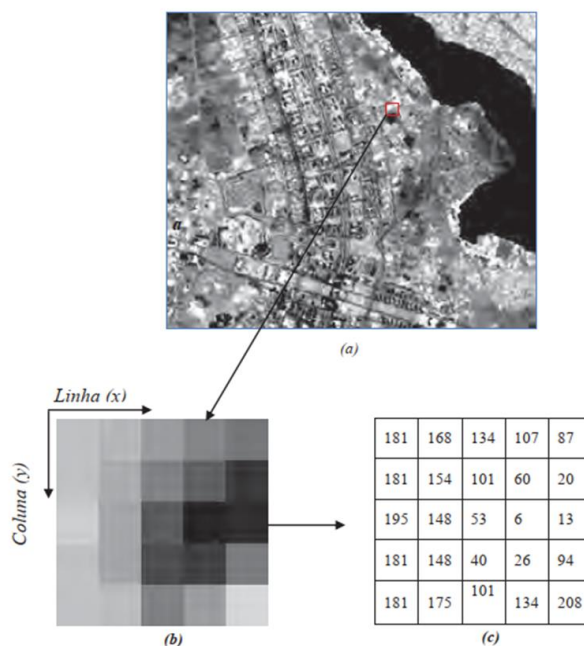


Figura 24: a) Imagem digital; (b) área em zoom de grupo de pixels em valores de cinza; (c) correspondentes
Fonte Rosa et al. (2012)

Quando o valor da função descrita acima assume somente valores inteiros positivos, o mesmo pode ser representado por um *bit*, ou seja, um número digital quantizado. Sendo assim, para que uma imagem $f(x, y)$ possa ser processada e

mostrada na tela de um computador, a mesma precisa ser digitalizada tanto espacialmente quanto em termos de amplitude de níveis de brilho.

O formato de arquivo e armazenagem de imagens digitais vai depender do tipo de programa utilizado, sendo os mais comuns para processamento de imagens os seguintes: ER-MAPPER (*Earth Resource Mapping*), PCI, SPRING (domínio público), IDRISI, ENVI (*Environment for Visualizing*), dentre outros. Esses programas normalmente usam o formato de dados do tipo raster, um arquivo binário possuindo os dados das imagens. De acordo com Ramos (2000), os formatos mais usados são dos tipos JPEG (*Joint Photographics Experts Group*), BMP (*Bitmap*), TIFF (*Tagged Image File Format*), PNG (*Portable Network Graphics*). Ainda no trabalho de Ramos (2000), o autor discorre por menores sobre cada um dos tipos citados acima.

Ainda sobre imagem de SR, cabe uma breve introdução sobre Característica Espectral e Característica Espacial. A primeira trata dos espectros em que são formadas uma imagem de SR, ou seja, as três cores básicas (vermelho, azul e verde) que estão associadas aos diferentes comprimentos de ondas ou faixas espectrais. A Característica Espacial trata, em termos simples, do nível de detalhe que pode ser observado em uma imagem, ou seja, “a capacidade que o sensor possui para discriminar objetos em função do seu tamanho” (MAIO, 2008, pg. 35).

Das duas características (espectral e espacial) depende uma terceira, a Característica Temporal. Esta é caracterizada como a frequência com que a superfície terrestre pode ser imageada (MAIO, 2008; ROSA et al., 2012).

2.6 FOTOGRAMETRIA

Do ponto de vista da etimologia da palavra, Fotogrametria possui três radicais que vêm do grego, sendo *photon* (luz), *graphos* (escrito ou desenhado) e *metron* (medições). Logo, de acordo com as origens das palavras, Fotogrametria significaria, a grosso modo, “medir graficamente usando luz” (TOMMASELLI, 2009, p. 1) ou “medições executadas através de fotografias” (BRITO e COELHO, 2007, p. 11). Entretanto, esta não é a definição usual e acadêmica do termo. Pode-se ver que o significado de Fotogrametria tem evoluído com o tempo e com o surgimento de novas tecnologias. A *American Society of Photogrammetry* (ASP), na década de 60,

definida Fotogrametria como "ciência e arte de obter medidas confiáveis por meio de fotografias" (TOMMASELLI, 2009, p. 1, *apud* ASP, 1960); uma vez que houve o surgimento de sensores diversos, a definição da APS também mudou e uma definição mais recente e completa de Fotogrametria é:

A ciência e tecnologia de se reconstruir o espaço tridimensional, ou parte do mesmo (espaço-objeto), a partir de imagens bidimensionais, advindas da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas (espaço-imagem), sem contato físico direto entre o sensor e o objeto ou alvo de interesse. (BRITO e COELHO, 2007, p. 18).

Portanto, a Fotogrametria possui como objetivo a transformação de um sistema bidimensional, chamado espaço-imagem, em um sistema tridimensional, chamado de espaço-objeto, apresentando, no caso mais comum, as coordenadas do terreno, podendo ser geodésicas, planialtimétricas ou cartesianas (BRITO e COELHO, 2007).

Como é de supor, a fotogrametria data do surgimento da fotografia, está já discutida na Seção anterior. Em 1851, Aimé Laussedat conceituou o estudo da Fotogrametria Terrestre; até 1900 houve o acoplamento de câmeras aerofotogramétricas panorâmicas em balões; em 1913 surgem os primeiros aviões e, conseqüentemente, são coletadas as primeiras fotografias aéreas para a confecção de mapas; entre 1936 a 1940 houve um aprimoramento das câmeras e das técnicas de aerofotogrametria devido a Segunda Guerra Mundial (JONG, 2004). A Fotogrametria tal como é hoje deve-se também à popularização dos computadores, desenvolvimentos de softwares e hardwares, entre outros equipamentos (sensores) que têm surgido nos últimos anos.

De acordo com Temba (2000), a Fotogrametria pode ser dividida em duas grandes áreas, sendo:

- Fotogrametria Interpretativa: tem como objetivo reconhecer e identificar objetos a partir de uma análise sistemática da fotografia; além disso, faz-se um julgamento do significado do objeto/ambiente em análise. "A interpretação de fotos é o ato de examinar as imagens fotográficas com o propósito de identificar os objetos e determinar sua significância" (TEMBA, 2000, p. 3);

- Fotogrametria Métrica: “[...] consiste na feitura de medições de fotos e outras fontes de informação para determinar, de um modo geral, o posicionamento relativo de pontos “(TEMBA, 2000, p. 3) e com isso, é possível determinar distâncias, áreas, volumes, tamanhos e formas dos objetos, ângulos, etc.

Tem-se também a classificação quanto à plataforma onde os sensores serão acoplados, conforme Brito e Coelho (2007):

- Fotogrametria Terrestre: diz-se das fotografias tomadas de uma posição fixa do terreno, logo, os sensores estão posicionados sobre a superfície;
- Aerofotogrametria: as fotografias do terreno são tomadas por sensores montados em aeronaves, VANTs, drone e até balões. Este é o caso dos trabalhos aqui analisados e por isso será mais detalhada em outra subseção;
- Fotogrametria Orbital (ou Espacial): as fotografias dos terrenos são tomadas a partir de sensores acoplados em satélites artificiais.

Pode-se ter a classificação da Fotogrametria no que se refere aos tipos de instrumentos utilizados para a medição e redução de dados, tal como indica Tommaselli (2009):

- Fotogrametria Analógica: uma vez que não se tem computadores, o processamento dos dados fotogramétricos era feito através de instrumentos analógicos;
- Fotogrametria Analítica: surgimento de computadores cada vez mais baratos, potentes e acessíveis permitem uma redução da participação instrumental no processamento fotogramétrico, o que leva a uma precisão e sofisticação dos modelos matemáticos;
- Fotogrametria Digital: suplanta a técnica analógica; utiliza-se computadores, câmeras digitais e sensores muitas das vezes interconectados.

Na Figura 25 tem-se um quadro resumo o histórico da Fotogrametria.

Fotogrametria	Entrada	Processamento	Saída
Analógica	Fotografia analógica (em filme)	Analógico (óptico-mecânico)	Analógica (<i>scribes</i> ou fotolitos) no passado ou digital (CAD, por exemplo) no presente
Analítica	Fotografia analógica (em filme)	Analítico (computacional)	Analógica (<i>scribes</i> ou fotolitos) no passado ou digital (CAD, por exemplo) no presente
Digital	Imagem digital (obtida de câmara digital, por exemplo) ou digitalizada (foto analógica submetida a um <i>scanner</i>)	Analítico (computacional)	Digital

Figura 25: Histórico da Fotogrametria
Fonte: Brito e Coelho (2007)

2.6.1 Aerofotogrametria

De acordo com Gomes Jr e Duarte (2018, p. 26), “os trabalhos de aerofotogrametria, realizados com aeronaves pilotadas, drones e até mesmo balões, possuem a capacidade de imagear áreas de grande extensão.” Ainda de acordo com Gomes Jr e Duarte (2018), o passo inicial a ser dado em qualquer trabalho envolvendo fotogrametria deverá ser a criação de um planejamento de voo consistente. Tommaselli (2009) apresenta um quadro-resumo com as etapas a serem seguidas em trabalhos aerofotogramétricos (Figura 26).

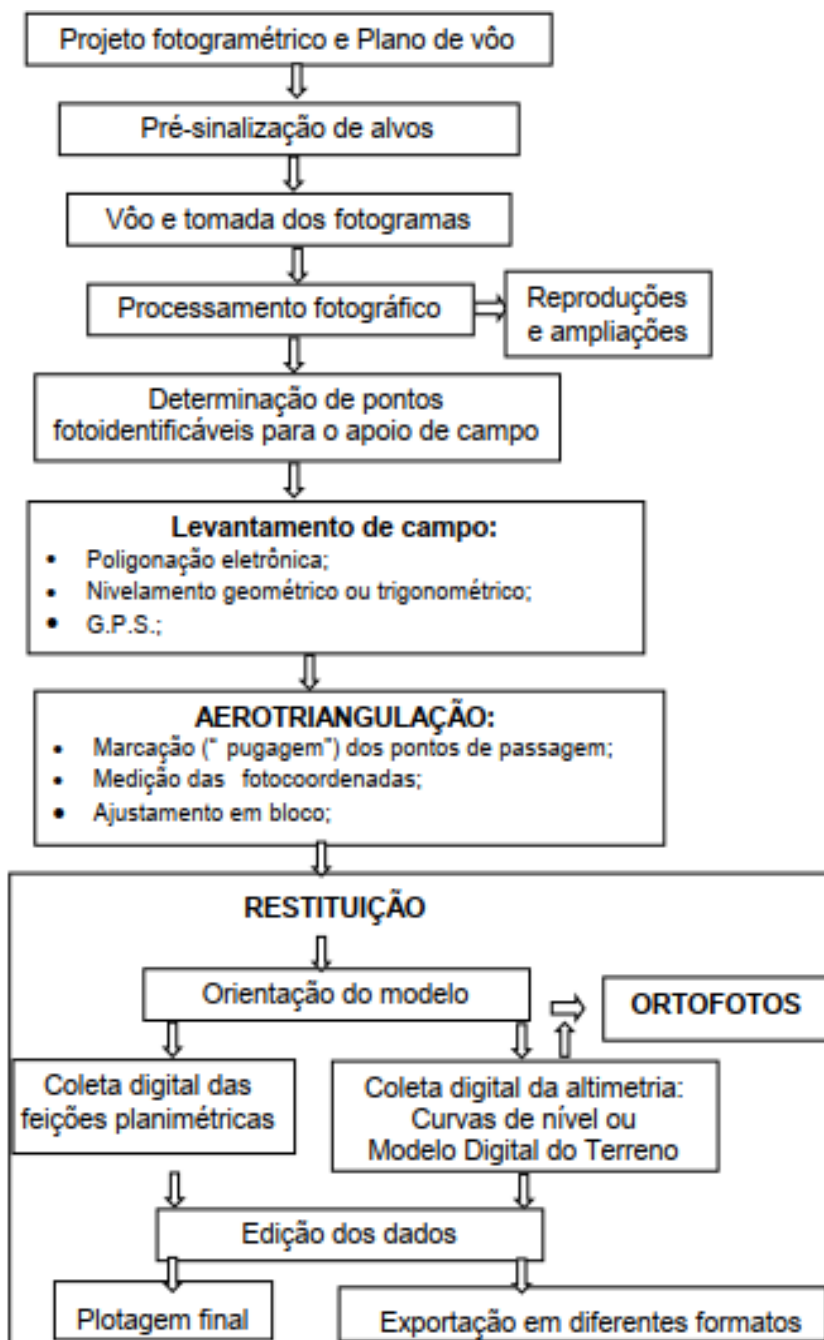


Figura 26: Fluxograma para o mapeamento pelo processo Fotogramétrico
 Fonte: Tommaselli (2009)

Durante a etapa de planejamento do voo, deve-se atentar às direções de linhas de voo, uma vez que esta etapa é crucial para o correto cobrimento da área de interesse, além de garantir a correta sobreposição lateral (geralmente de 25% a 30% da cobertura da foto) e a sobreposição longitudinal (aproximadamente 60%) (TOMMASELLI, 2009). Tais informações podem ser vistas na Figura 27.

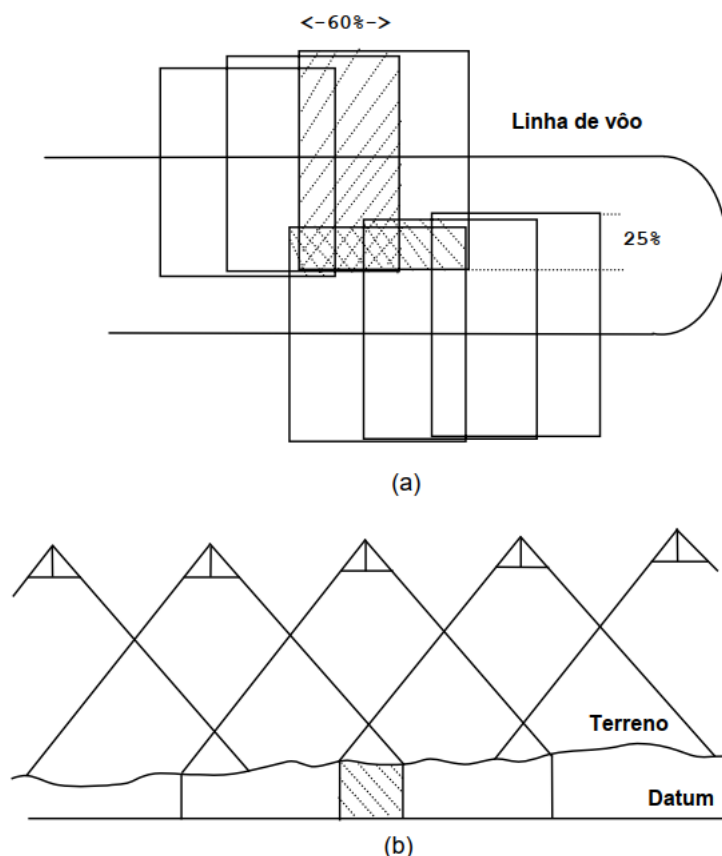


Figura 27: Superposição entre fotografias. (a) vista superior de duas faixas mostrando a superposição longitudinal e a superposição lateral; (b) perfil esquemático mostrando a cobertura longitudinal de cada fotograma
Fonte: Tommaselli (2009)

2.7 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

O Sistema Embarcado Crítico, uma combinação de software e hardware destinadas a executar uma função específica (BRANCO, 2016) que será discutido neste trabalho é um VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado.

O surgimento da ideia de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) data de 22 de agosto de 1849, ocasião em que o exército Austríaco atacou a cidade de Veneza usando balões carregados com explosivos (PECHARROMÁN, 2010). Por se tratar de uma tecnologia que surgiu no meio militar – assim como muitas outras –, a mesma passou por um período de “incubação”, sendo que de acordo com (PECHARROMÁN, 2010), foi somente em 2003, através da utilização por parte dos norte-americanos, na Segunda Guerra do Golfo, que os VANTs passaram a ser de conhecimento do público em geral.

Existem diversas definições sobre o que é um VANT. O Departamento de Defesa dos Estados Unidos, através do relatório *Unmanned Aerial Vehicle Roadmap 2002 – 2007* define VANT como uma aeronave capaz de voar sem a presença de um piloto humano (ALDRIDGE; STENBIT, 2002).

Para Branco (2016), a definição de VANT depende, antes, de uma contextualização sobre o SANT (Sistema de Aeronave Não Tripulada), que por sua vez é composto não somente pela Aeronave, mas também por uma Estação de Controle (local em que o sistema como um todo é controlado e operacionalizado, sendo portanto um sistema de computador projetado para acompanhar o desenvolvimento da missão, e caso necessário, operar o VANT na maioria das vezes em tempo real); *Payload* (equipamentos e sensores destinados a realização da missão); Links de Comunicação de Dados (responsável pela conexão contínua da aeronave e a estação de controle) e o Sistema de Suporte (formado por sistemas tais como manutenção, lançamento, pouso, e transporte da aeronave (AUSTIN, 2011).

Sendo assim, Branco (2016) define um VANT como um robô aéreo (uma máquina voadora pequena e altamente inteligente) que faz parte de um SANT (Sistema de Aeronave Não Tripulada).

Entretanto, uma definição mais precisa e delimitada pode ser encontrada em Army (2010), ou seja, um VANT é um veículo aéreo não tripulado por humano, que se utilizam de forças aerodinâmicas para se elevarem, podendo ser plotado remotamente ou fazer um voo autônomo, sendo descartáveis ou recuperáveis, podendo ou não transportar cargas bélicas. Veículos balísticos e semi-balísticos não são considerados VANTs.

Após popularização e utilização por parte de civis, os termos e classificações referentes aos veículos aéreos não tripulados passou por grandes discussões (GOMES JUNIOR; DUARTE, 2018), sendo que no Brasil, as classificações são (PECHARROMÁN, 2010):

- Drone: caracterizado por englobar todo e qualquer objeto voador não tripulado, seja ele de qualquer propósito (profissional, recreativo, militar, comercial etc.);
- VANT: esta é a terminologia oficial utilizada por órgãos reguladores nacionais, e a Circular de Informações Aéreas AIC N 21/10, uma legislação,

caracteriza-se como VANT toda aeronave projetada para operar sem piloto a bordo. Esta, porém, há de ser de caráter não recreativo e possuir carga útil embarcada.

- RPA: é uma variação dos dois tipos possíveis de VANTs, sendo RPA a abreviação para *Remotely-Piloted Aircraft*, podendo ser traduzida como Aeronave Remotamente Pilotada (ARP). Esta variação é a mais conhecida e o piloto, conforme o nome sugere, não está a bordo, mas controla a aeronave remotamente através de uma das várias interfaces disponíveis (controle remoto, computador, simulador, etc.). Já a outra subcategoria dos VANTs é a “Aeronave Autônoma” que, uma vez programada, não permite intervenção externa durante a realização do voo. De acordo com o Regulamento Brasileiro de Aviação (RBAC - E nº 94) da ANAC (2017), categorias totalmente autônomas desses equipamentos ainda estão proibidas no país.

- RPAS: abarca todo o sistema envolvendo um RPA, ou seja, envolve não somente o RPA, mas sim todo um conjunto de recursos e operações que permite ao RPA voar.

Os VANTs podem ser de diversos tipos, formas, tamanhos e peso. As formas mais comuns são VANTs de asas rotativas (helicópteros) e asas fixas (avião), sendo que os primeiros decolam e pousam na vertical, possuem alta mobilidade e boa planagem; já o segundo são mais simples de controlar, possuem maior resistência e conseguem capturar imagens de longas distâncias, normalmente usados para cobrir grandes áreas (MELO, 2015). Pode-se observar os exemplos de cada VANT citado na Figura 28.



Figura 28: VANTs de asa rotativa (esquerda) e asa fixa (direita)
Fonte: Pecharromán (2010)

Apesar de tais vantagens, estes modelos de VANTs apresentam, cada qual, suas vantagens. Os VANTs de asas fixas normalmente têm necessidade de equipamentos de delocagem e pouso e não podem ser usados para atividades que requeiram baixíssimas velocidades de voo nem podem ser usados em locais confinados; já os VANTs de asas rotativas, apesar de terem a capacidade de pairarem no ar (caso o sistema de propulsão seja totalmente na vertical), de serem ideais para trabalhos em locais confinados e de poderem delocar e pousar na vertical, acabam tendo uma velocidade e uma autonomia de voo reduzida, e isto tem influência direta na capacidade de carga dos mesmos (REYES, 2018).

Diante de tal cenário, pesquisadores e o setor industrial de aviação têm trabalho num novo conceito de VANT, um capaz de abranger todas as vantagens de ambos os modelos de VANTs, ou seja, os de asa fixa e os de asa rotativa. Este novo veículo aéreo é o VANT Híbrido. De acordo com Vendrichoski (2017), o desenvolvimento dos VANTs Híbridos ainda estão na fase inicial, entretanto, há um grande espaço e perspectiva para que tais VANTs se tornem maduros em diferentes termos tais como design, modelagem dinâmica, controle, autonomia e robustez (SAEED et al., 2018).

Os VANTs Híbridos possuem uma classificação própria e para mais detalhes, pode-se consultar Saeed et al. (2018). Na Figura 29 tem-se um exemplo de tais VANTs.

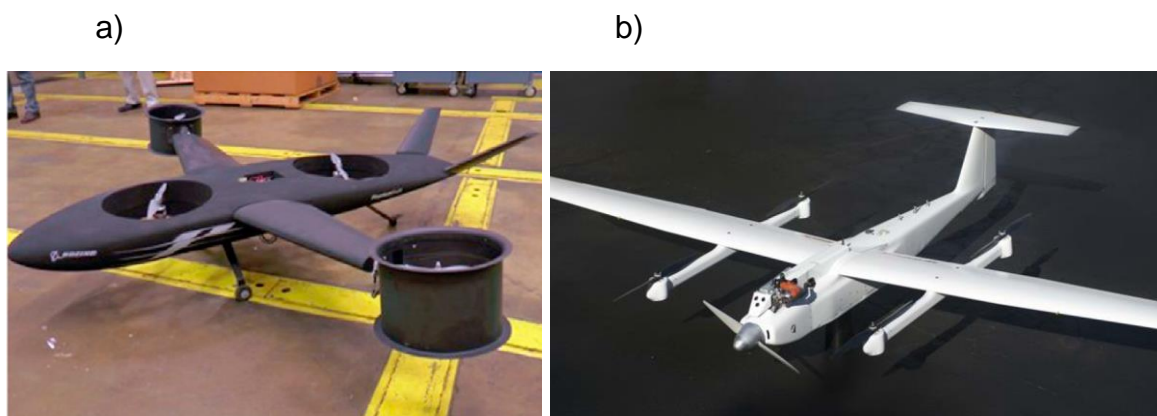


Figura 29: VANTs Híbridos. a) Modelo Phantom Swift; b) Modelo SLT
Fonte: Saeed et al. (2018); Hadi et al. (2015)

Para Saeed et al. (2018), dado sua crescente popularidade, os VANTs Híbridos terão um futuro brilhante e formarão prontamente um pilar essencial no mercado de VANT.

Nenhum estudo analisado neste trabalho utilizou VANT Híbrido para levantamento dos defeitos dos pavimentos rodoviários.

A classificação de VANTs com base no seu tamanho e autonomia de voo é comumente encontrada na literatura (BRANCO, 2016). A partir Austin (2011) e Bento (2008), temos a classificação dos VANTs conforme o Tabela 1:

Tabela 1: Classificação dos VANTs

Nome	Altitude do voo (m)	Autonomia (h)	Uso
HALE – <i>High Altitude Long Endurance</i>	15.000 – 20.000	24 – 48	Militar: reconhecimento e vigilância de áreas extensas
MALE – <i>Medium Altitude Long Endurance</i>	5.000 – 8.000	24 – 48	Mesma aplicação do HALE, mas para distâncias menores (< 500km)
TUAV – <i>Tactical UAV</i>	3.000 – 8.000	6 – 10	Mesma aplicação que as anteriores, mas alcance menor (100 – 300 km)
MUAV – <i>Mini UAV</i>	150 – 300	1 – 2	Aplicações civis e militares diversas (alcance de 30 km)
MAV – <i>Micro Air Vehicle</i>	250	< 2	Usadas em ambientes urbanos. Necessita de mais pesquisas
NAV – <i>Nano Air Vehicle</i>	250	1	Militar: confusão de radares ou vigilância de curtíssimo alcance

Fonte: Adaptado de Austin (2011) e Bento (2008)

O DoD (*Department of Defense*) classifica os VANTs de forma diferente, baseando-se no peso máximo de decolagem, na altitude de voo e na velocidade do voo, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Classificação dos VANTS segundo o DoD, Estados Unidos

Grupo	Máximo peso de decolagem (kg)	Altitude de voo (m)	Velocidade de voo (m/s)
1	Até 9,1	Até 365,80	Até 51,40
2	De 9,5 até 25	Até 1066,80	Até 128,60
3	Até 598,70	Até 5486,40	Até 128,60
4	> 598,70	Até 5486,40	Variada
5	> 598,70	> 5486,40	Variada

Fonte: Adaptado de DoD (2013)

2.7.1 Regulamentação

A legislação atual (Lei nº 7.565/86) prevê que para operação, qualquer aeronave deve ser autorizada. Portanto, para operar um VANT em território nacional é necessário possuir uma autorização expressa da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) ou um Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE) que é emitido de acordo com a Instrução Suplementar (IS) nº 21-002A, cabendo ressaltar que qualquer veículo autônomo em território nacional tem seu uso proibido (PECHARROMÁN, 2010).

Para o caso em que a finalidade do VANT não seja experimental, a ANAC analisará caso a caso a concessão ou não de autorização de voo (BENTO, 2015).

Para uma operação experimental, um CAVE deve ser solicitado à ANAC, conforme as seções 21.191 e 21.193 do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 21 – RBAC 2111, sendo que a IS 21-002 Revisão A12, orienta a emissão de CAVE

para VANT com os propósitos de pesquisa e desenvolvimento, treinamento de tripulações e pesquisa de mercado (PECHARROMÁN, 2010). Ainda, o Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica nº 91 – RBHA 9113, intitulado “Regras gerais de operação para aeronaves civis”, na seção 91.319, parágrafo (a), define que “Nenhuma pessoa pode operar uma aeronave civil com certificado de autorização de voo experimental (CAVE) para outros propósitos que não aqueles para os quais o certificado foi emitido, ou transportando pessoas ou bens com fins lucrativos”.

De acordo com Melo (2015), existe uma proposta de regulamentação da ANAC para operar um RPA (*Remotely-Piloted Aircraft*) varia com a sua classificação, sendo está baseada em seu Peso Máximo de Decolagem (PMD) e com os tipos de operação (propósito) e critérios visuais. Portanto, as RPAs são divididas em três classes:

Classe	PMD (kg)
1	<150
2	25 – 150
3	>25

Fonte: Adaptado de Melo (2015)

Já de acordo com os critérios visuais, pode-se ter:

- VLOS – *Visual Line of Sight* (Linha de Visada Visual): piloto mantém contato visual constante com o VANT;
- EVLOS – *Extended Visual Line of Sight* (Linha de Visada Visual Estendida): operação na qual um observador responsável por auxiliar o piloto, mantém constante o contato visual com o VANT;
- BVLOS – *Beyond Visual Line of Sight* (Além da Linha de Visada Visual): os critérios para operação em VLOS ou EVLOS não são respeitados.

Na Figura 30, temos um Fluxograma da Solicitação de Autorização para Operação de RPAS, conforme vem sendo explanado neste trabalho.

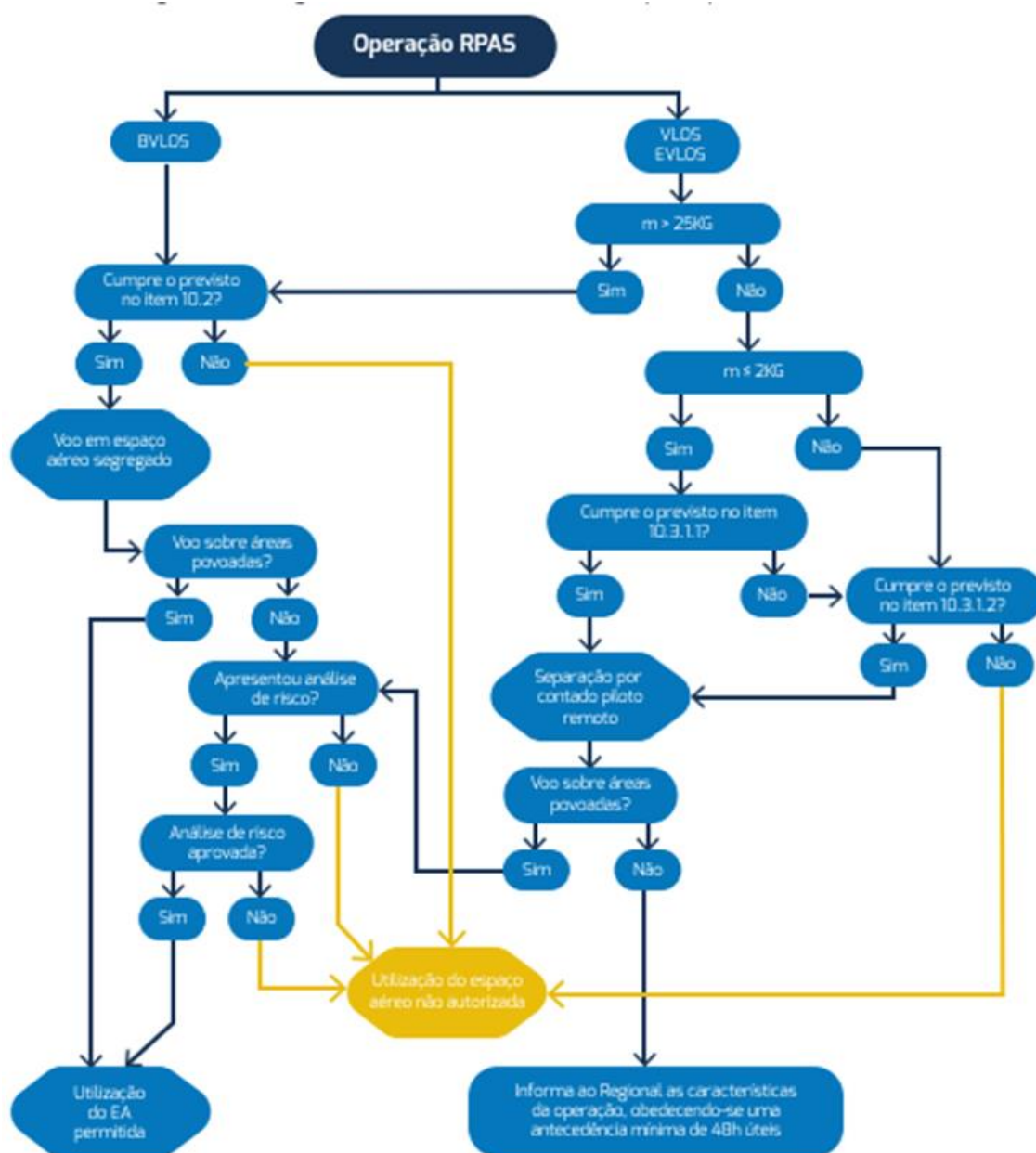


Figura 30: Fluxograma da Solicitação de Autorização para Operação de RPA
 Fonte: Pecharromán (2010)

Os diferentes propósitos a qual VANTs podem ser classificados são: experimentais, comerciais ou corporativas.

De acordo com Pecharromán (2010), a regulamentação atualmente em proposta pela ANAC é conforme se segue:

- Classe 3: peso menor ou igual a 25 kg.

- Aos equipamentos com peso menor ou igual a 25 kg se aplicará regra simplificada, constante na apresentação de manual de voo e avaliação de segurança.
- Os equipamentos que forem operados até 400 pés (120 m) acima do nível do solo e em linha de visada visual serão cadastrados (apresentação de informações sobre o operador e equipamento).
- Todos os pilotos deverão ser maiores de 18 anos.
- Não será requerido Certificado Médico Aeronáutico.
- Serão requeridas licença e habilitação para quem pretender operar acima de 400 pés (120 m).
- Não será necessário registro dos voos.
- A operação em áreas urbanas e aglomerados rurais, máximo de 200 pés (60 m) acima do nível do solo.
- O regulamento viabiliza a operação de RPAS, apresentando o que deve ser observado pelo operador. Caso as atividades ocorram perto de pessoas não envolvidas, se requererá sua anuência expressa. Algumas modalidades requererão autorização.

2.7.2 Aplicações Diversas

As aplicações envolvendo essa nova tecnologia são das mais variadas. Isso porque os VANTs permitem que sejam acoplados em si os mais diversos tipos de equipamentos tais como câmeras fotográficas, GPS (*Global Position System*), scanners dentre outros.

Com já citado, essa tecnologia surgiu e se difundiu primeiramente no mundo militar e hoje possui uma ampla gama de aplicação nesse meio. Entretanto, aéreas como Infraestrutura, Transportes Entretenimento, Telecomunicações, Mineração, Segurança, Atividades Humanitárias e Engenharias vem se apropriando cada vez mais das vantagens dos VANTs. A seguir será apresentado um breve background dessas aplicações com ênfase na Engenharia Civil.

2.7.2.1 Canteiro de obras e inspeção de estruturas

A utilização de VANTs no canteiro de obras, apesar de parecer promissor, carece ainda de trabalhos mostrando sua real aplicabilidade e eficiência. Entretanto, em Melo (2015) e Irizarry (2015) podemos ver exemplos de uso de VANTs em canteiro de obras em que Melo (2015) enfatiza a segurança, através de VANTs, no canteiro de obras e Irizarry et al., (2015) busca avaliar a potencialidade de uso de VANTS na obtenção de mídias (fotos e vídeos) do canteiro de obras. Este último trabalho contou com 4 diferentes canteiros, sendo um no Brasil e três nos Estados Unidos.

No que se refere a Inspeção de Estruturas, existe a dificuldade inerente de se fazê-la, pois no geral é necessário acessar locais de difícil acesso, seja pela sua insalubridade ou por apresentar risco à vida humana. Tais estruturas aqui tratadas são barragens, pontes, torres, prédios com muitos andares, etc.

Como exemplo, temos que por meio de uma câmera de alta resolução acoplada a um VANT de asa rotativa, Eschmann et al. (2012) propõe escanear as fachadas de prédios e os resultados mostraram, de modo geral, ser possível gerar uma importante base de dados para a inspeção visual de prédios.

2.7.2.2 Transportes

Por serem altamente versáteis, rápidos e possuírem um baixo custo (PECHARROMÁN, 2010), os VANTs podem atuar no setor de transportes servindo como um meio de entrega de serviços e encomendas, por exemplo. Mas quando falamos em transportes do ponto de vista da engenharia, ou seja, controle de tráfego, monitoramento de rodovias, análise de defeitos e etc., os VANTs ganham ainda mais importância, sendo sua incorporação aos departamentos responsáveis por esse setor cada vez mais comum (CAMPOS, 2004).

De acordo com Melo (2015), dentro do ramo de transportes, os VANTs podem ser utilizados para monitoramento das condições ambientais do entorno das rodovias, controle de avalanches ao longo das mesmas, monitoramento de acidentes e resgate, mapeamento, rastreamento, inspeção de segurança,

monitoramento de estruturas e pavimentos, coleta de dados em reformas e manutenções e vigilância para controle de tráfego.

Os trabalhos de Karan et al. (2014), Themistocleous et al. (2014), Zhang (2008), Gomes Junior e Duarte (2018), Parente et al. (2017), Branco (2016), Resente et al. (2012) demonstram um esforço para a criação de uma metodologia de aplicação de VANTs voltados ao setor de Transportes de modo geral.

3 MÉTODO

Este trabalho, segundo a abordagem da pesquisa, classifica-se como uma Pesquisa Quantitativa, uma vez que busca a objetividade e se pretende analisar e contextualizar as publicações (artigos, teses, monografias, TCCs) nos meios da comunidade científica (revistas, periódicos), estabelecendo assim, um Estado da Arte para o tema proposto.

Essa pesquisa, segundo a sua natureza, pode ser considerada como Pesquisa Aplicada e interpretativa, sendo que o autor se propôs a investigar os métodos utilizados em pesquisas envolvendo VANTs com o auxílio do Sensoriamento Remoto para o Levantamento de Defeitos em Pavimentos Rodoviários, além de responder à questão “qual o Estado da Arte de pesquisas envolvendo esses temas?”

O trabalho segundo os objetivos pode ser classificado, de acordo com Gil (2008), como Pesquisa Exploratória, já que o trabalho se limita a constituir um conhecimento que se permita posteriormente elaborar Hipóteses, aprimorando ideias e consolidando o conhecimento no tema proposto (SAKOMO; SILVEIRA, 2014).

Quanto aos procedimentos, a pesquisa possui caráter Bibliográfico, que em resumo,

[...] procura explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas em documentos. Pode ser realizada independentemente ou como parte de pesquisa descritiva ou experimental. (CERVO; BERVIAN, 1996, p. 48).

Soares e Maciel (2000) afirmam que essas pesquisas bibliográficas possuem como objetivo inventariar e sistematizar a produção em determinada área do conhecimento.

3.1 MATERIAL

Os materiais utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram artigos científicos, teses, monografias e TCCs.

3.2 TÉCNICA

A elaboração deste trabalho será feita mediante a análise crítica dos materiais, buscando identificar a localidade em que o estudo foi feito, o material utilizado (tipo de VANT, softwares, etc.), a metodologia adotada pelos pesquisadores, os objetivos desses trabalhos e os resultados e limitações dos mesmos.

A partir desse cenário, o trabalho em questão buscará mostrar, portanto, as possíveis lacunas existentes, os desafios e as possibilidades nesse campo de pesquisa.

3.3 PROCEDIMENTO

Para a seleção dos trabalhos que a posteriori serão analisados, seguiu-se alguns procedimentos definidos por Romanowski (2002) para a realização de trabalhos do tipo Estado da Arte, com as devidas adaptações para este trabalho em questão. São eles:

- Definição dos descritores para direcionar as buscas a serem realizadas;

A partir da problemática “qual o Estado da Arte em pesquisas envolvendo VANTs para o levantamento de defeitos em pavimentos rodoviários?”, passou-se à fase de buscas de pesquisas que envolvam tais temas. As palavras-chave usadas para essas buscas foram “VANTs; UAVs; UAS RPAs; SANTs; Veículos Aéreos Não Tripulados; Sistema de Aeronave Não Tripulada; Unmanned Aerial Vehicles; Unmanned Aerial System; Remotely-Piloted Aircraft; Pavement Maintenance; Road Maintenance; Conservação de Pavimento; Manutenção de Pavimento; Conservação de Rodovias; Manutenção de Rodovias; Remote-Sensing; Detecção Remota; Sensoriamento Remoto.”

- Localização dos bancos de pesquisas;

Toda pesquisa se deu de forma online. Os bancos de pesquisas selecionados para este trabalho foram IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos), Springer, Elsevier, Scielo, Portal de Periódicos CAPES (Coordenação

de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Entretanto, após um baixo número de trabalhos encontrados, adotou-se também o Google Acadêmico.

- Estabelecimento de critérios para a seleção do material que compõe o corpus do estado da arte;

Estabeleceu-se dois critérios. O Critério de Inclusão (CI) e o Critério de Exclusão (CE). Portanto, tem-se:

(CI 1) Estudos que apresentem técnicas e metodologias para o levantamento de defeitos através de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou qualquer dos nomes dados (RPAs, UAVs, etc.);

(CI 2) Estudos escritos nos idiomas Português ou Inglês;

(CE 1) Estudos que não apresentem técnicas e metodologias para o levantamento de defeitos através de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou qualquer dos nomes dados (RPAs, UAVs, etc.);

(CE 2) Estudo em que não seja possível o acesso na íntegra.

- Coleta do material de pesquisa, selecionado junto às fontes já citadas;
- Leitura das publicações com elaboração de síntese preliminar, considerando o tema, os objetivos, as problemáticas, metodologias e as conclusões;
- Organização do relatório do estudo compondo a sistematização das sínteses, identificando as tendências dos temas abordados e as relações indicadas nas teses e dissertações;
- Análise e elaboração das conclusões preliminares.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os trabalhos apresentados aqui seguem uma linha cronológica (do mais antigo para os mais atuais). Conforme estabelecido no Método, os trabalhos classificados como “Aceitos” foram dez (10) e os trabalhos classificados como “Excluídos” foram trinta e seis (36).

O total de trabalho que se teve acesso, portanto, foi de quarenta e seis (46). Este número elevado reflete à questão de melhoramento do método, ou seja, deve-se atentar às palavras-chave escolhidas e refinar os Critérios de Inclusão e Exclusão de trabalhos.

Para iniciar esta análise, começa-se com uma série de artigos desenvolvidos por Herold et al. (2004), Herold e Roberts (2005) e Herold et al. (2007) em que os autores abordam, a partir do primeiro trabalho intitulado “*Road Condition Mapping With Hyperspectral Remote Sensing*” o uso da espectrometria de campo juntamente com o sensoriamento remoto hiperespectral com o objetivo de explorar as condições das estradas. O estudo utilizou-se de medidas de variância espacial através de um conjunto de imagens e correlacionou o sensoriamento remoto com os índices de condição dos pavimentos, uma vez que a degradação e o envelhecimento dos pavimentos possuem características espectrais especiais, ou seja, passíveis de identificação. O último trabalho “*Imaging Spectrometry and Asphalt Road Surveys*” é um estudo que integra espectrometria terrestre, imagem espectrométrica, e análise *in situ* das condições do pavimento, em que a idade do asfalto e a sua deterioração é captada por um campo espectrométrico. Inicialmente, estes trabalhos estavam classificados como “Excluído”, pois não tratavam diretamente do tema proposto por este Trabalho de Conclusão de Curso (Aplicação de VANTs para o levantamento de defeitos em pavimentos), mas estes são um dos primeiros estudos em que há a sugestão explícita do uso de VANTs para o levantamento dos defeitos de pavimentos, sendo o VANT uma nova e emergente tecnologia, além de econômica para o levantamento de informações de sensoriamento remoto (HEROLD et al., 2007).

A seguir, já dentro do tema proposto, tem-se o trabalho apresentado como conclusão de curso intitulado “*Integrating Pavement Crack Detection and Analysis Using Autonomous Unmanned Aerial Vehicle Imagery*” em que Grandsaert (2015) analisa o uso de VANT para aquisição de imagens e posterior identificação de defeitos do tipo Fenda, sendo que esta não será classificada quanto a sua severidade ou tipo. O VANT utilizado é do modelo Telemaster, possuindo asas fixas

e considerado de pequeno porte; a câmera acoplada no VANT possui resolução de 16 Megapixels (MP), modelo GE Prosillica 1660C. O voo foi realizado em Camp Atterbury, Indiana, Estados Unidos.

A metodologia empregada por Grandsaert (2015) é baseada na Visão Computacional, ou seja, uso de algoritmos para a identificação das Fendas. Utilizou-se a técnica *Thresholding* (Limiar, em Português), um processo de conversão de valores de intensidade de pixel que podem variar de 8 bits inteiros a 32 bits inteiros, gerando valores binários de um ou zero, sendo uma técnica útil para determinar se um pixel faz parte ou não de uma fenda, mas possui a desvantagem de depender das condições de iluminação em que as imagens foram geradas (GRANDSAERT, 2015). As imagens foram transformadas em escalas de cinza, uma vez que os algoritmos utilizados dependem de tal transformação.

Na prática, a técnica *Thresholding* apresentou muitos ruídos, o que tornou necessário a implementação de um algoritmo adicional para reduzir os falsos positivos e, além disso, para obter dados de defeitos precisos, os pixels de fendas que estão próximos um do outro precisam ser conectados, enquanto os falsos positivos precisam ser removidos (GRANDSAERT, 2015). Para realizar a conexão entre pixels, Grandsaert (2015) utilizou grafos, termo utilizado na matemática que apresenta uma estrutura topológica não trivial, composto por um conjunto de vértices (nós) que são interligados por meio de arestas (BARABÁSI, 2016), permitindo, com isso, que as arestas de pixels em potencial sejam conectadas com as arestas de pixels próximos (GRANDSAERT, 2015).

Portanto, Grandsaert (2015) implementa o algoritmo *Kruskals* (código aberto). Tal algoritmo “procede escolhendo a aresta de menor distância e retendo-a apenas se conectar um novo nó; as arestas que conectam os nós já visitados são removidas; depois que todos os nós estão conectados, o algoritmo está concluído” (GRANDSAERT, 2015, p. 26).

Para avaliar o sucesso do algoritmo, Grandsaert (2015) utilizou duas medidas padrões de acurácia, Precisão e *Recall* (Retorno). Essas duas medidas são responsáveis por dois erros que um algoritmo pode produzir e podem ser combinados em uma Medida – F. Para calcular cada uma destas medidas, pode-se ver as equações abaixo.

$$\text{Precisão} = \frac{\text{Verdadeiros Positivos encontrados pelo algoritmo}}{\text{Verdadeiros Positivos} + \text{Falsos Positivos}}$$

$$Recall = \frac{\textit{Verdadeiros Positivos encontrados pelo algoritmo}}{\textit{Verdadeiros Positivos + Falsos Negativos}}$$

$$\textit{Medida - F} = \frac{2 * Recall * \textit{Precisão}}{Recall + \textit{Precisão}}$$

Um ser humano é capaz de atingir uma Medida – F próximo de 100; um algoritmo deve ser considerado de sucesso se ele atingir uma Medida – F de pelo menos 95 (GRANDSAERT, 2015).

Por fim, para atingir um resultado mais preciso, Grandsaert (2015) utilizou a técnica de Equalização de Histograma, que consiste em espalhar as intensidades das imagens em tons de cinza até os extremos dos intervalos possíveis; se o valor de intensidade do pixel mais escuro for 50 e seu valor de intensidade mais brilhante for 150, cada valor será alterado de acordo com a sua posição relativa na imagem original (GRANDSAERT, 2015).

A maior Medida – F alcançada foi de 35, bem abaixo do valor considerado de sucesso (95), o que torna aparente as necessidades de mudanças futuras que produzam uma Medida – F aceitável (GRANDSAERT, 2015).

Foram feitas diversas tentativas para se obter sucesso nas medidas previstas por Grandsaert (2015). Alterou-se as medidas de intensidade das imagens analisadas e mudou-se consideravelmente o algoritmo original. “Entretanto, o algoritmo original e todas as variações subsequentes não se mostraram úteis o suficiente para aplicação imediata” (GRANDSAERT, 2015, p. 36).

Apesar disso, através das imagens, Grandsaert (2015) tentou calcular o PCI (*Pavement Condition Index*), um índice combinado de defeitos que fornece a condição de superfície do pavimento, por meio de uma nota de 0 a 100, que auxilia na tomada de decisões quanto à atividade de Manutenção e Reabilitação (M&R) de pavimentos.

Entretanto, os resultados apresentados pelo trabalho demonstram que a atual metodologia apresentada não está apta para uso operacional, uma vez que o algorítmico desenvolvido apresentou falhas de execução. Entretanto, o PCI calculado pode ser transferido para a base de dados PAVER, um sistema de gerenciamento de infraestrutura do Departamento de Defesa dos Estados Unidos podendo ser posteriormente aproveitado. Grandsaert (2015) ainda relata que este

tipo de trabalho se faz importante uma vez que joga luz ao tema ainda pouco explorado.

As limitações do trabalho foram diversas, dentre as quais cabe destacar: o algoritmo de autopiloto não seguia as direções da rodovia; voos diferentes um do outro, dificultando uma padronização; a identificação de fendas não se mostrou aceitável para substituir o trabalho humano; e por fim, a metodologia não inclui muitos dos principais defeitos comumente encontrados nos pavimentos rodoviários, tais como painéis e remendos.

Todas essas limitações apresentadas sugerem lacunas a serem exploradas por novas pesquisas e investigações científicas.

Em Branco et al. (2015), um estudo que supre grande parte das lacunas apresentadas no trabalho anterior, conduzido na cidade de São Carlos – São Paulo, Brasil, os autores se propõem a criar um método eficiente e com um bom custo-benefício para a avaliação da condição de superfície de preservação dos pavimentos rodoviários usando VANT. Para tal, desenvolvem uma metodologia chamada MaNIAC-UAV (*Methodology for Asphalt Automatic Characterization – using Unmanned Aerial Vehicles*) que é dividida em três fases: Pré-Processar, Detectar Asfalto e Identificar Defeitos. Esta metodologia funciona como uma máquina que possui entrada e saída de informações. Como ENTRADA de dados, são utilizadas imagens de alta resolução espacial (4cm/pixel) obtidas através de um *payload* (câmera com resolução de 16 MP, ou seja, 4.0 cm/pixel, modelo CANON S110) acoplado em um UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*, traduzido como VANT); como SAÍDA, é gerado um relatório de defeitos conforme a terminologia adotada pela norma DNIT 005/2003 – TER. Este processo pode ser visto na Figura 31.

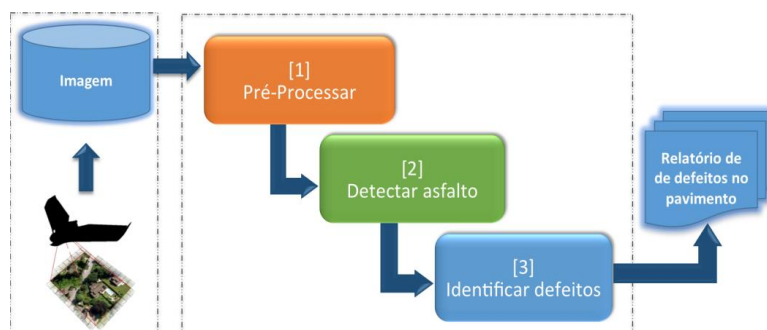


Figura 31: Macrovisão da metodologia MANIAC
 Fonte: Branco (2016)

O software utilizado neste trabalho para a Detecção do Asfalto (segunda etapa) foi o SPRING (Sistema de PRocessamento de INformações Georeferenciadas), sendo escolhido por ser um SIG (Sistema de Informação Geográfica) de código aberto. O VANT utilizado na pesquisa foi do modelo *eBee*, um VANT elétrico, de pequeno porte e asas fixas.

Os Resultados deste artigo são parciais e de acordo com os autores serão divulgados em artigo futuro. Entretanto, analisando a Tese de Doutorado intitulada “MANIAC: uma metodologia para o monitoramento automatizado das condições dos pavimentos utilizando VANTs” dos mesmos autores, chegou-se à conclusão de se tratar do mesmo estudo. Sendo assim, será apresentado agora os resultados da tese supracitada.

Na classificação das fotografias aéreas por fotointerpretação, os ambientes alvos (neste caso, rodovias e estradas asfaltadas) foram previamente identificados e sobre esses ambientes (classes) foram gerados polígonos. Este mosaico de polígonos foi convertido em um mapa de classes áreas com asfalto e sem; cada polígono recebeu um nome da classe a qual pertencia e foram atribuídas cores para diferenciar tais classes, o que gerou o mapa de estradas pavimentadas. Tal método de trabalho garantiu bons resultados, a cada nova via para análise deveria ser feito todo este processo novamente. Como o trabalho se propôs a um monitoramento automatizado das rodovias, Branco (2016) utilizou-se de Aprendizado de Máquinas para a automação deste processo (BRANCO, 2016).

Para a fase de Detectar Asfalto, Branco (2016), fazendo uso do SIG SPRING, empregando a Aprendizagem de Máquina através da técnica *Random Forest* (RF), subdividiu esta etapa em duas: treinamento e detecção. Utilizou-se de 30% de imagens aleatórias para a amostra durante a fase de treinamento. Para cada imagem segmentada, extrai-se propriedades e características (conhecidas como *features*) fundamentais para a fase de treinamento e posterior detecção de asfalto. Branco (2016) realizou classificações por pixel e por região. Para ambas as classificações, realizou-se uma classificação supervisionada e uma não-supervisionada. O método de classificação supervisionado mostrou-se mais eficiente tanto com o uso de pixel, quanto com o uso de regiões, e o mesmo foi adotado no trabalho como um todo.

No que consiste à etapa Identificar Defeitos, Branco (2016) utiliza-se de aprendizagem não-supervisionada e também subdivide em duas fases: treinamento

e detecção. Para cada imagem segmentada, extrai-se propriedades e características (conhecidas como *features*) fundamentais à fase de treinamento e posterior identificação de defeitos. Após o treinamento baseados numa série de *features*, Branco (2016) utilizou a técnica de detecção de anomalias (defeitos) chamada *EllipticEnvelope*.

Identificados os defeitos nas superfícies asfálticas, Branco (2016) passa à etapa Extração de Forma que gera a morfologia da região classificada como defeito. Após isso, e por meio da técnica de Aproximações Poligonais, os contornos dos defeitos são convertidos em formas poligonais. Esta etapa é necessária para que se seja feita posteriormente a Classificação do Tipo de Defeito em Fenda, Panelas ou Remendos. “Os processos Detectar Asfalto e Identificar Defeitos constituem o coração da metodologia” (BRANCO, 2016, p. 142).

O trabalho incluiu três experimentos (E1, E2, E3), cada um seguindo as três etapas previstas na metodologia (Pré-Processar, Detectar Asfalto e Identificar Defeitos). E1 consiste em uma área menos povoada; E2 é uma área mais povoada; E3 é uma área localizada em uma rodovia.

A primeira etapa é comum para todos os experimentos, ou seja, é feito um pré-processamento das imagens obtidas pelo VANT e posterior aplicação do filtro Bilateral. De acordo com Branco (2016), este é um filtro que suaviza as bordas dos elementos nas imagens e atenua ruídos, em que considera os pixels vizinhos com pesos associados a cada um deles. A Acurácia e a Precisão dos experimentos estão na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados dos experimentos

ACURÁCIA; PRECISÃO		
	Detectar Asfalto	Identificar Defeitos
E1	99%; 99%	82%; 78%
E2	97%; 98%	92%; 91%
E3	99%; 99%	96%; 96%

Fonte: Adaptado de Branco (2016)

De acordo com Branco (2016), a acurácia obtida, quando comparada com o que se encontra na literatura, “foi muito boa” (BRANCO, 2016, p. 149), cita que,

mesmo no caso mais complexo, E2, obteve-se uma acurácia e precisão de, respectivamente, 97% e 98% que, em comparação com o que se encontra na literatura, em torno de 90% a 93%, segundo Branco (2016). Com esses valores foi possível, portanto, validar a metodologia MANIAC.

A Tabela 5 apresenta os defeitos identificados na terceira etapa

Tabela 5: Defeitos identificados nos experimentos

Identificar Defeitos			
	Fendas	Remendos	Panelas
E1	x	x	
E2	x	x	x
E3	x	x	x

Fonte: Adaptado de Branco (2016)

Por fim, Branco (2016) calcula o Índice de Gravidade Global (IGG) adotado pela norma DNIT 006/2003 e compara com o Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE), sendo este feito através do Levantamento Visual Contínuo (LVC) adotado pela norma DNIT 008/2003 – PRO IPR. Entretanto, o IGGE foi adaptado para um Índice de Gravidade Global Expedito por imagem. Portanto, tem-se conforme a Tabela 6:

Tabela 6: IGG e IGGE para os experimentos

	IGG	IGGE
E1	4,00 "Ótimo" (DNIT 06/2003) "Bom" (DNER 08/1994)	6,00 "Ótimo" ou "Bom"
E2	21,00 "Bom" (DNIT 06/2003) "Regular" (DNER 08/1994)	34,00 "Bom" ou "Regular"
E3	2,00 "Ótimo" (DNIT 06/2003) "Bom" (DNER 08/1994)	2,00 "Ótimo" ou "Bom"

Fonte: Adaptado de Branco (2016)

Dos principais resultados encontrados no trabalho de Branco (2016), pode-se destacar: detecção automática de desgastes de pavimento; novas aplicações da técnica de detecção de anomalias e a própria metodologia MANIAC.

Como limitações e dificuldades da abordagem, tem-se: utilização de VANTs dependente do clima, não podendo ser utilizado em dias chuvosos; existência de elementos que podem obstruir a visão das imagens obtidas, tais como automóveis, árvores, etc.; a regulamentação do uso de VANTs, sendo que o voo em áreas povoadas não foi permitido, dentre outros.

Como recomendações para pesquisas futuras, Branco (2016) destaca que é possível estender os tipos de defeitos que podem ser detectados pela MANIAC, efetuar ajustes para detectar defeitos no pavimento em imagens obtidas por meio do *Street View* da Google.

Petkova (2016), na dissertação de mestrado intitulada “*Deploying Drones For Autonomous Detection Of Pavement Distress*” busca demonstrar as capacidades de aplicações de drones para a execução de uma inspeção autônoma do pavimento; Petkova (2016) também desenvolve um sistema capaz de enviar drones para inspecionar determinada área, diagnosticar a presença (ou não) de problemas (panelas/buracos) no pavimento em tempo real e gravar imagens e coordenadas dos locais que necessitam de reparos.

O drone (VANT) utilizado foi o 3DR; a câmera utilizada foi uma GoPro Hero4 Black, com resolução de vídeo de 1080 pixels e a área de voo foi em Massachussets, Boston, Estados Unidos. Cabe destacar que a altitude de voo do drone foi de 3 a 4 metros acima do solo (PETKOVA, 2016).

Num total de 63 imagens coletadas durante o voo, o número de Verdadeiros Positivos (*True Positives*, TP) foi de 23, enquanto o número de Falsos Negativos (*False Negatives*, FN) foi de 3, resultando em uma taxa de *recall* (retorno) de 87%. A taxa de *recall* é calculada como o quociente entre os buracos que foram corretamente detectados (TP) pelo número total de buracos existentes (TP + FN) (PETKOVA, 2016).

$$Recall (\%) = \left(\frac{TP}{TP + FN} \right) * 100$$

Como metodologia de Detecção de Panelas, Petkova (2016) utilizou um algoritmo na linguagem de programação *Python* e com auxílio da biblioteca *OpenCV* de acesso livre e que usa um conjunto variado de atributos e características (*features*) para extrair anomalias (defeitos) das imagens. Para o uso de tal algoritmo,

primeiro faz-se uma Conversão para a Escala de Cinza, transformando-a em uma imagem binária, onde é possível distinguir pavimento em boas condições de pavimentos com defeitos; a seguir é feita uma Suavização da Imagem para a remoção de possíveis ruídos; fez-se uma Segmentação da Imagem, onde a intensidade do valor do pixel diferencia o pavimento em boas condições de pavimentos com defeitos. Ou seja, para valores de pixels iguais ou inferiores a 109, o pavimento é considerado em boas condições, enquanto que valores de pixels entre 110 e 255 foram classificados como de possíveis *features* (defeitos) de interesse; logo após, realizou-se a Remoção de Ruídos baseado nos valores de pixels (0 ou 1) próximo à área de interesse; fez-se um Encaixe de Contorno em que a área de interesse foi contornada de forma elíptica; por fim, foi utilizada uma Função de Decisão com o objetivo de classificar a área de interesse como Panela ou não. Tal função teve como variáveis a Textura, a Circularidade, a Solidez e o Tamanho. A Figura 32 mostra o resultado de uma imagem dessa metodologia.



Figura 32: Resultado da metodologia e saída do algoritmo de Petkova para identificação de defeitos do tipo Panelas
Fonte: Petkova (2016)

O *payload* a bordo do drone, especialmente o processador, não permitiu o processamento dos dados recebidos em tempo real, entretanto, com um computador com melhor capacidade de processamento melhor, tal processamento foi possível de forma offline. Este fato (o poder de processamento do hardware do drone) pode ser considerado como um dos maiores impedimentos (limitações) do trabalho, sendo que a classificação em solo e offline não atende aos requisitos de classificação automática em tempo real proposto inicialmente pelo estudo.

Outro problema encontrado no estudo de Petkova (2016) é fato de que a autonomia da bateria permitia apenas 25 minutos de voo; quando adicionado o *payload*, essa autonomia reduzia para 20 minutos apenas.

Outros problemas relatados com o modelo de VANT utilizado neste trabalho foram: baixa conectividade com o controle, interrupções recorrentes no *stream* de vídeo, interferências magnéticas, e a necessidade de calibrações frequentes dos sensores.

Além disso, Petkova (2016) relata problemas com a utilização do software Solo (*open source*) que, apesar de ser novo e possuir um grande potencial de se estabilizar com o passar do tempo, apresentou um grande número de *bugs* (erros) durante o processamento.

Assim como trabalhos analisados anteriormente, este também apresenta o inconveniente de funcionar apenas em boas condições climáticas.

Na conclusão, Petkova (2016) destaca, novamente, que a grande limitação do trabalho em questão foi o processamento do hardware acoplado no VANT e que, para trabalhos futuros, com um processador mais potente, o sistema proposto mostra potencial de utilização para a detecção de patologias em tempo real.

Outro apontamento para trabalhos futuros dado por Petkova (2016) é a introdução de sensores do tipo LiDAR, capaz de fornecer melhores informações.

No artigo intitulado “*Utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) na identificação de patologia superficial em pavimento asfáltico*”, de Parente et al. (2017), um dos poucos escritos em português (são apenas dois), tem-se o destaque, já no Resumo, que o trabalho teve como propósito desenvolver um procedimento alternativo para a identificação das patologias superficiais em pavimentos asfálticos. O local de realização do voo foi em um trecho da rodovia estadual TO-050, localizado em Palmas, Tocantins, Brasil.

O modelo do VANT utilizado foi o *Ebee*, o mesmo utilizado em Branco (2016). As características do VANT, portanto, já foram citadas nesta Seção. Duas câmeras foram utilizadas: uma câmera NIR e uma câmera RGB. Parente et al. (2017) não cita os modelos e nem as resoluções das câmeras. Os softwares utilizados foram o eMotion 2 (programação do voo e execução do trajeto da aeronave) e o Terra 3D (responsável pelo processamento das imagens).

Os defeitos mais comuns encontrados neste artigo foram: erosões de borda, remendos e afundamentos. Entretanto, verificou-se também a presença de desgastes superficiais e exsudações.

Para validar os resultados obtidos através dos VANTs, com os Modelos Digitais de Superfícies (MDS), ou seja, as imagens para análise, Parente et al. (2017) realizaram um levantamento em campo. Para tal, um número amostral de 10 áreas foi selecionado ao longo da superfície do pavimento (não fica estabelecido como essas 10 imagens foram selecionadas, se foram ao acaso ou não) e gerou-se uma tabela de comparação, conforme Figura 33:

Figura	Área in loco (m ²)	Área do MDS (m ²)	Diferença entre áreas (m ²)	Diferença percentual (%)
1	9,61	9,49	0,12	1,25
2	6,68	6,58	0,10	1,50
3	10,35	10,20	0,15	1,45
4	0,26	0,23	0,03	11,54
5	0,70	0,68	0,02	2,86
6	0,96	0,91	0,05	5,21
7	0,98	0,92	0,06	6,12
8	0,77	0,73	0,04	5,19
9	0,32	0,29	0,03	9,37
10	5,70	5,55	0,25	4,38

Figura 33: Comparativo entre parcela de áreas de remendos identificados
Fonte: Parente et al. (2017)

A margem de acerto quanto à similaridade foi de 95,43%. O trabalho adotou dois tipos de imagens: NIR e RGB. A NIR captura imagens que carregam dados na banda do infravermelho próximo; as imagens RGB obtêm imagens no espectro visível. Destaca-se que as imagens RGB se mostraram superiores para este tipo de trabalho.

Na Conclusão, Parente et al. (2017) voltam a destacar que o método proposto não pretende substituir os métodos tradicionais de levantamento de defeitos, mas apenas servir como um complemento. Destaca-se também que, por apresentar uma margem de acerto de 95,43%, a metodologia mostra-se promissora.

No artigo com título “*Object-Based And Supervised Detection Of Potholes And Cracks From The Pavement Images Acquired By UAV*”, Pan et al. (2017) reforçam uma das conclusões apresentadas por Parente et al. (2017) de que as imagens NIR não são adequadas para trabalhos envolvendo VANTs e posterior classificação, uma vez que imagens desta natureza apresentam um baixo contraste entre pavimentos com defeitos e pavimentos sem defeitos, dificultando a classificação. Portanto, Pan et al. (2017), assim como Parente et al. (2017), utilizam imagens RGB, apesar de serem trabalhos com metodologias diferentes, já que Parente et al. (2017) fazem uma classificação manual e Pan et al. (2017) utilizam-se de algoritmos computacionais de aprendizagem.

O título do artigo de Pan et al. (2017) deixam claro que os defeitos a serem analisados serão Panelas e Fendas e os mesmos serão classificados e calculados de acordo com quatro tipos de algoritmos de aprendizagem supervisionada, sendo eles:

- *K-Nearest Neighbours* (KNN) (K-ésimo Vizinho mais Próximo) é utilizado para o reconhecimento de padrões, sendo um classificador que se baseia no “quão similar” é um dado (vetor) do outro (JOSÉ, 2008);
- *Support Vector Machine* (SVM) (Máquina de Vetores de Transporte) é um algoritmo utilizado para problemas de reconhecimento de padrão, cujo objetivo é “classificar determinado conjunto de pontos de dados que são mapeados para um espaço de características multidimensional usando uma função kernel, abordagem utilizada para classificar problemas” (PORTELA et al., 2017, p. 1). As funções *kernel* utilizadas neste trabalho foram: linear, quadrática, cúbica e Gaussiana;
- *Artificial Neural Network* (ANN) (Rede Neural Artificial) são algoritmos de aprendizagem de máquina que são inspirados pela maneira que o cérebro humano trabalha na solução de problemas. O algoritmo normalmente é composto por três tipos de camadas (*layer*): de entrada (*input*), secreta (*hidden*) e de saída (*output*). De forma simples, cada camada cria certos nós que se conectam, imitando os neurônios humanos (FRANKENFIELD, 2020). O estudo utilizará quatro camadas secretas;

- *Random Forest* (RF) (Floresta Aleatória) é um algoritmo considerado flexível, popular e de fácil utilização. De acordo com Silva (2018, p. 1) “o algoritmo de florestas aleatórias cria várias árvores de decisão e as combina para obter uma predição com maior acurácia e mais estável”. Quanto maior o número de árvores de decisão, maior a acurácia obtida, até um certo limite. O número de árvores de decisões utilizadas neste trabalho é de 18.

Os parâmetros utilizados por Pan et al. (2017) para indicar os melhores resultados foram a Acurácia Elevada (definida como a razão entre o número de classificações bem-sucedidas pelo número total da amostra) e o Menor Tempo de Processamento do algoritmo.

O estudo foi realizado na área rural da cidade de Shihezi, Xinjiang, China. Não há menção ao modelo do VANT utilizado, apenas que o mesmo possui asas fixas e a altitude de voo foi de 30 metros. Duas câmeras foram utilizadas, uma que captura imagens multiespectrais e uma que captura imagens RGB. A primeira apresentou um baixo contraste entre pavimentos com defeitos e sem defeitos e por isso foi descartado o uso de tal câmera neste trabalho. Não há menção ao modelo utilizado e nem à resolução da câmera RGB (PAN et al., 2017).

No total, foram capturadas 126 imagens de alta resolução. O software *eCognition Developer* 9.0 foi utilizado para extrair os defeitos das imagens. As informações (classes) utilizadas para o treinamento dos algoritmos citados foram Painelas, Fendas e pavimentos sem defeitos. Por fim, um total de 1430 amostras (imagens) foram utilizadas, contendo 221 painelas, 678 fendas e 531 pavimentos sem defeitos. Para o treinamento dos algoritmos foi feita uma divisão dessas imagens e as mesmas foram selecionadas aleatoriamente para cada um dos algoritmos.

Pan et al. (2017) esclarecem que apenas três tipos de características podem ser retirados de imagens digitais. São elas: característica espectral, característica geométrica e característica de textura. Diante disso, e a fim de testar os algoritmos, Pan et al. (2017) realizaram uma série de seis combinações dessas características, ou seja, características espectral(C1); geométrica(C2); textura(C3); característica espectral e geométrica(C4); característica geométrica e de textura (C5); característica espectral, geométrica e de textura (C6).

Nos Resultados, Pan et al (2017) destacam que, para o algoritmo KNN, a melhor combinação de características foi a C5, uma vez que este conjunto apresentou uma acurácia geral de 98,81% e um tempo de processamento de 0.65s. Para o algoritmo SVM, a função *kernel* linear apresentou melhores resultados e a combinação C6 atingiu a melhor acurácia (98,95%) com um menor tempo de processamento (0.59s) sendo, portanto, considerada a melhor escolha para este modelo. Para o algoritmo ANN, a melhor escolha foi a combinação de características C4 que apresentou uma acurácia de 98,81% com um tempo de processamento de 0.35s. Na análise dos resultados apresentados pelo algoritmo RF cabe destacar que, quanto mais árvores de decisões forem implantadas, maior a acurácia. Portanto, para um RF com 18 árvores, o melhor modelo analisado foi o C4 que apresentou uma acurácia de 98,46% e um tempo de processamento de apenas 0.09s. Dessa forma, entre os quatro modelos apresentados, o algoritmo RF apresentou as melhores performances, ou seja, acurácia elevada e o menor tempo de processamento.

Apesar de o trabalho apresentar uma acurácia geral superior a 98%, Pan et al. (2017) sugerem que outros algoritmos de aprendizagem avançada podem ser implementados como o CNN (*Convolutional Neural Network* – Rede Neural Convolucional).

Nas Conclusões, Pan et al. (2017), assim como Petkova (2016), sugerem que os outros tipos de sensores remotos acoplados nos VANTs, dentre eles o LiDAR e o Radar, possuem grande potencial a ser explorado neste tipo de estudo.

No Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Análise De Levantamento De Defeitos Em Superfície De Pavimentos Asfálticos A Partir Do Uso De Aeronave Remotamente Pilotada (RPA)” Gomes Jr e Duarte (2018) buscaram analisar a aplicabilidade do levantamento de defeitos na superfície de pavimentos asfálticos com o uso de RPA. Para tal, Gomes Jr e Duarte (2018) realizaram um levantamento de defeitos por caminhamento (adaptado dos métodos do IGG e ICP) e o compararam com a classificação gerada a partir de imagens obtidas pelo RPA, sendo uma classificação manual e uma supervisionada.

O local de realização do estudo ocorreu nas proximidades da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, na cidade de Pato Branco, Paraná, Brasil. O trecho é considerado curto, já que sua extensão possui apenas 600 metros. O VANT utilizado foi o *Phantom 4 Advanced* da DJI, considerado de porte médio e asas

rotativas; a câmera utilizada foi do modelo *Phantom 4 Advanced*, possuindo resolução de 20MP. Para o processamento das imagens de alta resolução (1,39 cm/pixel), foi utilizado o software Agisoft Photoscan Professional; já para a classificação supervisionada dos defeitos, utilizou-se o software QGIS (*open source*).

Durante a etapa de treinamento de algoritmo, Gomes Jr e Duarte (2018) criaram seis categorias diferentes para classificação, sendo elas: Pavimento asfáltico em boas condições; Trincas, independentemente do tipo, e/ou desgaste; Pannels; Remendos; Vegetação (em sobreposição à imagem); Áreas de acostamento com presença de material argiloso.

Árvores e sombras dificultaram a visualização dos defeitos, assim como a vegetação e sujeira no pavimento causando imprecisão na hora do processamento e classificação das imagens e gerando erros nos resultados finais (GOMES Jr e DUARTE. 2018).

O plugin utilizado foi o SCP (*Semi-Automatic Classification Pugin*) sendo este um complemento do software QGIS e que realiza uma classificação semiautomática (supervisionada) utilizando-se dos pixels das imagens, sejam elas de satélite ou provenientes de VANTs, enquanto que a classificação manual foi realizada no programa AutoCAD.

Os métodos de classificação e os algoritmos utilizados na Classificação Supervisionada estão na Figura 34. Utilizou-se 12 e 24 amostras aleatórias para a classificação das imagens.

Método de Identificação	Número de Amostras	Algoritmo Classificador
Pixel	12 e 24	Minimum Distance
Polígono	12 e 24	Minimum Distance
Pixel	12 e 24	Maximum Likelihood
Polígono	12 e 24	Minimum Distance

Figura 34: Métodos de classificação e algoritmos utilizados
Fonte: Gomes Jr e Duarte (2018)

O algoritmo *Minimum Distance* apresentou resultados insatisfatórios tanto utilizando-se de pixels, quanto utilizando-se de polígonos, uma vez que os resultados obtidos não condiziam com a realidade, impossibilitando uma

comparação com qualquer outro método. O algoritmo *Maximum Likelihood* também não apresentou resultados satisfatórios, uma vez que houve grande discrepância entre os resultados obtidos. Gomes Jr e Duarte (2018) argumentam que esses resultados refletem a questão do baixo número de amostras utilizadas. Mesmo assim, os melhores resultados foram com o método de identificação que se utilizou de Polígonos.

No que concerne à Classificação Manual realizada, Gomes Jr e Duarte (2018, p. 90) explicam que “detectar e calcular a área dos defeitos presentes na superfície do pavimento [...] foi relativamente simples e rápido.” A dificuldade nesta etapa refere-se à presença de vegetação e sombra que encobre os defeitos.

Para efeito de comparação, o trabalho apresentou três análises. A primeira se refere à capacidade de identificação dos defeitos. Nesta, como a tentativa de classificação supervisionada foi insatisfatória, Gomes Jr e Duarte (2018) apenas comparam a Classificação Manual com o Levantamento por Caminhamento. Dos defeitos analisados, as Trincas tiveram uma diferença de detecção inferior a 1%, um resultado satisfatório para este tipo de defeito; no que se refere às Painelas, os resultados foram próximos, mas com uma diferença de mais de 19%. A explicação dada é que a presença deste defeito foi em baixa quantidade; cabe destacar também que o pior resultado foi quando se considerou os Remendos, apresentado uma diferença de cerca de 25%. Os autores atribuem a essa elevada diferença a dificuldade de medição deste tipo de defeito.

Na análise do que leva em consideração o tempo empregado, Gomes Jr e Duarte (2018) consideraram o trabalho manual e o processamento, este último com muita influência no resultado final. Os resultados podem ser vistos na Figura 35.

MÉTODO	TRABALHO MANUAL (h)	PROCESSAMENTO (h)	TEMPO TOTAL (h)
Levantamento por Caminhamento	8	0	8
Classificação Manual	8	9	17
Classificação Automatizada - 12 amostras	6	14 a 17	20 a 23
Classificação Automatizada - 24 amostras	6	26 a 30	32 a 36

Figura 35: Tempo necessário para a execução de cada uma das metodologias
Fonte: Gomes JR e Duarte (2018)

Na última análise, a de custos, Gomes Jr e Duarte (2018) citam que o custo total necessário às metodologias de levantamento com RPA é de R\$ 85.716,00. Já o custo total necessário às metodologias de levantamento por caminhamento é de R\$ 2.896,00.

Na seção de Considerações Finais, Gomes Jr e Duarte (2018) citam que os resultados obtidos pelo método da Classificação Supervisionada são insatisfatórios, não podendo serem utilizados em Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP). Recomendam a utilização de um maior número de amostras para trabalhos futuros, além de sugerirem a utilização de sensores hiperespectrais acoplados em VANTs. Por fim, Gomes Jr e Duarte (2018) destacam que a metodologia de Classificação Manual dos defeitos a partir de imagens obtidas através de VANT apresentaram resultados satisfatórios. Assim como citado por Parente et al. (2017).

No desenvolvimento do uso de imagens multiespectrais (MSI, *MultiSpectral Imagery*), o artigo "*Detection of Asphalt Pavement Potholes and Cracks Based on the Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery*" de Pan et al. (2018) apresenta-se como um dos primeiros a utilizar a tecnologia dos VANTs juntamente aos sensores multiespectrais, com o objetivo apresentar um modelo capaz de detectar e classificar os defeitos nos pavimentos, oferecendo com isso, informações capazes de alimentar um banco de dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP).

Neste estudo, Pan et al (2018) adotam uma série de similaridades com o estudo já relatado aqui em "*Object-Based And Supervised Detection Of Potholes And Cracks From The Pavement Images Acquired By Uav*", de Pan et al. (2017). Tal similaridade deve-se ao fato de que, provavelmente, este estudo seja uma extensão do primeiro.

No artigo de Pan et al. (2018), as imagens multiespectrais (MSI) de pavimentos adquiridas com o uso de VANT foram utilizadas para distinguir entre um pavimento em boas condições e um pavimento com defeitos (Fendas e Painéis, sendo os mais comuns encontrados nas rodovias, de acordo com estudo) através do uso de algoritmos de *Machine Learning* (Aprendizado de Máquina) tais como SVM, ANN e RF. Para o treinamento dos algoritmos, foram definidas três classes: painéis, fendas e pavimento sem defeito.

O VANT utilizado é de asa móvel, de pequeno porte, no qual está acoplado um sistema de imageamento multiespectral (câmera modelo MCA snap12, sem indicação de resolução); o local do estudo foi em uma área rural da cidade de

Shihezi, Xinjiang, China. A extensão total do pavimento foi de 500 metros, destacando-se que tal pavimento apresentava péssimas condições (PAN et al., 2018).

Para avaliar as vantagens (ou não) das imagens multiespectrais (MSI) na detecção de defeitos em pavimentos, Pan et al. (2018) dividiram todas as imagens adquiridas pelo VANT em duas subcategorias. Uma inclui as imagens RGB (Banda 5, Banda 3, Banda 1) enquanto a outra inclui as imagens multiespectrais (MSI), incluem todas as outras bandas (Banda 1 a Banda 12).

Cabe destacar que o número total de amostras (imagens fragmentadas) utilizadas no estudo foi de 1760, sendo 538 painéis, 753 fendas e 469 pavimentos sem defeitos. As combinações das características que se podem tirar de imagens digitais foram num total de 7 (no estudo anterior foram 6): característica espectral(C1); característica geométrica(C2); característica de textura(C3); característica espectral e geométrica(C4); característica espectral e de textura (C5); característica geométrica e de textura (C6); característica espectral, geométrica e de textura (C7) (PAN et al., 2018). Um fluxograma da metodologia empregada no trabalho é apresentado na Figura 36.

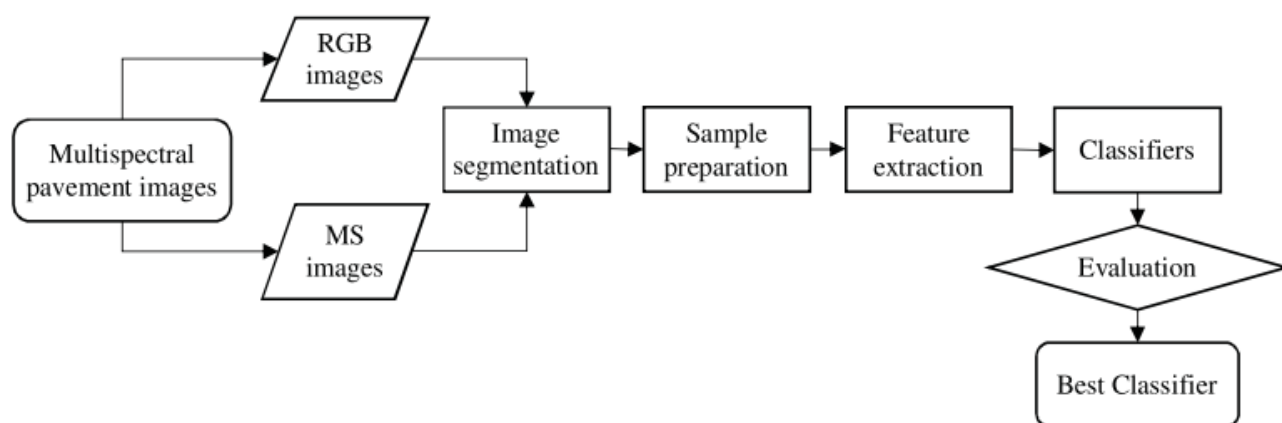


Figura 36: Fluxograma do experimento de detecção dos defeitos nos pavimentos
 Fonte: Pan et al. (2018)

Os parâmetros utilizados no estudo para indicar os melhores resultados foram a Acurácia Elevada (definida como a razão entre o número de classificações bem-sucedidas pelo número total da amostra) e o Menor Tempo de Processamento do algoritmo (PAN et al., 2018).

Nos Resultados, o algoritmo SVM com a função *kernel* linear, com a combinação C7 e utilizando imagem multiespectral apresentou os melhores

resultados, isto é, uma acurácia de 98,78% e um tempo de processamento de 0.63 segundos. Para o algoritmo ANN, o melhor modelo de combinação foi o C4, apresentando uma acurácia de 98,46% e um tempo de processamento de 0.21 segundos a partir de imagens multiespectrais; os resultados apresentados pelo algoritmo RF mostraram que a melhor combinação foi C7, apresentando um uma acurácia de 98,83% e um tempo de processamento de apenas 0.09 segundos. Estes resultados podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados dos algoritmos classificadores em Pan et al. (2018)

Modelo	SVM	ANN	RF
Acurácia	98.78%	98.46%	98.83%
Tempo de Processamento	0.63s	0.21s	0.09s

Fonte: Adaptado de Pan et al. (2018)

Para todos os algoritmos testados, as imagens multiespectrais apresentaram uma maior acurácia que as imagens RGB. No geral, dentre os três modelos (SVM, ANN e RF), o algoritmo RF com a combinação C7 e com 18 árvores de decisão apresentou a melhor performance. Entretanto, tais algoritmos são sensíveis à resolução espacial (textura e geometria), ou seja, quanto maior a resolução espacial, melhores os resultados (maiores acurácias). Tal fato traz algumas limitações, uma vez que quanto maior a resolução espacial, maior a necessidade de armazenamento. Além do mais, a resolução espacial é por si, sensível à altura de voo do VANT, ou seja, quanto menor a altitude, maior a resolução espacial. Mas isso implica em potenciais riscos para o tráfego e para as pessoas (PAN et al., 2018).

Pan et al. (2018) destacam que a acurácia geral do trabalho foi de 98.3%. Citam ainda que defeitos com escalas menores que a resolução espacial (fissuras, por exemplo) podem não ser detectadas durante o processo de segmentação das imagens.

Nas recomendações de trabalhos futuros, Pan et al. (2018) indicam a aplicação da metodologia no uso de diferentes rodovias (de concreto, de terra, de pedra/cascalho, etc.). Há também a recomendação do uso de sensores remotos do tipo LiDAR (já recomendado por outros trabalhos), além do uso de outros algoritmos como o CNN (*Convolutional Neural Network*)

Por fim, Pan et al. (2018) esclarecem que o uso de VANTs, juntamente aos sensores multiespectrais acoplados, fornece uma ferramenta valiosa para o monitoramento das condições de pavimentos asfálticos.

4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE VANTS NA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS

Durante o desenvolvimento deste trabalho, alguns aspectos práticos acerca do uso de VANTs para a avaliação de pavimentos se destacaram na visão do autor, citados neste tópico.

A primeira refere-se ao fato de que a identificação de defeitos, em muitos casos, depende de não só dos métodos matemáticos utilizados, como os algoritmos computacionais, mas também da capacidade de software e hardware disponíveis para a execução dos mesmos, o que é citado de forma direta ou indireta em alguns trabalhos (PETKOVA, 2016; PAN et al., 2017; PAN et al., 2018). Portanto, além do custo do próprio VANT, o pesquisador precisa fazer uso de softwares e hardwares com capacidade para o processamento das imagens, principalmente se o objetivo for a identificação automática de defeitos.

Outro aspecto que se destaca é a possibilidade de se mesclar algumas das metodologias apresentadas no decorrer deste trabalho para aumentar a acurácia na identificação de defeitos e/ou possibilitar a aplicação dos resultados para a geração de índices combinados de defeitos, importantes para a gerência de pavimentos. Branco (2016) adaptou um índice (IGGE) para que pudesse comparar os resultados obtidos com o índice IGG. A adaptação de índices combinados de defeitos é comum, principalmente em ambientes urbanos, uma vez que os tipos de defeitos mais comuns variam de acordo com as condições climáticas, de solo, técnicas construtivas e recursos disponíveis para a avaliação dos defeitos. Por isso, alguns estudos da área de gerência de pavimentos propuseram o uso de índices combinados de defeitos com a utilização de um menor número de defeitos (PÁEZ, 2015; ZANCHETTA, 2017)

Terceiro, destaca-se a presença de pesquisadores provenientes de outras áreas da ciência, tais como cientistas da computação e engenheiros de softwares, tais como todos os pesquisadores de Pan et al. (2017) e Pan et al. (2018), por

exemplo. Isto pode ser explicado tendo-se em mente que tais profissionais são mais experientes (por falta de uma palavra melhor) quando o assunto em questão são processamento de imagens, algoritmos, *Machine Learning*, *Deep Learning* e etc. Portanto, isto reflete uma multidisciplinariedade do tema e uma abrangência de diversos campos do conhecimento.

Dentre os métodos de identificação de defeitos por imagens digitais provenientes de VANTs de forma manual destacam-se os trabalhos de Parente et al (2017), com uma margem de acerto superior a 95%, e Gomes Jr e Duarte (2018) no que se refere aos defeitos do tipo Trinca, sendo que o que foi medido *in loco* e através das imagens digitais tiveram uma diferença de detecção inferior a 1%, um resultado satisfatório para este tipo de defeito.

No concerne aos métodos de identificação de defeitos de forma automatizada, utilizando-se de algoritmos computacionais, destacam-se os trabalhos de Branco (2016) e Pan et al. (2018) em que ambos obtiveram uma acurácia de identificação de defeitos superiores a 98%. O primeiro trabalho utiliza imagens RGB e usa a técnica de identificação dos defeitos de forma não-supervisionada através de Aprendizagem de Máquina e por Aproximações Poligonais (BRANCO, 2016); já o segundo utiliza imagens multiespectrais e identifica defeitos também com o uso de Aprendizagem de Máquinas, mas com uma série de três algoritmos (SVM, ANN e RF).

Cabe destacar que esta comparação é parcial e subjetiva, uma vez que os trabalhos comparados possuíam objetivos, recursos humanos e técnicas diferentes.

Por fim, percebe-se que há ainda, nos meios de divulgação científica analisados, uma lacuna quanto a utilização de sensores do tipo LiDAR (*Light Detection and Ranging*) acoplados em VANTs. Estes sensores funcionam com a transmissão de um pulso de luz, seguido do cálculo do tempo e distância que esse pulso leva para retornar à fonte; estes sensores não são sensíveis às condições de contraste e de luz, podendo serem utilizados durante o dia ou no período noturno; tais sensores são capazes de criar uma imagem tridimensional da superfície analisada (PETKOVA, 2016). Por essas características, a tecnologia LiDAR pode ser útil quando da utilização em conjunto com VANTs para a detecção de defeitos superficiais em pavimentos.

No Quadro 2 há um comparativo entre os estudos analisados neste trabalho.

Quadro 37: Quadro-resumo dos trabalhos analisados

Autores (ano)	Modelo de VANT/Sensor	Local (país)	Defeito Analisado	Método	Resultado
Grandsaert (2015)	Telemaster/Câmera GE Prosillica 1660C	Estados Unidos	Fendas (trincas)	Visão Computacional através de algoritmos	Medida – F máxima de 35 (insatisfatório)
Branco et al. (2015)	eBee/Câmera CANON S110	Brasil	Fendas (trincas), Remendos e Painelas	Metodologia MANIAC, através de Aprendizagem de Máquina	Parcial e Não divulgado
Branco (2016)	eBee/Câmera CANON S110	Brasil	Fendas (trincas), Remendos e Painelas	Metodologia MANIAC, através de Aprendizagem de Máquina	Acurácia de 97% e Precisão de 98% (satisfatório)
Petkova (2016)	3DR/Câmera GoPro Hero4 Black	Estados Unidos	Painelas	Visão Computacional através de algoritmos	Recall de 87% (insatisfatório)
Parente et al. (2017)	eBee/Câmera NIR e Câmera RGB sem indicação de modelo	Brasil	Erosões de borda, remendos, afundamentos, desgastes superficiais e exsudações	Classificação Manual	Margem de acerto quanto à similaridade de 95,43% (resultado promissor)
Pan et al. (2017)	Não mencionado/ Não mencionado	China	Painelas e Fendas (trincas)	Aprendizagem de Máquina através de algoritmos computacionais	Acurácia Geral de 98% (satisfatório)
Gomes Jr e Duarte (2018)	Phantom 4 Advanced/ Phantom 4 Advanced	Brasil	Trincas, Desgastes, Remendos, Painelas	Classificação Supervisionada e Classificação Manual	Classificação Supervisionada Insatisfatória e Classificação Manual Satisfatória (Trincas tiveram um acerto de aproximadamente 99%)
Pan et al. (2018)	Não mencionado/ câmera modelo MCA snap12	China	Painelas e Fendas (Trincas)	Aprendizagem de Máquina através de algoritmos computacionais	Acurácia Geral de 98,3% (satisfatório)

Fonte: Autoria Própria (2020)

5 CONCLUSÕES

Realizou-se, neste Trabalho de Conclusão de Curso, um estudo bibliográfico acerca dos métodos de “Utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) no Levantamento de Defeitos Superficiais em Pavimentos Rodoviários” apresentando os materiais utilizados (tipos de VANTs e sensores), os locais de realização dos estudos, a metodologia de classificação adotada (se foi manual, supervisionada, automática ou uma combinação destes) e os resultados atingidos, normalmente apresentados em termos de porcentagem de acertos dos elementos analisados. Mostrou-se as possibilidades de aplicação de novos métodos, dentre eles, a utilização de novos sensores (LiDAR, por exemplo) acoplados em VANTs, e também a implementação de novos algoritmos de aprendizagem de máquinas promissores, como é o caso do CNN (*Convolutional Neural Network*).

De modo geral, alguns resultados mostraram-se promissores, com alta porcentagem de acerto de defeitos, sendo os mais comuns as Trincas, Panelas e Remendos. Destaca-se, neste trabalho, algumas dificuldades em relação aos algoritmos utilizados (GRANDSAERT, 2015) e a implementação de VANTs na prática de Gerência de Pavimentos (GOMES JR e DUARTE, 2018).

Ressalta-se que uma das questões mais importantes no desenvolvimento deste tipo de pesquisa (Estado da Arte) é o tempo disponível para o exame dos trabalhos candidatos à análise, uma vez que haverá uma série de estudos que se encaixam ou não ao tema proposto, cabendo ao pesquisador a tarefa de discorrer sobre o corpo do trabalho como um todo para que só então possa descartar ou aceitar aquele estudo.

Alguns trabalhos aparentemente pertencentes ao tema ficaram fora deste estudo pela impossibilidade de acesso ao texto de forma integral, uma vez que muitos bancos de dados não têm acesso livre e nem possuem convênios com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

A multidisciplinaridade do trabalho apresentou-se como uma das grandes dificuldades, uma vez que os estudos analisados apresentavam conceitos interdisciplinares como VANTs, Sensoriamento Remoto, Processamento de Imagens Digitais, Aprendizagem de Máquinas, dentre outros. Contornou-se tal dificuldade com leituras de livros e artigos da área e palestras apresentadas na plataforma digital *YouTube*. Ressalta-se ainda que nem todos os trabalhos apresentavam uma

escrita científica clara e concisa, apresentando de forma imprecisa a metodologia empregada pelo autor e mesmo os resultados mostravam-se, em alguns casos, obscuros, não ficando claro o se os objetivos dos estudos foram atingidos e em que grau de certeza (acurácia).

Trabalhos do tipo Estado da Arte situam pesquisadores para o desenvolvimento e ampliação dos horizontes da ciência, sendo, portanto, fundamentais para o avanço da ciência e da tecnologia.

REFERÊNCIAS

ALDRIGDE, E.; STENBIT, J. P. **Unmanned aerial vehicles roadmap 2002-2007**. Office of the Secretary of Defense, Department of Defense USA, Washington, Tech. Rep. 2002. 2002.

AGGARWAL, S. Principles of Remote Sensing. **In:** SIVAKUMAR, M.V.K. et al. **Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology**. Dehra Dun, India, World Meteorological Organization. 2004. p. 23-38.

AUSTIN, R. **Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment**. [s.l.] : John Wiley & Sons. 2011.

ARMY, U. **Unmanned aircraft systems roadmap 2010-2035**. US Army UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama, USA, 2010. v.10, 2010.

BARABÁSI, Albert-László, BONABEAU, Eric. **Redes sem escala**. Scientific American Brasil, São Paulo, n. 13, ago. 2016.

BARELLA, Rodrigo Maluf. **CONTRIBUIÇÃO PARA A AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS COM PERFILÔMETROS INERCIAIS**. 2008. 362 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BENTO, Maria de Fátima. **Unmanned aerial vehicles: An overview**. **Inside Gnss**. Porto, p. 54-61. jan. 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/284150190_Unmanned_aerial_vehicles_An_overview>. Acesso em: 25 jun. 2019.

BERRES, Gabrela Weimer. **ANÁLISE DE EXECUÇÃO E DESEMPENHO DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO SOBRE VIAS PAVIMENTADAS COM PEDRAS IRREGULARES**. 2018. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, Santa Rosa, 2018.

BRANCO, Luiz Henrique Castelo. **MANIC: uma metodologia para o monitoramento automatizado das condições dos pavimentos utilizando VANTs**. 2016. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

BRANDÃO, Zaia; BAETA, Anna Maria Bianchini; ROCHA, Any Dutra Coelho. **Evasão e repetência no Brasil: a escola em questão**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Dois Pontos, 1986.

BRITO, J. L. N. S.; COELHO FILHO, L. C. T. **Fotogrametria digital**: 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora da UERJ, 2007.

CAMARGO, Flávio Fortes; SANO, Edson Eyji; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello; BORGES, Raphael de Oliveira. Avaliação preliminar de imagens ALOS/PALSAR na estimativa de índice de rugosidade internacional (IRI). **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - Sbsr**, João Pessoa, v. 17, n. 8, p.3764-3771, abr. 2015.

Campos, Alexandre Conti Ribeiro de: **Métodos de previsão de desempenho de irregularidade longitudinal para pavimentos asfálticos**: aplicação e proposição de critérios de ajuste. Dissertação (Mestrado) Campinas, SP: [s.n.], 2004.

CASTOR, Belmiro Valverde Jobim. CUSTO BRASIL: MUITO ALÉM DOS SUSPEITOS HABITUAIS. **Revista da Fae**, Curitiba, v. 2, n. 2, p.1-6, jun. 2019.

COLAVITE, Alessandro Serrano; KONISHI, Fabio. A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 12., 2015, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Seget, 2015. p. 1 - 11.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (Brasil). **PESQUISA CNT DE RODOVIAS 2018**: relatório gerencial. Santa Maria das Barreiras: Sest Senat, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (Brasil). **Transporte Rodoviário**: desempenho do setor, infraestrutura e investimentos. Brasil: Sest Senat, 2017. 70 p. Disponível em: <http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Estudos%20CNT/estudo_trasporte_rodoviario_infraestrutura.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 2006.

DOD, U. Unmanned systems integrated roadmap: Fly 2013-2038. Washington, USA. 2013.

FERNANDES JR, J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. (2011). **Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em Pavimentos Asfálticos**. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, SP.

FRANKENFIELD, Jake. **Artificial Neural Network (ANN)**. Disponível em: <<https://www.investopia.com/terms/a/artificial-neural-networks-ann.asp>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

Gil, Atonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES JUNIOR, Ernesto Valdecir; DUARTE, Renato Damião. **ANÁLISE DE LEVANTAMENTO DE DEFEITOS EM SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A PARTIR DO USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA)**. 2018. 134 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

GRANDSAERT, Patrick J.. **Integrating Pavement Crack Detection and Analysis Using Autonomous Unmanned Aerial Vehicle Imagery**. 2015. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engineering And Management, School Of Engineering And Management, Air Force Institute Of Technology, Ohio, 2015.

HAAS, Ralf; HUDSON, W. Ronald: Pavement Asset Management. 1. Ed. Massachusetts : Scrivener, 2015.

HEROLD, M. et al. Imaging spectrometry and asphalt road surveys. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, 2017. Elsevier, v. 16, n.2, p. 153-166, 2007 doi:10.1016/j.trc.2007.07.001.

HEROLD, M.; ROBERTS, D. Spectral characteristics of asphalt road aging and deterioration: implications for remote-sensing applications. **Applied Optics**, 2005. Optical Society of America, v. 44, n. 20, p. 4327-4334, 2005.

HEROLD, M.; ROBERTS, D. Mapping asphalt road conditions with hyperspectral remote sensing. In: **5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005)**, Tempe, AZ, USA [s.n], 2005.

HEROLD, M. et al. Road condition mapping with hyperspectral remote sensing. In: **Proceedings of the 2004 AVIRIS workshop**, [s.l], 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Anual de Serviços - PAS**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/servicos/9028-pesquisa-anual-de-servicos?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

JOSÉ, Ítalo. **KNN (K-Nearest Neighbors): como funciona?**. Disponível em: <<https://medium.com/brasil-ai/knn-k-nearest-neighbors-1-e140c82e9c4e>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

JONG, Steven M. de; MEER, Freek D. van Der; CLEVERS, Jan G.P.W. Basics of Remote Sensing. **Remote Sensing Image Analysis: Including The Spatial Domain**, [S.L.], p. 1-15, 2004. Springer Netherlands. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-2560-0_1.

KIM, Taehyeong; RYU, Seung-ki. Review and Analysis of Pothole Detection Methods. **Journal Of Emerging Trends In Computing And Information Sciences**, Filadélfia, v. 5, n. 8, p.603-608, ago. 2014.

KIM, S.; IRIZARRY, J. "Exploratory study on factors influencing UAS performance on highway construction projects: as the case of safety monitoring systems." In: **Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure**, Ames, 2015.

LIMA, Josiane Palma. **Modelo de Decisão para a Priorização de Vias Candidatas às Atividades de Manutenção e Reabilitação de Pavimentos**. 2007. 234 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação e Área de Concentração em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MAIO, Ângelica di *et al.* **Sensoriamento Remoto**. 2008. Elaborada por Agência Espacial Brasileira. Disponível em: <http://www.aeb.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/sensoriamento_manual.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2019.

MÅRTENSSON, Ulrik. **Introduction to Remote Sensing and Geographical Information Systems**. 2011. Elaborado pelo Department of Physical Geography and Ecosystems Sciences da Lund University. Disponível em: https://www.nateko.lu.se/sites/nateko.lu.se.sv/files/remote_sensing_and_gis_20111212.pdf. Acesso em: 24 ago. 2020.

MELO, Roseneia Rodrigues Santos de. **USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) PARA MONITORAMENTO DE OBRA COM ÊNFASE EM SEGURANÇA E LOGÍSTICA**. 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

MESSINA, Graciela. Estudio sobre el estado da arte de la investigacion acerca de la formación docente en los noventa. Organización de Estados IberoAmericanos para La Educación, La Ciência y La Cultura. In: **Reúñion de consulta técnica sobre investigación en formación del profesorado**. México, 1998.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes; PONZONI, Flávio Jorge. **INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf>. Acesso em: 28 set. 2019.

OLIVEIRA, Jemysson Jean de. **Experiência de Implantação de Sistema de Gerência de Pavimentos em Cidade de Médio Porte: Estudo de Caso - Anápolis-GO**. 2013. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

PAN, Yifan; ZHANG, Xianfeng; CERVONE, Guido; YANG, Liping. Detection of Asphalt Pavement Potholes and Cracks Based on the Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery. **Ieee Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 10, p. 3701-3712, out. 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/jstars.2018.2865528>.

PAN, Y.; ZHANG, X.; SUN, M.; ZHAO, Q.. OBJECT-BASED AND SUPERVISED DETECTION OF POTHOLES AND CRACKS FROM THE PAVEMENT IMAGES ACQUIRED BY UAV. **Isprs - International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [S.L.], v. -4/4, p. 209-217, 27

set. 2017. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-4-w4-209-2017>.

Parente, D. Cardoso N. Carvalho Felix, A. Pessoa Picanço (2017). Utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) na identificação de patologia superficial em pavimento asfáltico, **Revista ALCONPAT**, 7 (2), pp. 160-171, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.161>

Páez, Edgar Misael Arévalo. **Índice de condição do pavimento (ICP) para aplicação em sistemas de gerência de pavimentos urbanos**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2015.

PECHARROMÁN, JOSÉ MARÍA PERAL. . **Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados**. São Paulo: Diálogos Setoriais, 2010.

PETKOVA, M. Deploying Drones for Autonomous Detection of Pavement Distress. **Dissertação (Mestrado) - Massachusetts Institute Of Technology**, p. 61, 2016.

PORTELA, Cayan et al. **Tutorial de SVM**. Disponível em: <<https://lamfonb.github.io/2017/07/13/svm/>>. Acesso em: 02 jun. 2020.

ROSA, Antonio Nuno de Castro Santa *et al.* **INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. 2012. Organizada por PAULO ROBERTO MENESES TATI DE ALMEIDA. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/332292728_INTRODUCAO_AO_PROCESSAMENTO_DE_IMAGENS_DE_SENSORIAMENTO_REMOTO>. Acesso em: 21 nov. 2019.

RESENDE, M. R. **Investigação do uso de imagens de sensor de sensorimento remoto hiperespectral e com alta resolução espacial no monitoramento da condição de uso de pavimentos rodoviários**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politecnica da Universidade de São Paulo. 2010.

RESENDE, M. R. et al. Classificação híbrida: pixel a pixel baseada em objetos para o monitoramento da condição da superfície dos pavimentos rodoviários. Bol. Ciênc. Geod., sec. **Artigos**, 2012. v. 18, n. 3, p. 397-420, 2012.

REYES, Alejandro Flores. **DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN UAV WITH HYBRID FLIGHT CAPABILITIES**. 2018. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Optomechatronics, Centro de Investigaciones En Óptica, A.C, León, 2018.

ROMANOWSKI, Joana Paulin; ENS, Romilda Teodora. **As Pesquisas Denominadas do Tipo "Estado da Arte" Em Educação**. Revista Diálogo Educacional, vol. 6, núm. 19, setembro-dezembro, 2006, p. 37-50. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Brasil.

ROSSETTO, Gislaine A. R. da Silva *et al.* **DESAFIOS DOS ESTUDOS "ESTADO DA ARTE"**: estratégias de pesquisa na pós-graduação. **ESTRATÉGIAS DE PESQUISA NA PÓS-GRADUAÇÃO**. Disponível em: <<http://revistas.icesp.br/index.php/SaberesPratica/article/view/54>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

ROSSETTO, A. R. G.. Atividade de estudo e autonomia intelectual no processo de formação do pesquisador. **Projeto de Tese**. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Programa de Pós-Graduação em Educação, 2009.

SAEED, Adnan S.; YOUNES, Ahmad Bani; CAI, Chenxiao; CAI, Guowei. A survey of hybrid Unmanned Aerial Vehicles. **Progress In Aerospace Sciences**, [S.L.], v. 98, p. 91-105, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.007>.

Sakomo, Cleusa. Sakamoto; Silveira, Isabel Orestes: Como fazer projetos de Iniciação Científica. São Paulo : Paulus, 2014.

SANTOS, Alexandre Rosa dos. **Apostila de Sensoriamento Remoto**. Espirito Santo: Alegre, 2013. 87 p.

SILVA, Josenildo Costa da. **Aprendendo em uma Floresta Aleatória**. Disponível em: <<https://medium.com/machina-sapiens/o-algoritmo-da-floresta-aleat%C3%B4ria-3545f6babdf8>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

SOARES, Magda Becker; MACIEL, Francisca Pereira. **Alfabetização no Brasil: o estado do conhecimento**. Disponível em: <<http://www.mec.inep.gov.br>>. Acesso em: 04 maio. 2020.

SOUZA, Francisco das Chagas S.; NUNES, Albino Oliveira. **ESTADO DA ARTE**. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/albinonunes/disciplinas/pesquisa-em-ensino/estado-da-arte>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos da Fotogrametria**. 2000. Elaborada pelo Departamento de Cartografia da UFMG. Disponível em: <http://csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/fotogrametria.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2020.

TOMMASELLI, Antonio M. G.. **Fotogrametria Básica: introdução**. Introdução. 2009. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf. Acesso em: 24 ago. 2020.

VENDRICHOSKI, Julio Cezar. **MODELAGEM E CONTROLE DE VEÍCULOS AÉREOS HÍBRIDOS COM ROTORES INCLINÁVEIS E CÂMERA ORIENTÁVEL**. 2017. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

VOSGERAU, Dimeire. Sant'Anna. Ramos.; ROMANOWSKI, Joana Paulin..**Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas**, Rev. Diálogo Educ., Curitiba, v. 14, n. 41, p. 165-189, jan./abr. 2014.

WENG, Qihao. Introduction to Remote Sensing Systems, Data, and Applications. **Remote Sensing Of Natural Resources**, [S.L.], p. 3-20, 19 jun. 2013. CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/b15159-3>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (Suíça). **Global status report on road safety 2013**. Disponível em: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/. Acesso em: 28 jun. 2019.

WORLD ROAD ASSOCIATION (França). **Save your country's road: how road maintenance gets transport moving**.: A PIARC I DFID Publication. Disponível em: <http://www.piarcJcpc.fr/load/save-b.pdf>> Acesso em: 06 ago. 2019.

ZANCHETTA, Fábio. **SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS: AVALIAÇÃO DE CAMPO, MODELO DE DESEMPENHO E ANÁLISE ECONÔMICA**. 20017. 234 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia e Área de Concentração em infraestrutura de Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.