



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

NÉLIO ANDERSON CREMONESE

**Uso de RPAs para identificação do nível de
emborrachamento em pistas de pouso e decolagem**

CAMPINAS

2024

NÉLIO ANDERSON CREMONESE

**Uso de RPAs identificação do nível de
emborrachamento em pistas de pouso e decolagem**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Transportes.

**Orientador: Prof. Dr. HENRIQUE
CANDIDO DE OLIVEIRA**

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO NÉLIO ANDERSON CREMONESE, E ORIENTADA PELO PROF. DR. HENRIQUE CANDIDO DE OLIVEIRA

ASSINATURA DO ORIENTADOR

CAMPINAS

2024

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Cremonese, Nélio Anderson, 1982-
C863u Uso de RPAs para identificação do nível de emborrachamento em pistas de
pouso e decolagem / Nélio Anderson Cremonese. – Campinas, SP : [s.n.], 2024.

Orientador: Henrique Candido de Oliveira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP),
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Fotogrametria. 2. Sensoriamento remoto. 3. Classificação de imagem. 4.
Aeroportos. I. Oliveira, Henrique Candido de, 1988-. II. Universidade Estadual de
Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III.
Título.

Informações Complementares

Título em outro idioma: The use of RPAs for runway rubber level identification

Palavras-chave em inglês:

Photogrammetry

Remote sensing

Image classification

Airports

Área de concentração: Transportes

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora:

Henrique Candido de Oliveira [Orientador]

Diogenes Cortijo Costa

Daniel Rodrigues dos Santos

Data de defesa: 19-06-2024

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0009-0005-0090-1057>

- Currículo Lattes do autor: <https://lattes.cnpq.br/4309021756544514>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**USO DE RPAS PARA IDENTIFICAÇÃO DO NÍVEL DE
EMBORRACHAMENTO EM PISTAS DE POUSO E
DECOLAGEM**

Nélio Anderson Cremonese

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Henrique Candido de Oliveira
Presidente e Orientador / FECFAU / Unicamp

Prof. Dr. Diogenes Cortijo Costa
FECFAU / Unicamp

Prof. Dr. Daniel Rodrigues dos Santos
Instituto Militar de Engenharia

A Ata de Defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Campinas, 19 de junho de 2024.

DEDICATÓRIA

À minha amada esposa Luciana, pelo
apoio incondicional e constante incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder forças e sabedoria para chegar até aqui.

Agradeço à minha família por compreender a minha ausência durante o período de dedicação a este trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Henrique Candido de Oliveira, pela confiança, paciência, incentivo, amizade e excelente orientação.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação e Pesquisa da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp pelo apoio Institucional.

Agradeço à Aeroportos Brasil Viracopos S.A. por autorizar o levantamento de dados *in loco* e comparação com seu banco de dados.

Agradeço ao George Longhitano e à GDrones por realizar o levantamento aéreo, base desta pesquisa.

RESUMO

A globalização do mercado mundial e a constante evolução das tecnologias têm facilitado as relações comerciais entre fornecedores e consumidores ao redor do mundo. Esta facilidade faz com que o transporte de cargas aéreas bata seus próprios recordes em movimentação de peso e volume ano após ano, devido à velocidade e segurança. E com esse aumento vertiginoso da demanda aérea mundial, fomos remetidos a refletir sobre a segurança no espaço aéreo e a infraestrutura para as operações aeroportuárias. Levando em consideração que todo acidente aéreo causa grandes danos à sociedade, e em sua grande maioria ocorrem durante a aproximação e o pouso das aeronaves, a aderência pneu-pavimento no momento do pouso de uma aeronave é essencial para garantir a segurança operacional. Para tanto, será proposta uma metodologia de identificação de borracha no pavimento na pista de pouso e decolagem com uso de RPA (*Remotely Piloted Aircraft*), identificação esta que atualmente é realizada com equipamentos que medem o índice de atrito físico e a macrotextura da capa do pavimento. A proposta do presente trabalho é buscar resultados similares aos do método tradicional (identificação dos níveis de emborrachamento do pavimento), utilizando sensoriamento remoto com sensores atuando no espectro do visível, termal e multiespectral embarcados em um RPA. Os resultados obtidos se mostraram satisfatórios para identificação de emborrachamento, com melhores taxas nas imagens RGB *Random Trees* e RGB *Support Vector Machine*. Utilizou-se classificação de imagens de acordo com a reflectância dos elementos no espectro eletromagnético e, apesar de o resultado ser similar ao da modalidade tradicional, houve redução significativa de tempo e custo, além de maximizar o campo de estudo de estreitas faixas do pavimento para a totalidade da extensão da pista de pouso e decolagem.

Palavras-Chave: Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, Classificação de Imagem, Aeroportos.

ABSTRACT

The world globalization market and the constant evolution of technologies have facilitated commercial relationships among suppliers and consumers around the world. This facility makes air cargo transport break its own records in movement of weight and volume year after year due to its speed and safety. With this sharp increase in global air demand, we were led to reflect on airspace safety and airport operations infrastructure. Considering that every aerial accident causes significant harm to society and most occur during the approach and landing of aircraft, tire-pavement adhesion at the moment of landing is essential to ensure operational safety. Therefore, a methodology will be proposed for identifying rubber deposits on the runway pavement using RPA (Remotely Piloted Aircraft), a task currently performed with equipment that measures the physical friction index and the macrotexture of the pavement surface. This work aims to achieve similar results to those of the traditional method (identification of pavement rubber levels) using remote sensing with sensors operating in the visible, thermal, and infrared spectrum mounted on an RPA. The results obtained were satisfactory for identifying rubber deposits, with the best rates using RGB images, Random Trees and Support Vector Machine classification techniques. Image classification was used according to the reflectance of elements in the electromagnetic spectrum, and although the result was similar to the traditional method, there was a significant reduction in time and cost, in addition to maximizing the study field from narrow pavement strips to the entire length of the runway.

Key Words: Photogrammetry, Remote Sensing, Image Classification, Airports.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeira aeronave desenvolvida pelo brasileiro Alberto Santos Dumont	23
Figura 2 - Aeronave com piloto e fotógrafo aéreo	23
Figura 3 – Espectro eletromagnético: principais regiões	28
Figura 4 – Curva espectral do concreto e da grama.....	29
Figura 5 – Terminologia de imagens digitais.....	30
Figura 6 - Variação do valor de brilho e escala de cinza associada	30
Figura 7 - Energia refletida na região do visível do espectro eletromagnético.....	31
Figura 8 – Imagem infravermelho da PPD (escuro) e grama (claro) do aeroporto de Viracopos.....	32
Figura 9 – Curvas de radiação emitidas por diferentes materiais na faixa do termal.....	33
Figura 10 – Imagem termal da PPD do aeroporto de Viracopos.....	33
Figura 11 - Perfilometro a laser acoplado ao veículo.....	37
Figura 12 - Mu-Meter modelo MK-6 utilizado para a medição de atrito.....	40
Figura 13– Funcionamento do Mu-Meter.....	41
Figura 14 - Equipamentos utilizados no ensaio tipo mancha de areia.....	42
Figura 15 - Modelo de relatório para medição de macrotextura.....	43
Figura 16 – Exemplo básico de árvore de decisão.....	52
Figura 17 – Funcionamento da classificação por SVM.....	54
Figura 18 - Foto aérea da PPD de Viracopos capturada em 06/09/2021.....	55
Figura 19 - Ilustração das camadas do pavimento da PPD de Viracopos.....	56
Figura 20 - Seções PPD a cada 100m.....	56
Figura 21 - Pontos de apoio (preto) e pontos de borracha (vermelho).....	59
Figura 22 - Ortomosaico representado pela faixa do visível.....	61
Figura 23 - Ortomosaico representado pela faixa do termal.....	61
Figura 24 - Ortomosaico representado pela faixa do infravermelho próximo.....	61
Figura 25 - Trecho da Imagem RGB Classificada (<i>Maximum Likelihood</i>).....	63
Figura 26 - Trecho da Imagem RGB Classificada (<i>Random Trees</i>).....	63
Figura 27 - Trecho da Imagem RGB Classificada (<i>Support Vector Machine</i>).....	64
Figura 28 - Trecho da Imagem Termal Classificada (<i>Maximum Likelihood</i>).....	64
Figura 29 - Trecho da Imagem Termal Classificada (<i>Random Trees</i>).....	64
Figura 30 - Trecho da Imagem Termal Classificada (<i>Support Vector Machine</i>).....	65
Figura 31 - Trecho da Imagem Infravermelho Classificada (<i>Maximum Likelihood</i>).....	65
Figura 32 - Trecho da Imagem Infravermelho Classificada (<i>Random Trees</i>).....	65
Figura 33 - Trecho da Imagem Infravermelho Classificada (<i>Support Vector Machine</i>).....	66

Figura 34 - Classificação Infravermelho <i>Maximun Likelihood</i> com as faixas e seções do método tradicional.	69
Figura 35 –Polígonos em azul representando a área das faixas de inspeção do mu-meter e suas adjacências. Em amarelo a representação apenas das faixas de inspeção do <i>Mu-Meter</i>	70
Figura 36 - Trecho da Imagem RGB Reclassificada (<i>Maximum Likelihood</i>).....	70
Figura 37 - Trecho da Imagem RGB Reclassificada (<i>Random Trees</i>).....	70
Figura 38 - Trecho da Imagem RGB Reclassificada (<i>Support Vector Machine</i>).	70
Figura 39 - Trecho da Imagem Termal Reclassificada (<i>Maximum Likelihood</i>).	71
Figura 40 - Trecho da Imagem Termal Reclassificada (<i>Random Trees</i>).	71
Figura 41 - Trecho da Imagem Termal Reclassificada (<i>Support Vector Machine</i>).....	71
Figura 42 - Trecho da Imagem Infravermelho Reclassificada (<i>Maximum Likelihood</i>).....	71
Figura 43 - Trecho da Imagem Infravermelho Reclassificada (<i>Random Trees</i>).....	72
Figura 44 - Trecho da Imagem Infravermelho Reclassificada (<i>Support Vector Machine</i>).	72
Figura 45 - PPD segmentada com os índices de medição de atrito do método tradicional. .	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização das medições de irregularidade longitudinal.....	36
Tabela 2 - Código de referência do aeródromo.....	36
Tabela 3 - Frequência mínima de medição da irregularidade longitudinal.....	37
Tabela 4 - Localização das medições de atrito.	38
Tabela 5 - Código de referência do aeródromo.....	38
Tabela 6 - Frequência mínima de medição de atrito.	38
Tabela 7 - Parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição.....	39
Tabela 8 - Classificação da macrotextura.	42
Tabela 9 – Quantidade de amostras da área de treinamento no software.	61
Tabela 10 - Resultado da medição de atrito realizada com o equipamento Mu-Meter.	66
Tabela 11 - Estatísticas por zona.....	68
Tabela 12 – Principais estatísticas por zona conforme reclassificação.	72

LISTA DE SIGLAS

AC	Área Controlada
AISWEB	Sistema de Informações Aeronáuticas
ANAC	Agência Nacional da Aviação Civil
ARS	Área Restrita
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATIV	Autorização de Trânsito Interno de Veículos
ATS	Serviço de Tráfego Aéreo
BV	Valor de Brilho
BVLOS	Operação Além da Linha de Visada Visual
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CFTV	Circuito Fechado de Televisão
CHT	Certificado de Habilitação Técnica
CM	Certificado de Matrícula
COMAER	Comando da Aeronáutica
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EVLOS	Operação em Linha de Visada Visual estendida
FRB	Fator de Reflectância Bidirecional
GPS	<i>Global Position System</i>
ICA	Instituto de Cartografia Aeronáutica
IS	Instrução Suplementar
NFZ	<i>No Fly Zone</i>
NOTAM	<i>Notice to Airman</i>
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
PAPI	<i>Precision Approach Path Indicator</i>
PMD	Peso Máximo de Decolagem
PPD	Pista de Pouso e Decolagem
RAB	Registro Aeronáutico Brasileiro
RBAC	Regulamento Brasileira de Aviação Civil
REM	Radiação Eletromagnética
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i>
RPS	<i>Remotely Pilot Station</i>
SARPAS	Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SGPA	Sistema de Gerenciamento de Pavimentos

SGSO	Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional
SISANT	Sistema de Registro de Aeronaves Não Tripuladas
SISCAER	Sistema de Credenciamento Aeroportuário
SMS	<i>Safety Management System</i>
VLOS	Operação em Linha de Visada Visual

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo Geral	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1 SISTEMAS SENSORES E AÉREOS	22
2.1.1 Plataformas Aéreas	22
2.1.2 Sistemas Sensores	26
2.2 AEROPORTOS: INFRAESTRUTURA E LEGISLAÇÃO	34
2.2.1 Manutenção de Pista de Pouso e Decolagem	35
2.2.2 Técnicas de Monitoramento	35
2.3 GERAÇÃO DE PRODUTOS	47
2.3.1 Fotogrametria e Ortoimagens.....	47
2.3.2 Classificação Digital de Imagens.....	48
3. METODOLOGIA PROPOSTA	55
3.1 ÁREA DE ESTUDO	55
3.2 AUTORIZAÇÕES EXTERNAS.....	57
3.3 AUTORIZAÇÕES INTERNAS	58
3.4 PROCEDIMENTO DE ACESSO	58
3.5 LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	59
3.6 GERAÇÃO DE PRODUTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	60
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5. CONCLUSÕES	77
6. BIBLIOGRAFIA.....	80

1. INTRODUÇÃO

Desde que o Brasil teve sua economia de capital aberta ao mercado internacional, em 1992, no governo do então presidente da república Fernando Collor de Melo, segundo (Moreira e Correia (1997), o país demonstra possuir um ambiente muito favorável ao desenvolvimento do comércio global, atraindo investidores de todas as partes do mundo principalmente pela grande abundância de matéria-prima. Atualmente, o Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão territorial e o sexto mais populoso, possuindo 8.516.000 km² e 203 mi de habitantes (FONTE IBGE, 2022), respectivamente.

Considerado a maior economia da América do Sul, por Busch (2010), o Brasil possui uma localização territorial favorável à logística mundial a partir de seus portos e aeroportos, sendo estes considerados pontos-chave para a concretização de transações internacionais, tanto no transporte de passageiros como no transporte de cargas. Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (Anuário do Transporte Aéreo, 2024), em 2023 o modal aéreo brasileiro transportou 112.6 milhões de passageiros e 1,249 milhão de toneladas de carga.

Segundo dados estatísticos do Ministério da Infraestrutura do Brasil (Anuário Estatístico de Transportes 2010 – 2020), em 2019 a movimentação de passageiros interestaduais, por modal aéreo, foi 2,26 vezes maior que na modalidade rodoviária, sendo 89,8mi contra 39,7mi respectivamente. É importante destacar que 33,5% dos passageiros da aviação civil no mercado doméstico em 2023 embarcaram na região Sudeste, por representar os principais polos comerciais do país de acordo com a Agência Nacional de Aviação Civil (Anuário do Transporte Aéreo, 2024).

Tendo em vista a importância da aviação para o desenvolvimento do nosso país, em 1960 foi inaugurado o Aeroporto Internacional de Viracopos, localizado estrategicamente em Campinas, no interior do Estado de São Paulo. O referido aeroporto possui um dos mais importantes e movimentados terminais de cargas do Brasil, chegando a operar 37% do valor dos embarques aéreos de importação e processar aproximadamente 33% do peso de toda carga aérea importada no país (Viracopos, 2019).

No entanto, segundo dados do Ministério da Infraestrutura do Brasil (Anuário Estatístico de Transportes 2010 – 2020), em 2019, mesmo a aviação civil sendo considerada o meio de transporte mais seguro, com apenas 151 acidentes e 61 mortes registradas em

detrimento aos 67,4 mil acidentes e 33,4 mil mortes do transporte rodoviário Brasileiro (PORTAL DO TRÂNSITO, 2022), ela demanda cuidados operacionais devido ao grande impacto que um acidente aéreo pode ocasionar. Por meio do DOC-9859 (ICAO, 2018), foi criado o sistema de gerenciamento da segurança operacional – *Safety Management System* (SMS), no Brasil, Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO), com o intuito de padronizar e ampliar o conceito de segurança para uma abordagem sistêmica que englobasse todos os aspectos que dão segurança à operação de uma aeronave, sistema esse que leva em consideração desde a limpeza da posição onde uma aeronave será alocada até as instruções de trabalho para a manutenção das pistas de pouso e decolagem.

Segundo o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos - CENIPA (Aeródromos Sumário Estatístico 2010 - 2019) entre 2010 e 2019, 29,05% dos acidentes aéreos no Brasil ocorreram durante o pouso, 22,97% durante a decolagem e 17,40% durante o deslocamento após pouso. Ao longo dos anos, e com o objetivo de reduzir esses números, foram desenvolvidas tecnologias e equipamentos capazes de auxiliar os pilotos nos momentos mais críticos do voo como, por exemplo, o PAPI (*Precision Approach Path Indicator*), na aproximação por instrumentos, o IFR (*Instrument Flight Rules*) e o *glide slope*, que insere as luzes de eixo de pista (sequência visual equivalente ao sinal do *Localizer*).

Vale ressaltar que as condições da pista de pouso e decolagem têm papel fundamental nessas estatísticas, levando em consideração o exposto de Craig (2014) que a velocidade, no momento do pouso, pode ser maior do que a de decolagem, além do simples fato de a aeronave ir em direção ao solo, tendo a gravidade também como fator contribuinte para sua aceleração. Outro ponto a ser considerado é que o pouso, obviamente, ocorre no final da viagem, quando o piloto está sujeito à fadiga.

Com o intuito de otimizar as condições da infraestrutura aeroportuária, a ANAC elaborou, a partir do SGSO, um novo documento orientativo quanto à manutenção das pistas de pouso e decolagem (PPDs) no território nacional, o Sistema de Gerenciamento de Pavimentos, SGPA, que prevê a realização de inspeções e manutenções periódicas nas PPDs, monitorando, assim, o surgimento de trincas, erosões, depressões, afundamento da trilha de roda, presença de óleo combustível, lâmina d'água, excesso de borracha etc., pois são fatores que aumentam o risco de acidentes.

Sales (2019) afirma que a aderência pneu-pavimento é essencial à segurança da aviação civil durante o pouso e decolagem, pois é composta pelo atrito entre pneu-pavimento e textura do revestimento. Silva (2008) acrescenta que a aderência pneu-pavimento sofre

variações devido à presença de contaminantes na superfície do pavimento, principalmente quando há a presença de água, podendo ocasionar hidroplanagem. Bernucci (2007) conclui que as condições de aderência são mensuradas por meio da medição de atrito e da profundidade da macrotextura dos pavimentos.

Para tanto, a Instrução Suplementar nº 153.205-001 C da ANAC (2023) determina os equipamentos a serem utilizados para monitorar o coeficiente de atrito do pavimento: *mu-meter*, *skiddometer*, *surface friction tester vehicle*, *runway friction tester vehicle*, *tatra* ou *grip tester*.

Porém, todos os métodos e equipamentos utilizados atualmente necessitam de contato físico com o pavimento, seja pela aplicação de manchas de areia, ou pelo espargimento de lâminas d'água, o que obriga o fechamento da pista de pouso e decolagem. O uso desses métodos, além de moroso, é também oneroso para os administradores aeroportuários que devem seguir à risca as normas e periodicidades estabelecidas pela ANAC, visando a segurança operacional.

Com foco na modernização para redução de tempo e custos, o uso de sensores remotos é uma metodologia que pode contribuir nestas inspeções (coleta de dados) como descreve Florenzano (2011): para o monitoramento de focos de incêndio, desmatamento, inundação, identificação de feições de relevo e ambientes urbanos, entre outros. Fato é que estes sensores são capazes de fornecer muito mais informações do que meras imagens visíveis, como a olho nu, pois “captam diversas faixas de energia de onda eletromagnética, que se originam da radiação solar refletida e emitida pelos objetos presentes na superfície da Terra” (Liu, 2006, p. 9).

Estes sensores podem, por sua vez, estar fixos em uma posição ou móveis, embarcados em plataformas terrestres ou aéreas, sejam em helicópteros, aeronaves, satélites na órbita da Terra ou em simples *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), popularmente conhecidos como drones (MURRAY; CHU, 2015).

Mesmo com toda tecnologia empregada na aviação civil, a presença do RPA nos aeroportos ainda é um desafio devido aos altos quesitos de segurança operacional adotados pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo - DECEA (ICA 100-40, 2023) e demais órgãos internacionais. Embora haja relatos da utilização de RPA em aeroportos ao redor do mundo, a finalidade das imagens adquiridas é, em geral, para geração de curvas de nível e

ortoimagens, não levando em consideração a capacidade da coleta de informações por sensores infravermelho e termal.

Notoriamente, ainda há espaço para melhorias nessa temática. Nesta pesquisa serão estudadas as atuais metodologias de identificação dos níveis de emborrachamento das pistas de pouso e decolagem, assim como a potencialidade do emprego das tecnologias de sensores remotos na faixa do visível (RGB), infravermelho próximo e termal embarcados em RPAs para identificação dos elementos encontrados na PPD a partir de sua assinatura espectral.

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), por meio do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC 153 (2021), exige que os operadores de aeródromo mantenham a pista de pouso e decolagem em condições operacionais quanto à resistência à derrapagem; controle direcional das aeronaves, e integridade dos equipamentos aeronáuticos. Sendo compreendido, entre outros, a medição do coeficiente de atrito entre pneu e pavimento e o acúmulo de borracha no pavimento.

As frequências de medições de atrito e identificação do nível de emborrachamento na PPD variam de acordo com o nível de operacionalidade do aeroporto, sendo determinada pela média diária de pousos.

O Regulamento Brasileiro da Aviação Civil - RBAC 153 (2021) faz menção apenas de instruções gerais para a medição de atrito, indicando, porém, a Instrução Suplementar 153.205-001 C (2023) como apoio para as especificidades da atividade em questão. A IS 153.205-001 C (2023), por sua vez, orienta que os administradores de aeroportos realizem a medição de atrito em pistas de pouso e decolagem exclusivamente com os seguintes equipamentos: *Mu-meter*, *Skiddometer*, *Surface friction tester vehicle*, *Runway friction tester vehicle*, *Tatra* ou *Grip tester*.

Todos os equipamentos mencionados na IS 153.205-001 C (2023) utilizam-se do meio terrestre para identificação do nível de atrito do pavimento, sendo o *Mu-meter* mais utilizado. Para a medição de atrito a (ASTM, 2000) normatiza que seja aplicada água sobre o pavimento formando uma lâmina d'água à frente dos pneus laterais, simulando uma aquaplanagem,

enquanto sensores instalados nos braços do chassi captam o sinal produzido entre os pneus e o pavimento pela força do afastamento dos membros.

Evidentemente, todo este processo não pode ser realizado durante o período de operação do aeroporto em meio aos pousos e decolagens constantes. Para tanto, faz-se necessário a expedição de NOTAM (Aviso aos Aeronavegantes - documento cuja finalidade é divulgar toda informação aeronáutica que seja de interesse direto e imediato à segurança, regularidade e eficiência da navegação aérea) conforme RBAC 153 (2021) para fechamento do aeroporto enquanto o equipamento realiza a medição. Além da expedição do NOTAM é necessário, ainda, apresentar toda a documentação dos operadores e equipamentos a fim de credenciá-los para o acesso à área operacional do aeroporto.

O custo para aquisição do *mu-meter* é muito elevado por se tratar de um equipamento muito específico, o que leva os operadores de aeródromos a buscarem sempre a contratação dos serviços de medição de atrito por empresas terceiras. Porém, o que reduz o investimento inicial, acaba por se tornar uma despesa constante levando em consideração que a medição é realizada periodicamente conforme previsto no RBAC 153 (2021). Nota-se, no entanto, que o montante devido à empresa terceira por este serviço é composto por treinamento dos operadores para acesso à área restrita, conforme previsto no RBAC 107 (2021), deslocamento do equipamento e equipe, adicional noturno da equipe (geralmente o NOTAM é autorizado nas madrugadas), locação do equipamento, seguros e lucro da empresa terceira.

Contudo, o emprego das novas tecnologias para realizar a identificação de borracha no pavimento visa reduzir os custos por meio da aquisição de equipamentos de baixo custo e capacitação de operador orgânico para execução das atividades. Consequentemente, espera-se que o tempo de captação dos dados também seja reduzido, tendo em vista que o sensor acoplado ao RPA possui uma visada maior do que o *mu-meter* que, por sua vez, percorre toda a extensão da PPD entre 03 e 05 vezes (a depender da classificação do aeródromo) para apresentar relatório apenas das faixas em que percorreu, enquanto o RPA é capaz de captar dados de toda a extensão da PPD, incrementando novos dados e otimizando a precisão das informações captadas.

Cabe aqui ressaltar que o sensoriamento remoto, por meio do RPA, pode representar uma grande vantagem aos aeródromos levando em consideração que, além dos produtos gerados a partir da metodologia proposta, outros produtos também podem ser gerados como, por exemplo, o modelo digital de terreno, a curva de nível, entre outros.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

A globalização do mercado mundial e a busca frenética pelo aumento da produtividade e lucratividade têm impulsionado pesquisadores de todas as partes do mundo a desenvolverem equipamentos cada vez mais versáteis e precisos em uma velocidade surpreendente.

Como observamos na sessão anterior, os métodos utilizados atualmente para a medição de atrito e consequente identificação do nível de borracha nas pistas de pouso e decolagem são caros, demandam muito tempo e esforços para que sejam efetivamente realizados em uma pista de pouso e decolagem.

Levando em consideração os pontos acima destacados, o objetivo geral deste trabalho é explorar técnicas do sensoriamento remoto e fotogrametria para identificar emborrachamento na pista de pouso e decolagem.

Espera-se, com o emprego destas novas tecnologias, a redução dos impactos operacionais com fechamento da pista de pouso e decolagem, bem como dos custos operacionais.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos deste projeto, destacam-se:

- Gerar ortoimagens da PPD com técnicas de fotogrametria a partir das imagens capturadas com os sensores acoplados ao RPA;
- Explorar diferentes classificadores para a identificação de borracha na PPD;
- Comparar as classificações com o método tradicional;

- Descrever o protocolo para acesso ao lado ar com RPA (execução de voos dentro de aeródromos).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMAS SENSORES E AÉREOS

Com o desenvolvimento das plataformas aéreas remotamente pilotadas – RPAs, o custo de operações de mapeamento vem caindo cada vez mais, despertando, assim, o interesse de pesquisadores e investidores no uso destes RPAs para embarcar sensores com o intuito de coletar dados para as mais variadas aplicações.

Os sensores estão presentes em toda parte e seus benefícios se integraram ao cotidiano da sociedade de tal forma que, por vezes, passam despercebidos. Vale ressaltar, ainda, que até o corpo humano é dotado de sensores remotos, diga-se de passagem, são os mais utilizados em todo o mundo, são eles: audição, visão e olfato.

“Sensor é um dispositivo capaz de responder à radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro eletromagnético, registrá-la e gerar um produto numa forma adequada para ser interpretada pelo usuário” (Rosa, 2009, p. 59).

Ao passo que os dados gerados vão sendo cada vez mais testados e, comprovadamente, confiáveis, pretende-se utilizá-los em campos menos explorados como na aviação civil, onde a segurança operacional e o sigilo são primordiais para resguardar tanto passageiros como tripulantes de acidentes e atos de interferência ilícita.

2.1.1 Plataformas Aéreas

Segundo o *Manual of Photogrammetry* (2004), a primeira plataforma aérea utilizada pelo homem para captação de imagens foi um balão de ar quente em 1858, pelo pesquisador parisiense Aimé Laussedat, desde então houve um avanço muito significativo da tecnologia, chegando às três principais plataformas aéreas utilizadas atualmente no sensoriamento remoto, ou captação de imagens aéreas, são elas: aeronaves tripuladas, orbitais e não tripuladas.

As plataformas tripuladas consistem em aeronaves de asas fixas ou hélices rotativas, ou seja, aviões e helicópteros pilotados diretamente pelo homem. (AGÊNCIA BRASIL, 2021) expõe que o brasileiro Alberto Santos Dumont inventou o primeiro avião mais pesado que o ar em 1906 utilizando o princípio da força de sustentação aerodinâmica, conforme demonstra

a Figura 1. O *Manual of Photogrammetry* (2004) expõe que, após esta importante invenção, a primeira vez que um avião foi utilizado para obter uma fotografia aérea foi em 1909 após os irmãos Wright desenvolverem uma nova aeronave com capacidade para um piloto e mais um tripulante sentado, conforme demonstra a Figura 2.

Figura 1 - Primeira aeronave desenvolvida pelo brasileiro Alberto Santos Dumont



Fonte: Museu Aeroespacial.

Figura 2 - Aeronave com piloto e fotógrafo aéreo



Fonte: Jensen, 2011, p.76.

O *Manual of Photogrammetry* (2004) afirma que houve grande uso das técnicas de aerofotogrametria para fins militares durante a Primeira Guerra Mundial. No período entre a primeira e a segunda guerra mundial houve um grande avanço nas técnicas de aerofotogrametria, passando a utilizá-la também para fins de mapeamento topográfico.

Já na década de 1960, conhecida como a década da corrida espacial, houve o maior desenvolvimento de foguetes lançadores de satélites. Ocasão em que o satélite americano TIROS-1 foi lançado à órbita para fins de estudos meteorológicos, registrando os padrões de cobertura das nuvens, e acidentalmente, pela primeira vez, registrou também algumas feições da superfície da Terra. Com o avanço da tecnologia, foram realizadas novas experiências espaciais, agora tripuladas, como os programas Mercury, Gemini e Apollo, sendo Gemini o primeiro programa fotográfico espacial (Meneses e Almeida, 2012).

De acordo com Rosa (2009), as plataformas orbitais ou satélites são agrupados em categorias conforme os objetivos pelos quais foram criados: militares, científicos, de comunicação, meteorológicos, ou observação da Terra. Assim sendo, no sensoriamento remoto utiliza-se principalmente dos satélites de observação da Terra.

Seguindo o curso da história, Jensen (2011) esclarece que vários outros países desenvolveram seus satélites e acoplaram a estes cada vez mais sensores capazes de imagear a Terra, seja para fins militares ou para aplicações pacíficas relacionadas à observação dos recursos naturais do meio ambiente, como satélites para observação meteorológica, monitoramento de queimadas e geoprocessamento.

Na constante busca de aperfeiçoamento e visando objetivos mais específicos que as imagens obtidas pelos satélites e menos onerosas que as das aeronaves, surgem os RPAs, que Nex e Remondino (2014) definem como veículos aéreos não tripulados controlados a partir de uma base principal por um operador, ou seja, são pilotadas remotamente.

Ainda, segundo Nex e Remondino (2014), a localização do RPA durante seu trajeto é conhecida por meio de um receptor/antena GNSS (*Global Navigation Satellite System*) integrado, podendo ter acoplado ainda sensores de acordo com sua necessidade (câmeras sensíveis a faixa espectral do visível, infravermelho próximo, termal etc.).

Para melhor entendimento dos componentes do RPA, a ANAC, por meio do RBAC-E 94 (2021), define como sendo o RPA (*Remotely Piloted Aircraft*) uma “aeronave não tripulada, pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota com finalidade diversa de recreação”; o RPS (*Remote Pilot Station*) o “componente do RPA contendo os equipamentos necessários à pilotagem”, e, por fim, o RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*), o conjunto RPA e sua RPS no enlace de pilotagem e qualquer outro componente especificado no seu projeto.

Cabe salientar, portanto, que a operação do RPA pode se dar de várias maneiras, como descreve a ANAC, por meio do RBAC-E 94 (2021), conforme segue:

- **Operação além da linha de visada visual** (*Beyond Visual Line of Sight – BVLOS operation*), ou operação sem o contato visual direto do piloto, além da linha de visão;
- **Operação autônoma** é a operação normal de uma aeronave não tripulada durante a qual não é possível a intervenção do piloto remoto no voo ou parte dele;
- **Operação em linha de visada visual** (*Visual Line of Sight – VLOS operation*), ou operação com o contato visual direto do piloto;
- **Operação em linha de visada visual estendida** (*Extended Visual Line of Sight – EVLOS operation*) ou operação em que o piloto ou algum observador RPA mantém contato visual direto com o RPAS;
- **Operação remotamente pilotada** ou operação normal de uma aeronave não tripulada durante a qual é possível a intervenção do piloto remoto em qualquer fase do voo.

Quanto à sua classificação, mais uma vez a ANAC, por meio do RBAC-E 94 (2021), define, de acordo com o peso máximo de decolagem (PMD), sendo o RPA com peso maior que 150kg classe 1; maior que 25kg e menor ou igual a 150kg classe 2, e; menor que 25kg classe 3.

No entanto, os RPAs “são um novo componente da aviação mundial que operadores, indústria e diversas organizações internacionais estão estudando e trabalhando para compreender, definir e, finalmente, promover a completa integração no Espaço Aéreo” (ICA 100-40, 2023). Assim sendo, o DECEA em conjunto com a ANAC elaborou as regras para o acesso ao espaço aéreo e operação segura de RPAs no Brasil.

Abaixo estão descritas as principais regras publicadas pelo DECEA e ANAC:

1. Para RPAs novos, providenciar junto à ANAC emissão do certificado de aeronavegabilidade, pois “nenhuma aeronave poderá ser autorizada para voo sem a prévia expedição do correspondente certificado de aeronavegabilidade” (Código Brasileiro de Aeronáutica);
2. Para RPAs novos, providenciar junto à ANAC o Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) bem como o Certificado de Matrícula (CM), pois “salvo permissão especial, nenhuma aeronave poderá voar no espaço aéreo brasileiro, aterrissar no território subjacente ou dele decolar, a não ser que tenha marcas de nacionalidade e matrícula [...]” (Código Brasileiro de Aeronáutica);

3. O operador do RPA de classe 03, para voos abaixo de 120m de altura, deve providenciar seu cadastro de operador junto à ANAC no sistema SISANT, conforme previsto no RBAC-E 94 (2021), para os demais casos será necessário buscar certificação profissional e comprovação junto à ANAC, e;
4. Após regularizar toda documentação, e antes de acessar o espaço aéreo brasileiro, deve-se requisitar, junto ao DECEA, a emissão de autorização especial onde ocorrerá o voo, desde que não coloque em risco a navegação aérea estas operações poderão ser somente informadas por meio do sistema SARPAS (ICA 100-40, 2023, p.29).

Como visto acima, os voos realizados por RPAs classe 3, em uma altura máxima de 120m, possuem algumas facilidades na obtenção da autorização de voo. Contudo, é importante ressaltar que, segundo o ICA 100-40 (2023), existem algumas áreas em que o voo não é permitido em condições normais, sendo essas áreas denominadas *No Fly Zone* (NFZ) como, por exemplo, as áreas de segurança e próximas a aeródromos. As NFZ são determinadas por uma análise do Gerenciamento de Tráfego Aéreo que, por sua vez, são implementadas tecnicamente por alguns fabricantes de RPAs em sua programação de modo a bloquear seu acesso a estas áreas, a exemplo da marca chinesa DJI.

No entanto, “somente será permitida a operação de Aeronave Não Tripulada a partir de aeródromos em que operem aeronaves tripuladas ou, ainda, a uma distância menor que 9 km quando operado na ZAD (Zona de Aproximação ou Decolagem) e 2 km quando operando fora dela, se expressamente autorizada pelo administrador ou operador do respectivo aeródromo, pelo Órgão Regional responsável e pelo Órgão ATS (Serviço de Tráfego Aéreo) local (se houver), ficando sujeito à paralisação das operações tripuladas no solo e no circuito de tráfego” (ICA 100-40, 2023, p. 30).

2.1.2 Sistemas Sensores

Para Quartaroli, Vicente e Araújo (2014), o sensor é um dispositivo capaz de responder à radiação eletromagnética, o sistema sensor é composto por um coletor e um sistema de registro. Assim sendo, a função do sistema de registro no sistema sensor é basicamente transformar a resposta à radiação eletromagnética captada gerada pelo coletor em uma linguagem capaz de ser mensurada e armazenada.

Segundo Jensen (2011), os sistemas sensores podem ser classificados quanto a fonte de radiação, ao princípio de funcionamento, ao tipo de produto e aos níveis de coleta:

Fonte de radiação: são compostos por sensores ativos: quando possuem uma fonte própria de radiação eletromagnética (LiDAR, *light detection and ranging*, e RADAR, *radio detection and ranging*), e passivos: quando não possuem fonte própria de radiação (câmera fotográfica, radiômetros e termômetros).

Princípio de funcionamento: são sensores de varredura (capazes de adquirir mais de uma imagem por visada utilizando-se de um espelho de varredura ou de um arranjo linear), e de não varredura (capaz de adquirir uma única imagem por visada - frame).

Tipo de produto: são compostos por sensores imageadores e não-imageadores, fornecendo imagens de um alvo (câmera fotográfica e scanner) e apenas informações sobre o alvo como um gráfico ou coordenadas (LiDAR, termômetros e radiômetros), respectivamente.

Níveis de coleta: nada mais é que a origem da coleta da imagem, terrestre, aérea ou orbital.

Quartaroli, Vicente e Araújo (2014) definem que os dados do sensoriamento remoto possuem características de acordo com quatro tipos de resoluções:

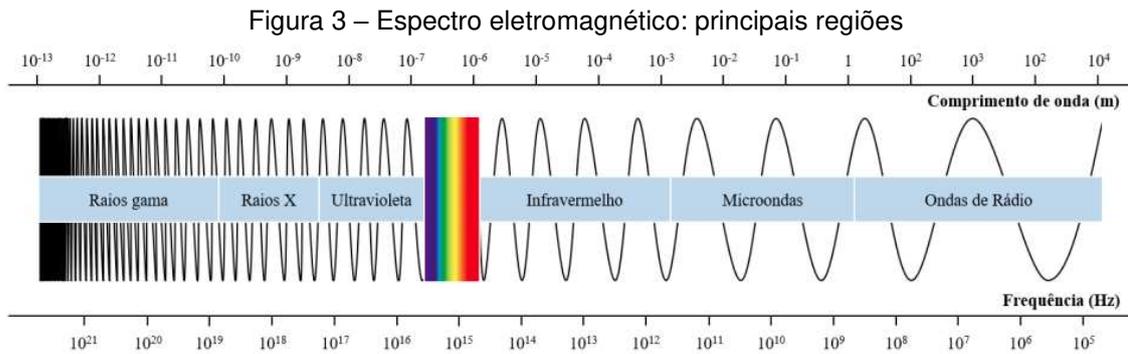
- Resolução temporal: se refere a quão frequentemente o sensor registra imagens de uma determinada área (tempo de revisita). É medida em tempo;

- Resolução radiométrica: é definida como a sensibilidade de um detector de sensoriamento remoto a diferenças na potência do sinal à medida que ele registra o fluxo radiante refletido, emitido, ou retroespalhado pelo terreno. É medida em bits;

- Resolução espacial: é uma medida da menor separação angular ou linear entre dois objetos que pode ser determinada pelo sistema de sensoriamento remoto. Basicamente, é o tamanho do menor elemento que pode ser visto na imagem. É medida em comprimento;

- Resolução espectral: é a qualidade da caracterização dos alvos de acordo com a largura espectral e o número de bandas do sensor, ou seja, quanto mais estreita a faixa espectral e quanto maior o número de bandas, melhor será a resolução espectral. É medida em largura e número de bandas.

Os sistemas sensores do tipo imageadores mais comuns, as câmeras fotográficas, captam apenas imagens na região de frequência visível do espectro eletromagnético, ou seja, não obtém dados das demais frequências de um mesmo alvo. O espectro eletromagnético “representa todo o conjunto de comprimentos de onda conhecidos, que vão desde os raios gama até ondas de rádio” (Novo, 2010, p. 40), conforme demonstra a Figura 3.



Fonte: adaptado de Florenzano (2002)

Como mencionado anteriormente, um sistema sensor classificado por sua fonte de radiação é capaz de obter dados de resolução espectral, sendo esses sensores ativos ou passivos. De acordo com Novo (2010), os sensores Ativos são aqueles que produzem sua própria radiação, como os radares e lasers que produzem sua própria energia radiante que interagirá com os objetos da superfície, enquanto os Passivos são aqueles que detectam a radiação solar refletida ou emitida pelos objetos da superfície.

Para Novo (2010, p.84), “a resolução espectral é uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno (resolução radiométrica)”. Ou seja, um sistema sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,5 μm tem uma resolução espectral maior que um sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,6 μm . Este sensor registra variações no comportamento espectral em regiões mais estreitas do espectro eletromagnético.

Ainda, segundo Novo (2010), à medida que novos sensores são desenvolvidos com melhor resolução espectral, eles se tornam cada vez mais capazes de aumentar o número de bandas para análise das interações entre radiação eletromagnética e o alvo em questão.

Existem, ainda, câmeras multiespectrais, capazes de captar dados de diferentes faixas do espectro eletromagnético simultaneamente. Estas câmeras são munidas de filtros e filmes

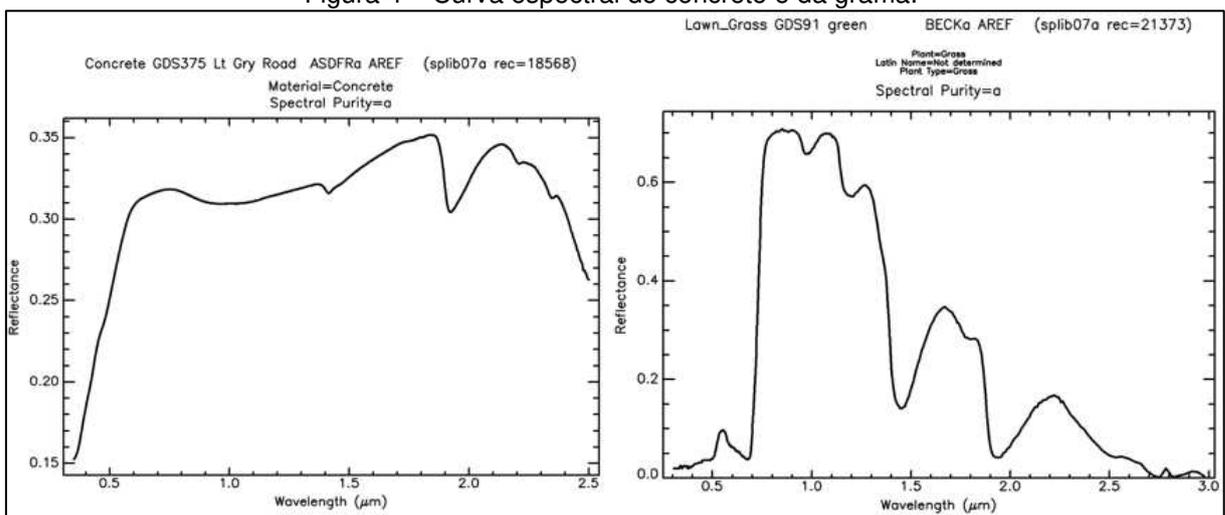
especiais, onde é possível selecionar as faixas espectrais mais adequadas ao estudo dos alvos de interesse (Rosa, 2009).

Como descrito por Meneses e Almeida (2012), as câmeras multiespectrais são muito utilizadas para comparar dados obtidos entre as variadas faixas do espectro eletromagnético de um mesmo alvo, permitindo distinguir os materiais em determinados comprimentos de onda. No entanto, o comportamento espectral de um alvo nada mais é que o valor de reflectância medido deste referido alvo ao longo do espectro eletromagnético (ROSA, 2009).

Rosa (2009), porém, alerta que o comportamento espectral de um alvo deve ser experimentado em laboratório, pois o fluxo de radiação eletromagnética refletida pode sofrer alterações devido à reflectância difusa. Desta forma, é necessário lançar mão da reflectância bidirecional como forma de medida capaz de caracterizar o comportamento espectral dos alvos em condições semelhantes às dos sensores aerotransportados ou em plataformas orbitais.

Meneses e Almeida (2012) expõem que os equipamentos utilizados nesse processo de identificação e desenho das curvas de comportamento espectral de alvos são os espectrorradiômetros. A Figura 4 demonstra a curva espectral do concreto e da grama.

Figura 4 – Curva espectral do concreto e da grama.

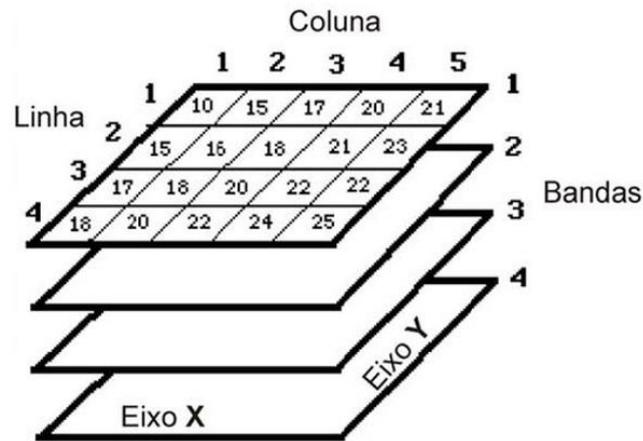


Fonte: Adaptado da Biblioteca espectral da USGS, 2017.

Dentre os dados obtidos pelas diferentes bandas do espectro eletromagnético, mencionados anteriormente, três serão apresentados de forma mais específica: imagens RGB, infravermelho e termal, porém, cabe ressaltar que os dados digitais de cada imagem coletada pelos sensores remotos são armazenados como uma matriz (arranjo) de números.

Cada valor digital é armazenado em uma linha e coluna específica na matriz (Barbosa, Novo e Martins, 2019), conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Terminologia de imagens digitais



Fonte: Adaptado de Jensen, 2011, p. 197.

Para cada elemento/célula dessa matriz dá-se o nome de pixel, e pode ser definido como “um elemento de cena bidimensional que constitui o menor elemento não-divisível de uma imagem digital” (Jensen, 2011, p. 196). Cada pixel por sua vez possui um valor de brilho (BV) associado (Figura 6), e para cada banda do sensor é gerada uma nova matriz (k), que conseqüentemente estão todas registradas geometricamente entre si.

Figura 6 - Variação do valor de brilho e escala de cinza associada



Fonte: Adaptado de Jensen, 2011, p.197.

- Imagens RGB: Segundo Meneses e Almeida (2012), as imagens RGB compreendem as imagens capturadas na faixa visível do espectro eletromagnético (0,4 a 0,7 μ m). Afirmam, ainda, que existem os elementos naturais da superfície terrestre que refletem diferentes proporções de energia dentro dessa faixa visível do espectro eletromagnético. Essas

diferentes proporções de energias podem ser estudadas a partir do comprimento de onda de cada material específico e, a partir daí, como visto anteriormente, é possível criar uma curva de reflectância espectral, também chamada de assinatura espectral.

As curvas de reflectância de determinados elementos nos ajudam a compreender como eles serão representados em um imageamento preto e branco ou colorido. Considerando que a região visível do espectro eletromagnético está compreendida entre 0,4 e 0,7 μm , sendo composta pelas cores vermelho (0,6 a 0,7 μm), verde (0,5 a 0,6 μm) e azul (0,4 a 0,5 μm), daí o termo RGB (do inglês Red, Green, Blue), pois a banda de energia eletromagnética registrada por um sistema de sensoriamento remoto pode ser representada por variações de cinza, do preto ao branco. A essas variações dá-se o nome de “tom”. Essa variação do tom é decorrente da quantidade de luz refletida de uma cena dentro da banda do espectro eletromagnético (Meneses e Almeida, 2012).

A Figura 7 representa a imagem da PPD do aeroporto de Viracopos registrada na região do visível do espectro eletromagnético (RGB).

Figura 7 - Energia refletida na região do visível do espectro eletromagnético.



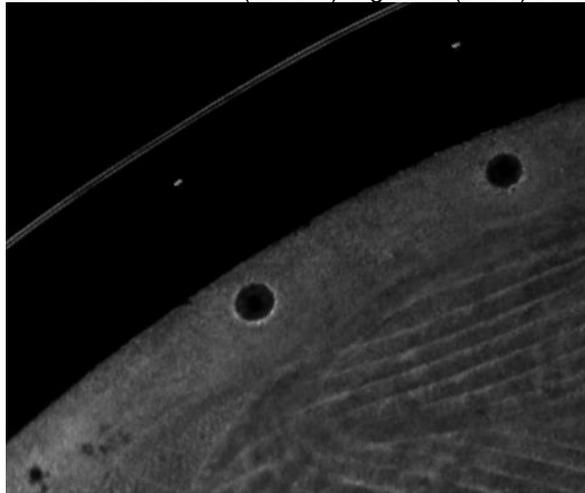
Fonte: O autor (2024).

- Imagens infravermelho: Jensen (2011) afirma que as imagens registradas na região do infravermelho próximo compreendem a faixa de comprimento de onda entre 0,7 e 0,92 μm e seu grande diferencial com relação às imagens RGB é que a água absorve grande parte da energia incidente, sendo estas imagens consideradas as melhores para a discriminação entre áreas emersas e a interface com a água. É importante ressaltar que as imagens registradas

na faixa do infravermelho também possuem grande resposta de alvos de vegetação, como pode ser visto na Figura 4.

A Figura 8 demonstra uma imagem registrada na região do infravermelho do espectro eletromagnético do aeroporto de Viracopos, onde é possível identificar visualmente que a vegetação (parte mais clara da imagem) apresenta uma resposta maior que a do pavimento (parte mais escura da imagem).

Figura 8 – Imagem infravermelho da PPD (escuro) e grama (claro) do aeroporto de Viracopos.



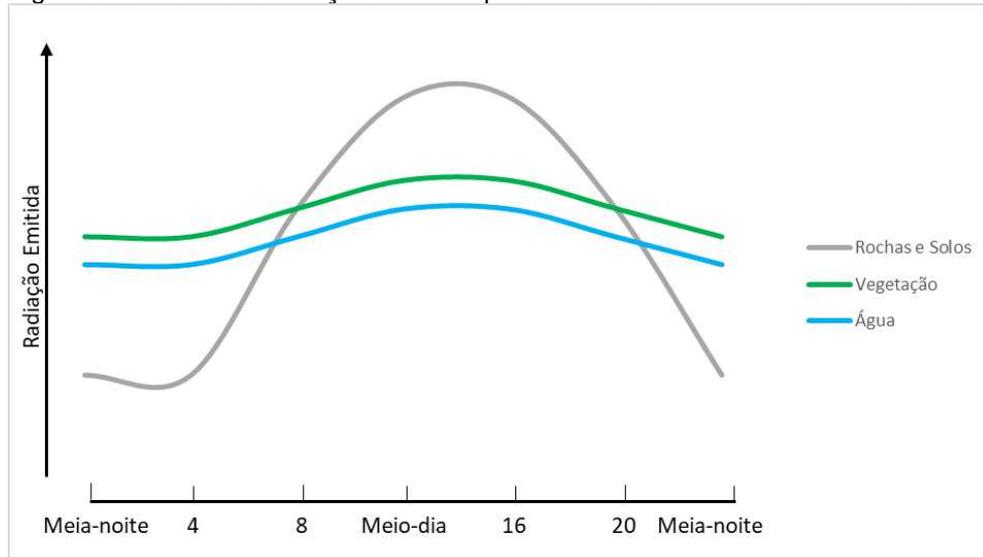
Fonte: O autor (2024).

- Imagens termal: Segundo Rosa (2009), as imagens captadas na região do infravermelho termal compreendem a faixa de comprimentos de onda entre 8 a 14 μm , e a temperatura dos alvos depende da radiação eletromagnética incidente e da inércia termal dos materiais a serem estudados. A Figura 9 demonstra as curvas de radiação emitidas por diferentes materiais.

A inércia termal (I) é definida como a capacidade que um material possui em resistir a mudanças de temperatura. É um parâmetro que depende da condutividade térmica (k), densidade (d) e do calor específico (c), podendo ser definida pela seguinte Eq. 1 (Rosa, 2009, p. 53):

$$I = \sqrt{kdc} \quad \text{Eq. 1}$$

Figura 9 – Curvas de radiação emitidas por diferentes materiais na faixa do termal.



Fonte: Adaptado de Rosa, 2009, p. 54.

Meneses e Almeida (2012) afirmam que todo material com temperatura superior a 0 K emite radiação eletromagnética pelo movimento aleatório das partículas da matéria molecular. Rosa (2009) complementa afirmando que essa temperatura é função da temperatura do corpo (T) e de sua emissividade (ϵ).

É importante ressaltar que as imagens registradas na faixa do termal são muito utilizadas para o monitoramento de secas e detecção de queimadas (ROSA, 2009).

A Figura 10 apresenta uma imagem da PPD do aeroporto de Viracopos na faixa do termal.

Figura 10 – Imagem termal da PPD do aeroporto de Viracopos.



Fonte: O autor (2024).

2.2 AEROPORTOS: INFRAESTRUTURA E LEGISLAÇÃO

Desde que o Decreto Federal nº 7.624 de 22 de novembro de 2011 entrou em vigor, os aeródromos nacionais têm passado por um processo de concessão do poder público à iniciativa privada. Diante da vertiginosa ampliação do número de operadores de aeródromo no país, outrora exclusividade da Infraero, empresa pública de administração aeroportuária, fez-se necessário redigir o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC 153 (2021) para padronização das ações de operação, manutenção e resposta à emergência conforme os padrões internacionais.

Porém, observando as diferentes particularidades de cada aeródromo, como área útil e geolocalização, percebe-se que alguns dos principais aeródromos do país processam em média mais de cem voos por dia, enquanto outros, sequer, possuem voos regulares. Logicamente, quanto mais a infraestrutura é utilizada maior devem ser os cuidados com sua manutenção, e é com base nesses dados que o RBAC 153 (2021) classifica os aeródromos conforme demonstrado abaixo:

- 1- Quanto ao número de passageiros processados:
 - a. Classe I: Número de passageiros anual inferior a 200 mil;
 - b. Classe II: Número de passageiros anual entre 200 mil e 01 milhão;
 - c. Classe III: Número de passageiros entre 01 e 05 milhões;
 - d. Classe IV: Número de passageiros igual ou superior a 05 milhões.

- 2- Quanto ao tipo de voo que o aeródromo processa:
 - a. Para aeródromos Classe 1, considera-se:
 - i. Classe I-A: Aeródromo que não processa voo regular;
 - ii. Classe I-B – Aeródromo que processa voo regular.
 - b. Para os aeródromos Classe II, III e IV, considera-se que não há divisão quanto ao tipo de voo.

Desta forma, fica claro que quanto maior o número de passageiros processados maiores serão os tipos de aeronave utilizadas no aeródromo e, conseqüentemente, maiores serão as cargas e impactos que as pistas de pouso e decolagens deverão suportar, que por sua vez demandarão maiores níveis de manutenção. Pode-se concluir, portanto, que os aeródromos de Classe I por quantidade de passageiros são economicamente inviáveis para concessão, pois a restrição de custos inclui manutenção.

2.2.1 Manutenção de Pista de Pouso e Decolagem

Para tanto, o RBAC 153 (2021) define o sistema de manutenção aeroportuária a fim de permitir a continuidade das operações aeroportuárias dentro do nível aceitável de segurança operacional. O sistema de manutenção aeroportuária compreende as áreas pavimentadas, não pavimentadas, drenagem, áreas verdes, auxílios visuais, sistemas elétricos proteção da área operacional, equipamentos, veículos e sinalização viária, utilizados na área operacional, e edificações inseridas ou limítrofes à área operacional.

As áreas pavimentadas, por sua vez, são compostas pelas pistas de pouso e decolagem, pistas de táxi e pátios de estacionamento de aeronaves e vias de circulação de veículos, equipamentos e pessoas, e devem ter especial atenção quanto à estrutura e funcionalidade do pavimento, defeitos no pavimento, desníveis / depressões / deformações, irregularidade longitudinal, atrito, macrotextura e acúmulo de borracha.

Segundo o RBAC 153 (2021), para a manutenção das áreas pavimentadas, o operador do aeródromo deverá estabelecer processos contínuos de monitoramento, manutenção preventiva e manutenção corretiva, todos devidamente documentados e com emissão de ART de cargo e função pelo responsável técnico, conforme regras do Sistema CONFEA/CREA.

Por ser o RBAC 153 (2021) muito abrangente, a ANAC elaborou a Instrução Suplementar nº 153.205-001 C (2023) a fim de segregar o sistema de áreas pavimentadas dos demais sistemas por se tratar de um tema muito técnico e assim aprofundar um pouco mais sobre as normas e equipamentos a serem utilizados.

2.2.2 Técnicas de Monitoramento

A IS 153.205-001 C (2023) trata especificamente sobre a irregularidade longitudinal; atrito e macrotextura conforme descritos abaixo:

Irregularidade longitudinal: é a avaliação do desvio da superfície do pavimento em relação a um plano de referência, é representado numericamente e deve ser realizada ao longo de toda a PPD, conforme definido na Tabela 1.

Tabela 1 - Localização das medições de irregularidade longitudinal.

Letra do Código (vide RBAC nº 154) [1]	Localização da medição [2]	Quantidade Mínima [3]
A, B ou C	A 3m do eixo da pista	Uma vez de cada lado em relação ao eixo da pista
D, E ou F	A 3m e 6m do eixo da pista	Uma vez de cada lado em relação ao eixo da pista, para cada distância da coluna [2]

Fonte: Adaptado de IS 153.205-001 C, 2023, p.8

A letra do código, indicada na tabela acima, encontra-se no RBAC 154 Em. 06 (2021) e relaciona o comprimento básico de pista requerido pela aeronave e sua envergadura, definindo, assim, quais tipos de aeronave a PPD comporta, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Código de referência do aeródromo.

Elemento 1 do Código	
Número do código	Comprimento básico de pista requerido pela aeronave
1	menor que 800 m
2	maior ou igual a 800 m e menor que 1200 m
3	maior ou igual a 1200 m e menor que 1800 m
4	maior ou igual a 1800 m
Elemento 2 do Código	
Letra do código	Envergadura
A	menor que 15 m
B	maior ou igual a 15 m e menor que 24 m
C	maior ou igual a 24 m e menor que 36 m
D	maior ou igual a 36 m e menor que 52 m
E	maior ou igual a 52 m e menor que 65 m
F	maior ou igual a 65 m e menor que 80 m

Fonte: Adaptado de RBAC 154 Em. 06, 2021, p. 6.

Cabe salientar que a periodicidade de medição da irregularidade longitudinal também é determinada pela RBAC 153 (2021), conforme a demanda de pousos e na PPD, demonstrada na Tabela 3.

Tabela 3 - Frequência mínima de medição da irregularidade longitudinal.

Faixas [1]	Média de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano [2]	Frequência de medição do IRI [3]
1	Menor que 16	Cada 36 meses
2	Maior ou igual a 16 e menor que 31	Cada 24 meses
3	Maior ou igual a 31 e menor que 91	Cada 24 meses
4	Maior ou igual a 91 e menor que 151	Cada 18 meses
5	Maior ou igual a 151 e menor que 210	Cada 12 meses
6	Maior que 210	Cada 12 meses

Fonte: Adaptado de RBAC 153, 2021, p.130.

A IS 153.205-001 C (2023) expõe, ainda, que o parâmetro de irregularidade longitudinal do pavimento deve ser igual ou inferior a 2,5 m/km, reportado a cada 200m. E que quando o índice medido for superior ao parâmetro de referência, o operador do aeródromo deve elaborar um plano de ação para restabelecer os valores mínimos aceitáveis.

Um exemplo de equipamento para medição da irregularidade longitudinal do pavimento de uma PPD é o Perfilômetro a Laser (que também é chamado de IRI e muito utilizado para medição em pavimentos rodoviários), conforme demonstrado na Figura 11.

Figura 11 - Perfilômetro a laser acoplado ao veículo.



Fonte: Dynatest, 2022.

Atrito: é a avaliação do coeficiente de atrito entre pneu e pavimento, é representada numericamente e deve ser realizado em toda extensão da PPD conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Localização das medições de atrito.

Letra do Código (vide RBAC nº 154) [1]	Localização da medição [2]	Quantidade Mínima [3]
A, B ou C	A 3m do eixo da pista	Uma vez de cada lado em relação ao eixo da pista
D, E ou F	A 3m e 6m do eixo da pista	Uma vez de cada lado em relação ao eixo da pista, para cada distância da coluna [2]

Fonte: Adaptado de IS 153.205-001 C, 2023, p.4.

A letra do código, indicada na tabela acima, encontra-se no RBAC 154 Em. 06 (2021) e relaciona o comprimento básico de pista requerido pela aeronave e sua envergadura, definindo assim quais tipos de aeronave a PPD comporta conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Código de referência do aeródromo.

Elemento 1 do Código	
Número do código	Comprimento básico de pista requerido pela aeronave
1	menor que 800 m
2	maior ou igual a 800 m e menor que 1200 m
3	maior ou igual a 1200 m e menor que 1800 m
4	maior ou igual a 1800 m
Elemento 2 do Código	
Letra do código	Envergadura
A	menor que 15 m
B	maior ou igual a 15 m e menor que 24 m
C	maior ou igual a 24 m e menor que 36 m
D	maior ou igual a 36 m e menor que 52 m
E	maior ou igual a 52 m e menor que 65 m
F	maior ou igual a 65 m e menor que 80 m

Fonte: Adaptado de RBAC 154 Em. 06, 2021, p. 6.

Cabe salientar que a periodicidade de medição do coeficiente de atrito também é determinada pela RBAC 153 (2021) conforme a demanda de pousos e na PPD, demonstrada na Tabela 6:

Tabela 6 - Frequência mínima de medição de atrito.

Faixas [1]	Média de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano [2]	Frequência de medições de atrito [3]
1	Menor que 16	Cada 360 dias

2	Maior ou igual a 16 e menor que 31	Cada 180 dias
3	Maior ou igual a 31 e menor que 91	Cada 90 dias
4	Maior ou igual a 91 e menor que 151	Cada 60 dias
5	Maior ou igual a 151 e menor que 210	Cada 30 dias
6	Maior que 210	Cada 15 dias

Fonte: RBAC 153, 2021, p. 130.

A IS 153.205-001 C (2023) também define quais os equipamentos e coeficientes de atrito aceitáveis para cada um deles, conforme Tabela 7:

Tabela 7 - Parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição.

Equipamento [1]	Pneu		Velocidade do ensaio (km/h) [4]	Profundidade da lâmina d'água simulada (mm) [5]	Coeficiente de Atrito	
	Tipo [2]	Pressão (kPa) [3]			Nível de Manutenção [6]	Nível Mínimo [7]
Mu-meter	A	70	65	1	0,52	0,42
	A	70	95	1	0,38	0,26
Skiddometer	B	210	65	1	0,6	0,5
	B	210	95	1	0,47	0,34
Surface friction tester vehicle	B	210	65	1	0,6	0,5
	B	210	95	1	0,47	0,34
Runway friction tester vehicle	B	210	65	1	0,6	0,5
	B	210	95	1	0,54	0,41
Tatra	B	210	65	1	0,57	0,48
	B	210	95	1	0,52	0,42
Grip tester	C	140	65	1	0,53	0,43
	C	140	95	1	0,36	0,24

Fonte: IS 153.205-001 C, 2023, p.3.

Segundo Santos (2004), o Mu-Meter é um dispositivo rebocável e um dos mais utilizados para medição de atrito nos aeroportos nacionais. Ele é composto por três rodas, sendo as duas rodas laterais utilizadas para medição do coeficiente de atrito, para isso é aplicada uma força descende de 78 kg sobre cada uma delas, além de estarem posicionadas a um ângulo de 7,5° em relação ao sentido do deslocamento. Os pneus utilizados são de modelo RL2 com dimensões de 4" x 8" de desenho liso, conforme normatizado pela ASTM E670. Há um controlador de fluxo de água instalado à frente do pneu de teste (*Friction Wheel*) para espargir água na superfície à sua frente, e conseqüentemente gerando uma Lâmina d'água.

A medição do coeficiente de atrito se dá pela deformação lateral da carcaça do pneu de teste, pois este encontra-se inclinado, gerando uma força lateral no ponto de articulação da roda que atua para alinhá-la. Quando o Mu-Meter se movimenta, é gerado atrito entre o pneu e o pavimento forçando o afastamento dos braços do chassi. A força provocada por esse afastamento é registrada na célula de carga. Quando o pneu desliza, ao invés de rolar, indica que o atrito pneu-pavimento foi prejudicado, reduzindo, assim, a força de afastamento dos braços e, conseqüentemente, os esforços da célula de carga. (Santos, 2004).

A norma G40 da ASTM (ASTM, 2001) define a força de atrito como sendo a força tangencial resistente, resultante da ação de uma força externa a um corpo que se move sobre o outro. O coeficiente de atrito é a razão da força tangencial e a força normal aplicada a estes corpos. Desta forma, o coeficiente de atrito pode ser representado pela Equação 2.

$$\mu = \frac{F}{N} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde: μ = coeficiente de atrito; F = força de atrito, e; N = Força normal.

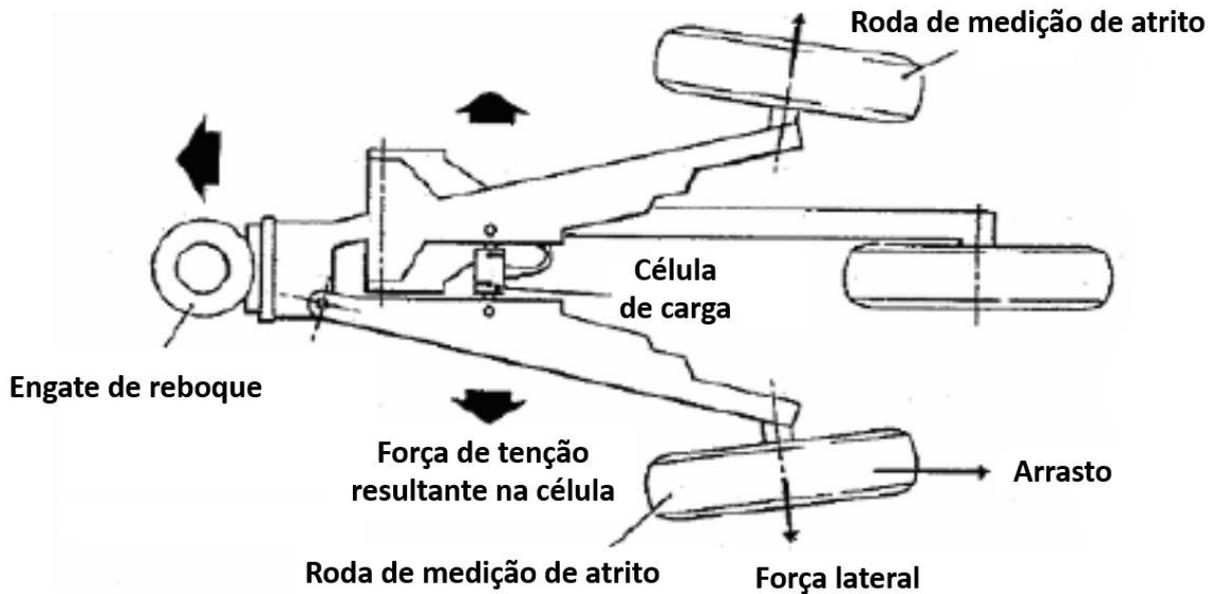
A Figura 12 demonstra um Mu-Meter, equipamento utilizado para medição de atrito e a Figura 13 demonstra seu funcionamento.

Figura 12 - Mu-Meter modelo MK-6 utilizado para a medição de atrito.



Fonte: Arquivo pessoal (2024).

Figura 13– Funcionamento do Mu-Meter.



Fonte: Adaptado de Santos (2004).

Ainda, segundo a IS 153.205-001 C (2023), quando o valor do coeficiente de atrito for inferior ao nível de manutenção indicado na coluna [6,] da Tabela 7, o operador do aeródromo deve elaborar um plano de ação para restabelecer os valores mínimos aceitáveis. Porém, quando o valor do coeficiente de atrito for inferior ao nível mínimo indicado na coluna [7], da tabela 7, o operador do aeródromo deve, além de elaborar um plano de ação para restabelecer os níveis mínimos aceitáveis, expedir um NOTAM contendo a informação de que a PPD contém trechos passíveis de estarem escorregadios quando molhados.

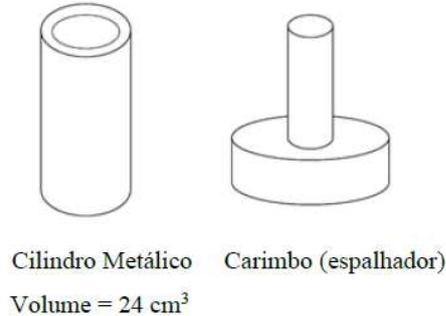
Macrotextura: é a avaliação da profundidade da macrotextura da superfície do pavimento, é representada numericamente e deve ser realizada conforme exame volumétrico tipo mancha de areia em toda a extensão da pista; em áreas do pavimento onde não existam ranhuras transversais (*grooving*); em áreas localizadas a 3m do eixo da pista e de forma alternada a cada 100m à esquerda e à direita do eixo; e com no mínimo 3 medições para cada área. A Figura 14 demonstra os equipamentos utilizados no ensaio tipo mancha de areia.

O Método da mancha de areia para medição da textura superficial de pavimentos consiste no espalhamento de um volume conhecido de areia sobre uma área da superfície do pavimento da pista de pouso e decolagem, e na determinação da distância média entre os picos e vales da macrotextura do pavimento (profundidade da macrotextura) mediante a divisão do volume de areia utilizado pela área de espalhamento.

O equipamento utilizado consiste em um cilindrometálico com volume interno de 24cm³ e de um espalhador tipo carimbo manual. A areia a ser utilizada deve possuir granulometria contida entre as peneiras nº 50 e nº 100, isto é,

passando na peneira nº 50 e sendo retida pela peneira nº100. (IS 153.205-001 C, 2023, p.6)

Figura 14 - Equipamentos utilizados no ensaio tipo mancha de areia.



Fonte: IS 153.205-001 C, 2023, p. 6.

A medição é realizada da seguinte forma: o cilindro metálico deve ser enchido completamente com a areia especificada. Em seguida derrama-se a areia do cilindro sobre o local escolhido do pavimento e espalha-se a areia uniformemente formando um círculo. Calcula-se a área do círculo formado pela mancha de areia com um instrumento de precisão milimétrica. A partir da observação das medidas adotadas é realizado o cálculo da profundidade média da macrotextura utilizando as Eq. 3 a 5:

Eq. 3

$$Profundidadedamacrotextradecadamedição(i) = \frac{Volumedeareia(i)}{Áreacobertapelaareia(i)}$$

Eq. 4

$$Profundidadedamacrotectura = \frac{Somadasprofundidadesdamacrotextradecadamedição(i)}{Númerototaldemediçõesrealizadasdecadaárea}$$

Eq. 5

$$Profundidademédiadamacrotectura = \frac{Somadasprofundidadesdamacrotecturaemcadaterço}{Númerototaldeáreasdemediçãoemcadaterço}$$

A classificação da profundidade da macrotextura em mm dá-se de acordo com a Tabela 8, sendo o resultado da profundidade média da macrotextura maior ou igual a 0,60 mm considerado positivo, e para as medições que apresentarem resultado inferior a 0,60 mm, negativo. Neste caso, o operador do aeródromo deve adotar ações corretivas.

Tabela 8 - Classificação da macrotextura.

Profundidade - P (mm)	Classificação
-----------------------	---------------

$P \leq 0,2$	Muito fechada
$0,2 < P \leq 0,4$	Fechada
$0,4 < P \leq 0,8$	Média
$0,8 < P \leq 0,1,2$	Aberta
$P > 1,2$	Muita aberta

Fonte: RBAC 153, 2021, p. 57.

A IS 153.205-001 C (2023) também determina a utilização de um modelo de relatório técnico para demonstração dos resultados para os valores de macrotextura conforme demonstrado na Figura 15.

Figura 15 - Modelo de relatório para medição de macrotextura.

↑ (°)	Esquerda do eixo da pista 3m		00	Direita do eixo da pista 3m		↑ (°)
3500						3500
3400						3400
3300						3300
3200						3200
3100						3100
3000						3000
2900						2900
2800						2800
2700						2700
2600						2600
2500						2500
2400						2400
2300						2300
2200						2200
2100						2100
2000						2000
1900						1900
1800						1800
1700						1700
1600						1600
1500						1500
1400						1400
1300						1300
1200						1200
1100						1100
1000						1000
900						900
800						800
700						700
600						600
500						500
400						400
300						300
200						200
100						100

Fonte: IS 153.205-001 C, 2023, Apêndice B.

No entanto, para realizar os ensaios e medições exigidas pela ANAC deve-se seguir rigorosamente um conjunto de medidas de segurança previstas no RBAC 107 (2021), ao que

se dá o nome de segurança da aviação civil contra atos de interferência ilícita (AVSEC), a fim de garantir a integridade de passageiros, tripulantes, pessoal de terra, público em geral, aeronaves e instalações aeroportuárias contra atos de interferência ilícita.

Segundo o RBAC 107 (2021), o operador do aeródromo deve manter um processo de concessão de credenciais aeroportuárias para colaboradores, pessoal de serviço e visitantes, além de autorizações para os veículos e equipamentos que necessitem de acesso às Áreas Controladas ou Áreas Restritas de Segurança.

As áreas delimitadas pelo perímetro operacional (lado ar) devem ser classificadas em Áreas Controladas (AC) ou Áreas Restritas de Segurança (ARS), de acordo com a avaliação de risco realizadas pelo operador de aeródromo.

As áreas do lado ar de um aeródromo, avaliadas com grau de risco prioritário, devem ser classificadas como ARS, devendo incluir, pelo menos, os pátios de aeronaves utilizados pela aviação comercial regular ou operação *charter*, áreas de embarque de passageiros entre o ponto de inspeção e a aeronave, áreas de manuseio e armazenamento de bagagens, áreas de manuseio e armazenamento de carga e a mala postal conhecidos, de provisões, de materiais de limpeza ou de outros suprimentos a serem direcionados às aeronaves da aviação civil comercial regular ou operação *charter*.

As demais áreas do lado ar, avaliadas com grau de risco não prioritário, devem ser classificadas como AC (RBAC 107, 2021, p.18).

Desta forma, o RBAC 107 (2021) determina que as credenciais sejam classificadas entre permanentes (para acesso ao lado ar sem acompanhamento, porém com prazo determinado de validade) ou temporárias (para acesso ao lado ar com acompanhamento).

Cabe salientar que, tanto para a emissão da credencial permanente quanto para a temporária, qualquer documento que esteja em desacordo com os pré-requisitos de segurança, como atestado de antecedentes criminais positivo, por exemplo, a credencial não é emitida e a pessoa impedida de acessar o lado ar.

Outro ponto importante a ser observado no RBAC 107 (2021) é a forma de acesso ao lado ar, pois, considerando que toda área operacional é uma zona de acesso controlado ou de acesso restrito de segurança, conseqüentemente, há a necessidade criação de pontos

específicos para seu acesso, sendo o acesso de veículos e equipamentos segregados do ponto de acesso de pessoas.

O RBAC 107 (2021) define as obrigações do operador do aeródromo quanto ao acesso de pessoas e veículos ao lado ar conforme segue:

- a) Disponibilizar pontos de controle de acesso de uso exclusivo para colaboradores, tripulantes e pessoal de serviço de forma a garantir fluxo e segregação adequados de funcionários em geral e passageiros;
- b) Manter um informativo à vista contendo a relação de objetos que não podem acessar o lado ar;
- c) Garantir que apenas pessoas, veículos e equipamentos previamente identificados, autorizados e inspecionados tenham acesso à ARS através dos pontos de controle;
 - 1) O acesso desacompanhado à ARS é permitido:
 - I) Às pessoas que portem credencial aeroportuária expedida pelo operador de aeródromo;
 - II) Ao servidor designado pela ANAC e ao inspetor ou investigador credenciado pelo COMAER, no exercício de suas funções, que apresentem a identificação de servidor emitida pelos respectivos órgãos;
 - III) Ao tripulante militar, no exercício de sua função, que apresente a identificação funcional emitida pelo órgão das Forças Armadas;
 - IV) Ao tripulante dos operadores aéreos da aviação comercial, exceto de táxi aéreo, através da apresentação da CHT original, quando comprovada a necessidade de acesso para embarque em aeronave ou outra finalidade de serviço;
 - V) Aos veículos que portem autorização de trânsito interno de veículos (ATIV) permanentes, expedida pelo operador do aeródromo, e;
 - VI) Aos passageiros da aviação comercial de posse de cartão de embarque válido, no caso de acesso às salas de embarque.
 - 2) O acesso à ARS, desde que supervisionado através de sistema de CFTV ou por profissional credenciado do operador do aeródromo, é permitido:
 - I) Ao tripulante dos operadores aéreos da aviação geral e de táxi aéreo, através da apresentação da CHT original, quando comprovada a necessidade de acesso para embarque em aeronave ou outra finalidade de serviço, e;

- II) Ao aluno em instrução de voo, juntamente com seu instrutor, quando demonstrada tal situação.
- 3) O acesso à ARS, desde que acompanhado por qualquer profissional atuante no aeródromo, de posse de credencial permanente, é permitido:
- I) Às pessoas que portem credencial aeroportuária temporária expedida pelo operador do aeródromo;
 - II) Na forma de comboio, aos condutores de veículos ou equipamentos que portem autorização de trânsito interno de veículos (ATIV) temporário, e;
 - III) Ao passageiro de operador de táxi aéreo ou da aviação geral, quando comprovada a necessidade de acesso para embarque em aeronave.
- (A) No caso em que o passageiro estiver acompanhado pelo tripulante de seu voo é dispensado o acompanhamento por profissional atuante no aeródromo.
- 4) O acesso à ARS, desde que acompanhado por profissional do operador do aeródromo, nos termos do parágrafo 107.93(h)(1), é permitido:
- I) Aos profissionais necessários à execução de serviços emergenciais de manutenção, mediante solicitação formal da organização instalada no aeródromo e demandante dos serviços;
 - II) Aos agentes públicos de fiscalização e controle, no exercício da função, que apresentem identificação expedida pelos respectivos órgãos, e;
 - III) Na forma de comboio, aos condutores de veículos ou equipamentos não credenciados, com necessidade de atendimento às atividades ou serviços na ARS.
- 5) Em caso de acesso ou tentativa de acesso indevido, o operador de aeródromo deve aplicar medidas de pronta resposta que sejam suficientes para bloquear e/ou impedir a continuidade do acesso, incluindo, quando necessário, a comunicação ao setor de segurança aeroportuária e/ou ao órgão de segurança pública responsável pelas atividades de polícia no aeródromo, observando o plano de contingência do aeródromo.
- d) Garantir que materiais de serviço, mercadorias ou suprimentos direcionados à ARS sejam objeto de inspeção de segurança apropriado nos acessos às ARS, exceto se houver outros controles de segurança implementados conforme programa de segurança aeroportuário.

O RBAC 107 (2021) também prevê que todas as pessoas, seus pertences de mão, bem como veículos e equipamentos devem ser inspecionados antes do acesso à ARS

devendo manter nos pontos de controle de acesso agentes de proteção da aviação civil capacitados para operação de equipamentos de raio-x e detectores de metais a fim de impedir o acesso de objetos e equipamentos proibidos nas áreas controladas e áreas restritas de segurança.

2.3 GERAÇÃO DE PRODUTOS

2.3.1 Fotogrametria e Ortoimagens

Segundo Coelho e Brito (2007), as imagens obtidas pelos sensores acoplados em plataformas aéreas encontram-se em perspectiva central, ou seja, sofrem a influência de inúmeros raios de luz originados de diferentes pontos, e passam por um só ponto, o centro de perspectiva do sistema óptico da câmera fotográfica. O conjunto destes raios de luz denomina-se feixe perspectivo, e estas imagens não possuem informações métricas seguras devido aos erros de rotação do sensor e deslocamentos do relevo. Diante da necessidade de gerar mapas com informações precisas pesquisadores desenvolveram o método científico, baseado em modelo matemático, chamado Fotogrametria que deu início ao processamento de imagens.

Para que seja possível utilizar estas imagens como documentos cartográficos para geração de mapas, é necessário transformá-las em ortoimagens através de um processo denominado ortorretificação, que consiste em reprojeter uma imagem de perspectiva central em um plano horizontal, eliminando os ângulos de atitude da câmera em relação a um dado referencial e a distância focal da imagem resultante (Coelho e Brito, 2007)

Coelho e Brito (2007) seguem afirmando que o produto da ortorretificação é uma nova imagem vertical sem as distorções causadas pela atitude do sensor no momento da aquisição da imagem, denominada ortoimagem, que também pode ser isenta dos erros de deslocamento do relevo e atualmente são fortemente exploradas no ramo da cartografia.

2.3.2 Classificação Digital de Imagens

Segundo Abburu e Babu Golla (2015), a classificação digital de imagens é a técnica na qual um rótulo é atribuído para cada classe encontrada na foto analisada. Rosa (2009) afirma que a classificação das imagens é a atribuição do significado específico para cada pixel ou conjunto de pixels com auxílio de algoritmos. O conceito desta técnica é baseado em agrupar os pixels de uma feição identificada que apresentem características semelhantes, e podem ser classificados em três categorias: manual, híbrida ou automática.

A seguir será apresentada a categoria automática, foco da presente pesquisa, que ainda pode ser dividida em não supervisionada e supervisionada, segundo Pereira e Centeno (2017). E a técnica mais utilizada para classificação de imagens de sensoriamento remoto, segundo Sun *et al.* (2013), é a classificação supervisionada.

A classificação não supervisionada não requer nenhuma informação sobre as áreas de interesse, já na classificação supervisionada de imagens, as classes de interesse são determinadas pelo analista e sua identificação se dá por meio de áreas de treinamento, que são as representações do comportamento médio das classes. Nesta etapa, o analista identificará as áreas específicas que representem exemplos homogêneos das feições que posteriormente serão mapeadas automaticamente pelo algoritmo (Tangerino e Lourenço, 2013).

Os principais classificadores supervisionados são: Método do paralelepípedo; Distância de *Mahalanobis*; Mínima distância; Mapeamento por ângulo espectral; Redes neurais artificiais; *Spectral angle mapper* (SAM); *Spectral information divergence* (SID); Máxima verossimilhança (MaxVer); Árvores de decisão (*Random Trees*), e; *Support vector machines* (SVM, Máquinas de Vetor de Suporte).

Os classificadores Máxima Verossimilhança, Árvores de Decisão e Máquinas de Vetor de Suporte, disponíveis no software ArcGIS Pro (utilizado na presente pesquisa), serão detalhados a seguir.

Maximum Likelihood ou Máxima Verossimilhança é uma técnica estatística amplamente utilizada na cartografia e no processamento de imagens de sensoriamento remoto para a classificação de dados *raster*. Este método se baseia na probabilidade de um pixel pertencer a uma determinada classe. O algoritmo pressupõe que as classes têm a mesma probabilidade e as bandas possuem distribuição normal. Ao analisar a probabilidade para cada classe, o pixel é declarado a uma classe cuja probabilidade tenha sido mais alta (Ribeiro, 2004).

Porém, para obter bons resultados de classificação neste método é necessário que a área de treinamento seja bastante consistente, pois a matriz de covariância tende a classificar os valores muito alto (Rawat e Kumar, 2015).

Ribeiro (2004) afirma que a função de decisão para o classificador Máxima Verossimilhança é chamada função densidade de probabilidade multivariada com distribuição normal, e seu funcionamento será detalhado a seguir.

Nunes (1995) afirma que na classificação por Máxima Verossimilhança considera-se X um vetor de componentes, seus valores são os níveis de cinza de um *pixel*, e W_i uma classe i dentre todas as possibilidades de classes determinadas. A classificação se dá de forma que um *pixel* X pertence a uma determinada classe W_i se:

$$P\left(\frac{W_i}{X}\right) > P\left(\frac{W_j}{X}\right), \forall j \neq i \quad \text{Eq. 6}$$

Onde $P(W_i/X)$ é a probabilidade de X pertencer à classe W_i , em outras palavras, é a verossimilhança de X em relação à classe W_i , probabilidade esta que será comparada com a probabilidade de todas as demais classes para sua classificação final. Por meio do teorema de Bayes é possível determinar $P(W_i/X)$ sendo $i=1..n$.

$$P\left(\frac{W_i}{X}\right) = \frac{P\left(\frac{X}{W_i}\right) \times P(W_i)}{P(X)} \quad \text{Eq. 7}$$

A probabilidade de ocorrência da classe i é dada por $P(W_i)$ que, a princípio, é a probabilidade considerada, pois se baseia nos conhecimentos que o analista possui da região estudada antes da classificação. Já a probabilidade de encontrar um *pixel* de qualquer classe na posição X é dada por $P(X)$, e quanto maior o valor de $P(X)$ menor é a chance de X pertencer a uma classe específica. $P(X)$ pode ser determinado pela Eq. 8.

$$P(X) = \sum_{i=1}^n P\left(\frac{X}{W_i}\right) P(W_i) \quad \text{Eq. 8}$$

A composição de probabilidade de X para uma classe W_i é dada por $P(X/W_i)$, e esta probabilidade pode ser obtida por amostras de várias classes ao substituir $P(X/W_i)$ da Eq. 6 seguindo o Teorema de Bayes (Eq. 7) chega-se ao resultado apresentado na Eq. 9.

$$X \in W_i, \text{ se } \frac{P\left(\frac{X}{W_i}\right) \times P(W_i)}{P(X)} > \frac{P\left(\frac{X}{W_j}\right) \times P(W_j)}{P(X)}, \forall j \neq i \quad \text{Eq. 9}$$

Sendo $P(X)$ um termo comum, pode ser eliminado da Eq. 9 conforme demonstrado na Eq. 10.

$$X \in W_i, \text{ se } P\left(\frac{X}{W_i}\right) \times P(W_i) > P\left(\frac{X}{W_j}\right) \times P(W_j), \forall j \neq i \quad \text{Eq. 10}$$

A princípio, a probabilidade não é conhecida, porém neste caso é necessário assumir que a probabilidade de ocorrência de qualquer uma das classes são iguais, simplificando a relação demonstrada na Eq. 10, que passa a ser conforme demonstrado na Eq. 11.

$$X \in W_i, \text{ se } P\left(\frac{X}{W_i}\right) > P\left(\frac{X}{W_j}\right), \forall j \neq i \quad \text{Eq. 11}$$

Na técnica de classificação por Máximo Verossimilhança, assume-se que as amostras possuem distribuição normal de probabilidade para todas as classes. Desta forma, $P(X/W_i)$ é dada por um modelo normal multivariado (pois está expandido para M bandas).

$$P\left(\frac{X}{W_i}\right) = (2\pi)^{-N/2} \Sigma_i^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(X - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1}(X - \mu_i)\right\} \quad \text{Eq. 12}$$

A letra N representa o número de bandas (X), Σ_i representa a matriz de covariância da classe i para todas as bandas, μ_i representa o vetor que contém o valor médio de nível de cinza da classe i, sendo que T significa a matriz transposta e -1 a matriz inversa.

A matriz de covariância simétrica, que demonstra o grau de correlação entre as bandas para uma determinada classe i, é representada pela Eq. 13. e o vetor médio pela Eq. 14.

$$\Sigma_i = \left(\frac{1}{k-1} \right) \sum_{j=1}^k (X_j - \mu_i)(X_j - \mu_i)^T \quad \text{Eq. 13}$$

$$\mu_i = \left(\frac{1}{k} \right) \sum_{j=1}^k X_j \quad \text{Eq. 14}$$

Onde k representa o número de *pixels* das amostras de treinamento da classe i. Aplicando o logaritmo natural à Eq. 12, obtém-se o representado na Eq. 15.

$$\ln P \left(\frac{X}{W_i} \right) = \frac{-N}{2 \ln(2\pi)} - \frac{1}{2 \ln |\Sigma_i|} - 1/2 (X - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - \mu_i) \quad \text{Eq. 15}$$

Para fins de redução do tempo de processamento do algoritmo, e levando em consideração que $-N/2$, $\ln(2\pi)$ e $1/2$ são comuns para todas as classes, eles são desconsiderados por simplificação matemática, chegando às Eq. 16 e 17. Este é o princípio de funcionamento da regra de decisão utilizada no classificador por Máxima Verossimilhança.

$$G_i(X) = -\ln |\Sigma_i| - (X - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - \mu_i) \quad \text{Eq. 16}$$

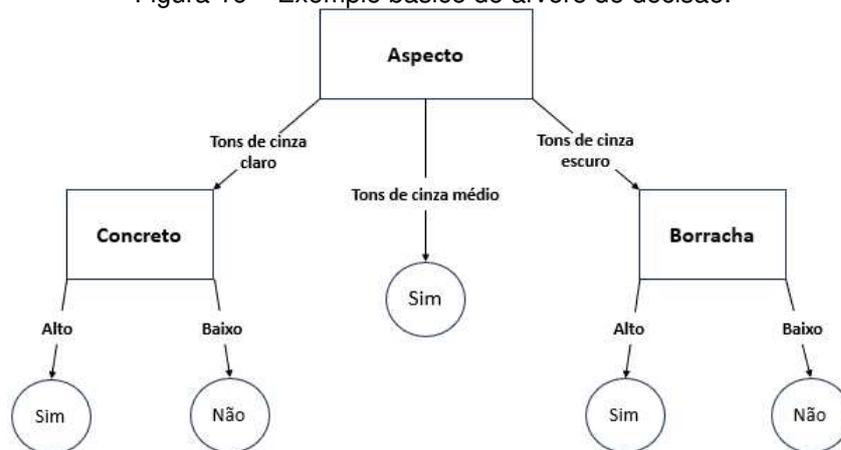
$$X \in W_i, \text{ se } G_i(X) > G_j(X), \forall j \neq i \quad \text{Eq. 17}$$

É importante destacar que, ao longo dos anos e com o avanço das pesquisas e tecnologias, houve grandes evoluções no classificador por Máxima Verossimilhança, porém destaca-se aqui que o princípio do funcionamento deste importante classificador se mantém o mesmo desde então.

Random Trees ou árvores de decisão, é uma técnica que se utiliza de funções cujos dados de entrada são vetores de atributos e as saídas uma decisão: sim ou não. Este método é aplicado a partir da divisão de um conjunto de dados em subconjuntos repetidas vezes até que cada subconjunto esteja homogêneo, apresentando resultados de uma única classe (Witten et al., 2011).

Esta técnica leva o nome de árvores de decisão devido à semelhança de sua estrutura com uma árvore, sendo formada por nós, ramos e folhas. Os testes lógicos para divisão dos dados são realizados nos nós, sendo o primeiro nó denominado nó raiz que, por sua vez, é o nó principal desta árvore de decisão. Os demais nós são chamados de nós filhos e todos eles são conectados entre si por ramos. Já as folhas são as regiões que estão associadas a um valor (Aitkenhead, 2008). A Figura 16 representa o exemplo de uma árvore de decisão.

Figura 16 – Exemplo básico de árvore de decisão.



Fonte: Adaptado de Machine Learning (Mitchell, 1997).

Latorre *et al.* (2007) aprofunda um pouco mais o tema afirmando que o nó esquerdo representa os dados que satisfazem o teste lógico, enquanto o nó direito representa os dados que não satisfazem este teste. Ressaltam, ainda, que critérios estatísticos sobre os dados de treinamento são responsáveis pela divisão em cada nó interno de uma árvore.

Segundo Tan, Steinbach e Kumar (2005), as principais características do classificador por árvore de decisão são: interpretabilidade da área de treinamento, que pode ser facilmente convertida em regras; presença elevada de ruídos; o processamento do algoritmo é leve e

independe de sistemas computacionais robustos, e; o desempenho do classificador pode ser prejudicado caso os atributos redundantes e irrelevantes não sejam tratados adequadamente.

Basicamente, o algoritmo da árvore de decisão pode ser explicado como sendo uma série de declarações *if-elses* que resultam na classificação de um registro quando aplicados a este em uma base de dados. O ponto crucial em uma árvore de decisão é a sua habilidade de aprendizado a partir do treinamento (Santos, 2021).

Support Vector Machine ou Máquina de Vetor de Suporte (SVM) é uma técnica computacional de aprendizado para problemas de reconhecimento de padrão que se utiliza da minimização dos erros para determinar limites de decisão que produzam uma separação ótima entre classes (Vapnik, 1995).

A classificação é baseada no princípio de separação ótima entre classes, de forma que, se há possibilidade de separação das classes, a solução é escolhida de forma a separar as classes ao máximo. Por meio da área de treinamento, a máquina é capaz de classificar um exemplo ainda não visto que siga a mesma distribuição de probabilidade dos exemplos de treinamento.

Melgane e Bruzzone (2004) aprofundam o tema explanando que o funcionamento do algoritmo SVM tem seu funcionamento fundamentado nas seguintes lógicas matemáticas: Obtidas “D” amostras de treinamento (x_i, y_i) , com $i = 1, 2, \dots, D$, e com $x_i \in \mathbb{R}^M$ é uma representação vetorial de um conjunto e $y_i \in (-1, 1)$ é sua classe associada. A princípio, existe uma distribuição de probabilidade desconhecida, do qual os dados de treinamento serão retirados.

A principal diferença entre o SVM e os demais classificadores apresentados até aqui é que este é capaz de minimizar a expectativa de erro $\varepsilon(\zeta)$ por meio da Eq. 18, onde $\varepsilon(\zeta)$.

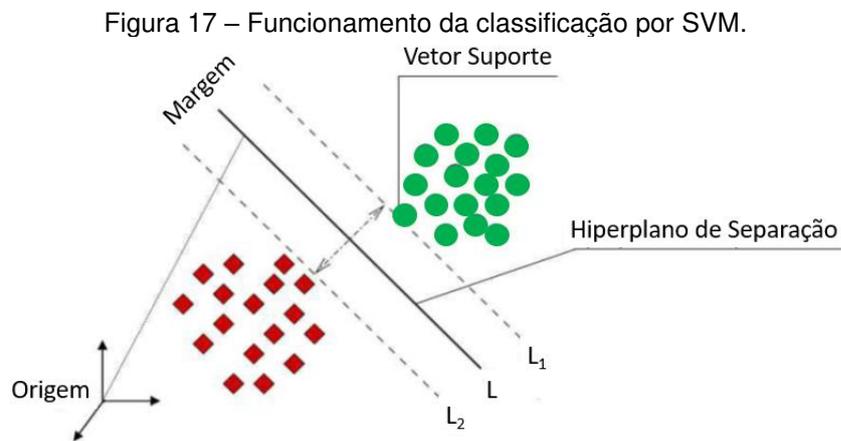
$$\varepsilon(\zeta) = \int \frac{1}{2} |y - (x, \zeta)| dP(x, y) \quad \text{Eq. 18}$$

Contudo, não é possível calcular esta equação devido a distribuição de probabilidade $P(x, y)$ ainda não ser conhecida. Porém, o risco empírico $\varepsilon_{\psi}(\zeta)$, definido como a média da taxa de erro nos elementos dos dados de treinamento, pode ser representado pela Eq. 19

$$\varepsilon_{\psi}(\varsigma) = \frac{1}{2D} \sum_{i=1}^D |y_i - f(x_i, \varsigma)| \quad \text{Eq. 19}$$

Onde $\varepsilon_{\psi}(\varsigma)$ é fixo para um ς arbitrário e um conjunto de treinamento (x_i, y_i) .

Um hiperplano condicional é utilizado para realizar a separação ótima entre classes, sendo orientado para maximizar a margem e pelo ponto mais próximo de cada classe, conforme demonstrado na Figura 17.



Fonte: Adaptado de Melgani e Bruzzone, 2004.

3. METODOLOGIA PROPOSTA

Todos os dados da presente pesquisa foram coletados na pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Viracopos, localizado no município de Campinas, interior do Estado de São Paulo.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A PPD do aeroporto de Viracopos foi construída em 1957, possui extensão total de 3.245m, 45m de largura e 08m de acostamento em cada lado. A cabeceira da esquerda é chamada cabeceira 15 e a da direita 33, conforme demonstra a Figura 18.

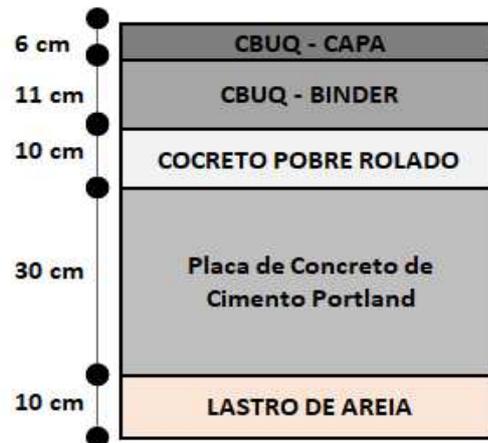
Figura 18 - Foto aérea da PPD de Viracopos capturada em 06/09/2021.



Fonte: arquivo pessoal (2024).

Outro ponto importante a se observar é a composição de seu pavimento com 5 camadas, são elas: 10cm de lastro de areia, 30cm de placa de concreto de cimento Portland, 10cm de concreto pobre rolado, 11cm de CBUQ – Binder e 6cm de CBUQ – Capa, conforme demonstrado na Figura 19. Ressalta-se, ainda, que a última camada (CBUQ – Capa) do pavimento da PPD de Viracopos possui ranhuras transversais, chamadas *grooving*, que auxiliam na drenagem de água durante precipitações de chuva.

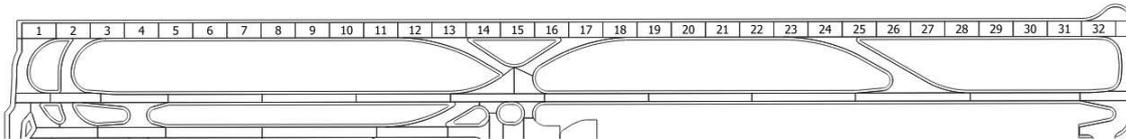
Figura 19 - Ilustração das camadas do pavimento da PPD de Viracopos.



Fonte: Sistema de gerenciamento de pavimentos (Acervo Aeroporto Internacional de Viracopos).

Para facilitar a localização e identificação visual dos pontos tratados a PPD foi dividida em seções de 100 m a partir da cabeceira 15, conforme demonstrado na Figura 20. Vale salientar que a presente pesquisa se concentrou nas seções 1 a 9.

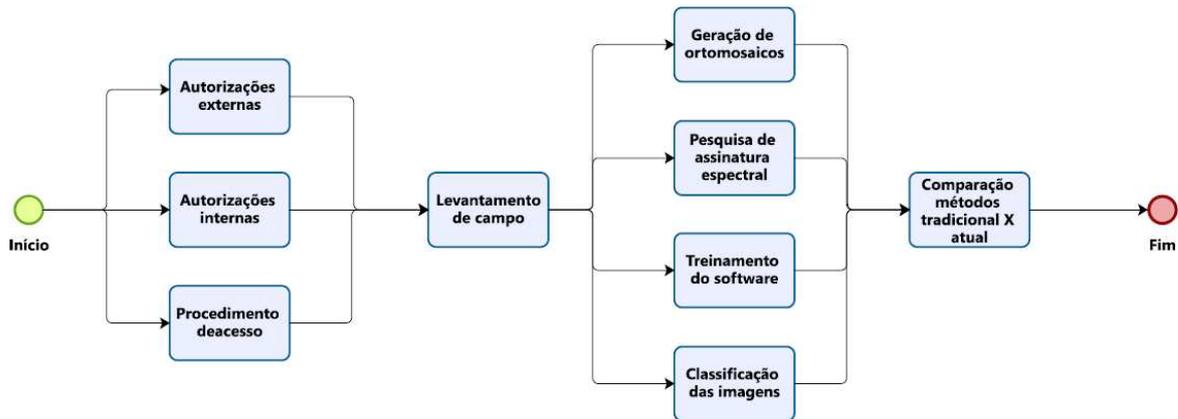
Figura 20 - Seções PPD a cada 100m.



Fonte: Sistema de gerenciamento de pavimentos (Acervo Aeroporto Internacional de Viracopos).

A etapa de coleta de dados foi precedida por um extenso planejamento, composto por requisição de autorizações externas ao aeroporto de Viracopos (DECEA, Controlador de Tráfego Aéreo e Fabricante dos RPAs) e autorizações internas ao aeroporto de Viracopos (Credenciamento, Polícia Federal e Receita Federal). Após a etapa de autorizações, iniciar-se-ão as etapas de procedimento de acesso às áreas controladas; levantamento de campo; geração de produtos, e; comparações e análises do método proposto com o tradicional, detalhados no Fluxograma 1.

Fluxograma 1 – Etapas da Metodologia.



Fonte: O autor (2024).

3.2 AUTORIZAÇÕES EXTERNAS

Devido as atividades de coleta dos dados demandarem o fechamento da PPD e do espaço aéreo, a definição da data para coleta de dados levou em consideração que a malha aérea nacional estava com elevada demanda de voos nos dias 05 e 07 de setembro de 2020 devido ao feriado da Proclamação da República no dia 07 (segunda-feira), e que, por consequência, havia baixíssima demanda no dia 06 (domingo) justamente por suceder um sábado e preceder o feriado.

Desta forma, após análise da gerência de operações do aeroporto de Viracopos, do controlador de tráfego aéreo local e do DECEA, iniciou-se o processo de formalização de expedição de NOTAM, ou seja, aviso às autoridades de aeronavegabilidade nacionais e internacionais de que o aeródromo estaria fechado no período das 10 h às 16 h (horário local) do dia 06 de setembro de 2020, conforme acordo operacional 2020/01 (Anexo I).

O NOTAM foi expedido pelo controlador de tráfego aéreo local em 31/08/2020, conforme Anexo II, por meio do sistema AISWEB com autenticação de usuário e senha. De posse das autorizações de fechamento da PPD e do espaço aéreo para operação com o RPA, passou-se então para a fase de credenciamento dos envolvidos e de autorização de acesso dos equipamentos.

Paralelamente à emissão do NOTAM, providenciou-se também a solicitação de voo no sistema SARPAS (Anexo III), para informar o equipamento que seria utilizado, bem como

o operador responsável pelo RPA. Nesta solicitação foi anexada a Carta de Acordo Operacional acima mencionada para agilizar a autorização por parte do DECEA.

Encaminhou-se também uma carta ao fabricante dos RPAs, solicitando a liberação de operação dos equipamentos sobre a área de segurança de Viracopos, a saber coordenadas 23° 00' 00" S LAT; 047° 08' 42" W LON, Altitude ortométrica: 657 m (2,155 ft), Raio de atuação: 3,048 m (10,000 ft), Altura máxima de voo: 120 m (400 ft) (Anexo IV), emitida pelo operador do aeródromo.

3.3 AUTORIZAÇÕES INTERNAS

A emissão de credencial temporária seguiu as premissas previstas no RBAC 107 (2021), como visto anteriormente, ou seja, para cada pessoa foram requisitados os seguintes documentos:

- a) Formulário de solicitação formal do interessado;
- b) Documento de identificação;
- c) Demonstrar a necessidade de acesso ou permanência em área operacional do aeródromo por meio de formulário específico e;
- d) Comprovar registro no sistema web de verificação de segurança de credenciais aeroportuárias da Polícia Federal, (Anexo V).

Após a entrega de toda documentação ao setor de credenciamento do aeródromo, foi necessário aguardar o prazo de 72 horas para a emissão das credenciais que, por motivos de segurança, foram disponibilizadas a cada indivíduo somente no ato do acesso ao lado ar pelo encarregado de segurança de plantão no aeródromo.

Já os RPAs, câmeras, acessórios e demais equipamentos necessitaram de autorização formal via e-mail das autoridades da Polícia Federal e da Receita Federal para acesso ao lado ar.

3.4 PROCEDIMENTO DE ACESSO

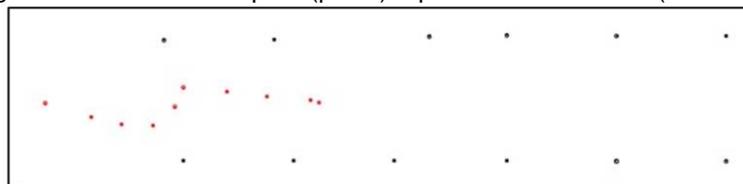
O acesso, tanto de pessoas quanto de equipamentos, deu-se pelo ponto de acesso "Echo 8", acesso segregado dos passageiros. Todos foram submetidos a inspeção com

detector de metais e os equipamentos à inspeção radiográfica dos agentes de proteção da aviação civil do posto em que foi realizada a entrada. Na sequência, um veículo da administradora do aeródromo foi utilizado para o transporte de pessoas e equipamentos até a PPD.

3.5 LEVANTAMENTO DE CAMPO

Antes da coleta de dados, foi realizada uma breve inspeção no local com o intuito de identificar visualmente quais os principais pontos com manchas aparentes de borracha na PPD, e optou-se por captar dados principalmente da cabeceira 15. Para tanto, definiu-se a seção 08 como ponto de partida do RPA. Em seguida, foram coletadas as coordenadas de 22 pontos (Figura 21) com uma estação total, sendo o centro de 12 tampas de poços de visita nas laterais da PPD e 10 pontos onde visualmente havia detritos de borracha na PPD, os 12 primeiros pontos serão usados como ponto de apoio para o processamento fotogramétrico e os 10 pontos de borracha serão usados para classificação dos elementos encontrados na PPD, nas próximas etapas.

Figura 21 - Pontos de apoio (preto) e pontos de borracha (vermelho).



Fonte: O autor (2024).

Optou-se pela utilização dos sensores RGB, termal e infravermelho com a expectativa de atender ao objetivo da redução de custos, pois a maioria dos RPAS disponíveis no mercado possuem estes sensores embarcados. Além da tendência de diferença nas temperaturas entre as classes borracha e concreto para o sensor termal.

O primeiro voo foi realizado com o RPA Matrice 200 do fabricante DJI com uma câmera termal do modelo XT2 acoplada. Este voo teve início às 11h02 e término às 11h36, sobrevoou a uma altura de 45 m, percorreu 971 m lineares em faixas longitudinais em relação à PPD e captou 1.500 imagens. Seu percurso foi planejado pelo software DJI Pilot, que levou em consideração a captação de dados da seção 08 à seção 01 (Figura 17).

O segundo voo foi realizado com o RPA Phantom 4 Pro, agora com uma câmera RGB FC6310 acoplada. Este voo teve início às 14h50min e término às 14h59min, sobrevoou a uma altura de 60 m, percorreu 971 m lineares em faixas longitudinais em relação à PPD e captou 226 imagens. Seu percurso foi planejado pelo software Drone Deploy, que levou em consideração os mesmos parâmetros para captação de dados do voo anterior.

O terceiro voo foi realizado com o RPA Matrice 200 do fabricante DJI tendo uma câmera multiespectral Sequoia acoplada. Este voo teve início às 16h56min e término às 17h12min, sobrevoou a uma altura de 65 m, percorreu 971 m lineares em faixas longitudinais em relação à PPD e captou 3.900 imagens. Seu percurso também foi planejado pelo software Drone Deploy, que levou em consideração os mesmos parâmetros para captação de dados dos voos anteriores.

À mesma época em que as imagens foram coletadas, também foi realizada uma medição de atrito no método tradicional com o equipamento *Mu-Meter* modelo MK 06, e seu resultado está representado na Tabela 12.

3.6 GERAÇÃO DE PRODUTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

De posse das imagens coletadas, foi realizado o processamento fotogramétrico por meio do *software* Agisoft Metashape, gerando, assim, 03 ortomosaicos, sendo 01 com imagens RGB (faixa do visível), 01 com imagens termal e 01 com imagens infravermelho, conforme demonstrado nas Figuras 22 a 24.

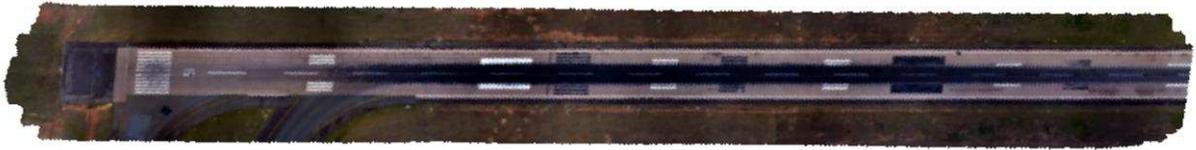
Cada ortoimagem foi classificada com os classificadores *Maximun Likelihood*, *Random Trees* e *Support Vector Machine*, conforme demonstrado nas Figuras 25 a 33.

As ortoimagens classificadas foram analisadas de duas maneiras: comparação dos 10 pontos de borracha coletados com a estação total em relação à classificação de seus respectivos pontos, intentando identificar qual classificador apresentaria o maior número de acertos, e; comparação qualitativa dos dados do mu-meter em relação às classificações, intentando identificar quais seções apresentaram maior semelhança nos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

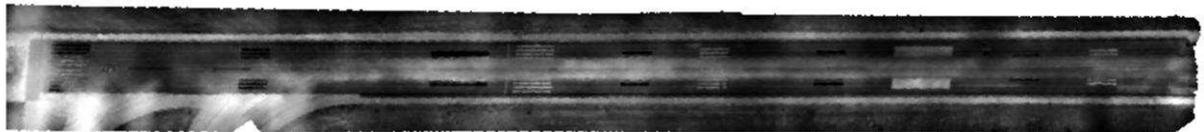
As figuras 22 a 24 representam os ortomosaicos resultantes do processamento fotogramétrico, RGB, termal e infravermelho próximo, respectivamente.

Figura 22 - Ortomosaico representado pela faixa do visível.



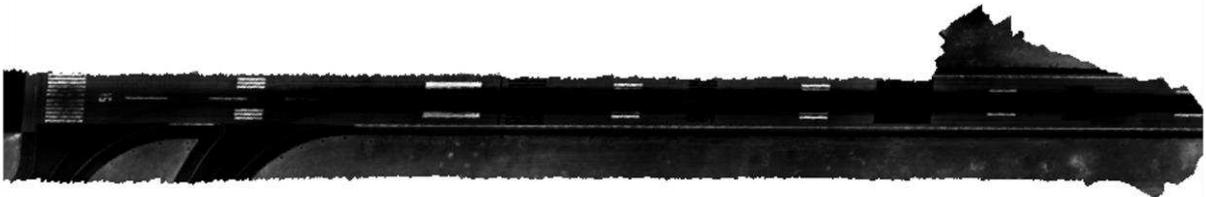
Fonte: O autor (2024).

Figura 23 - Ortomosaico representado pela faixa do termal.



Fonte: O autor (2024).

Figura 24 - Ortomosaico representado pela faixa do infravermelho próximo.



Fonte: O autor (2024).

Após o processamento das imagens e a geração dos ortomosaicos, utilizou-se o *software* ArcGIS Pro para seu referenciamento (utilizando os pontos de apoio em sistema local).

Em seguida, definiu-se as classes de interesse de acordo com os principais elementos encontrados na PPD: borracha (alta presença), borracha (baixa e média presença), concreto, faixas de sinalização e grama, e deu-se início ao processo de treinamento do *software* (ArcGIS Pro) para posterior classificação supervisionada das imagens. A tabela 9 demonstra a quantidade de amostras da área de treinamento.

Tabela 9 – Quantidade de amostras da área de treinamento no software.

Ortomosaico	Classe	Qtde
RGB	Concreto	50

RGB	Gramma	50
RGB	Sinalização	50
RGB	Borracha Baixa e Média	50
RGB	Borracha Alta	59
Termal	Concreto	17
Termal	Gramma	8
Termal	Sinalização	20
Termal	Borracha Baixa e Média	27
Termal	Borracha Alta	11
Infravermelho	Concreto	71
Infravermelho	Gramma	33
Infravermelho	Sinalização	21
Infravermelho	Borracha Baixa e Média	23
Infravermelho	Borracha Alta	10

Fonte: O autor (2024).

Finalizado o treinamento do software, iniciou-se a classificação supervisionada das imagens também no software ArcGIS Pro. Na presente pesquisa serão utilizados três tipos de classificadores diferentes: *Maximum Likelihood*, que se utiliza da base de treinamento para comparar a probabilidade de todos os pixels, individualmente, entre si, este cruzamento de dados gera ao final do processamento uma otimização do resultado; o *Random Trees*, devido a sua velocidade de processamento de dados, o que dispensa a utilização de processadores mais robustos, e *Support Vector Machine*, que possui basicamente o mesmo princípio de funcionamento do *Maximum Likelihood*, mas com a capacidade de minimizar a expectativa de erro por meio de uma formulação matemática.

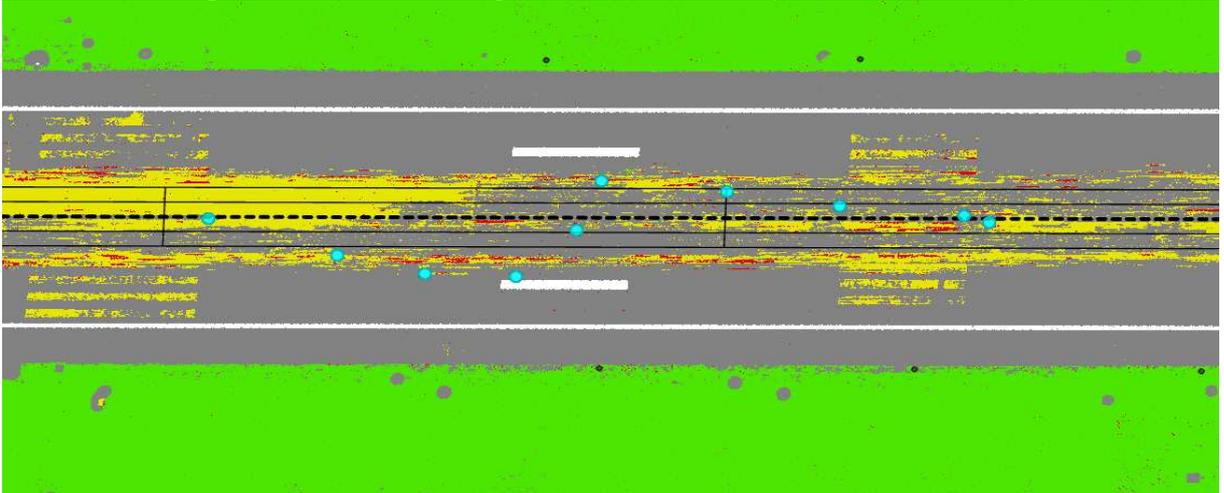
Os ortomosaicos com suas respectivas classificações podem ser visualizados nas Figuras 25 a 33, sendo os elementos determinados por cores conforme discriminado abaixo:

- Concreto (cor cinza);
- Faixas de sinalização (cor branca);
- Gramma (cor verde),
- Borracha de baixa-média presença (cor amarela), e;
- Borracha de alta presença (cor vermelha).

Cabe ressaltar que os pontos de borracha levantados em campo foram adicionados como *layer* sobre os ortomosaicos e estão representados nas figuras classificadas por pontos azuis-claros. Também como *layer*, foram inseridas linhas sobre os ortomosaicos, simulando as faixas de inspeção do método tradicional. O trecho da PPD, representado nas Figuras 25 a 33, se refere às faixas 400, 500 e 600 m (da esquerda para a direita) na Tabela 10, ou às

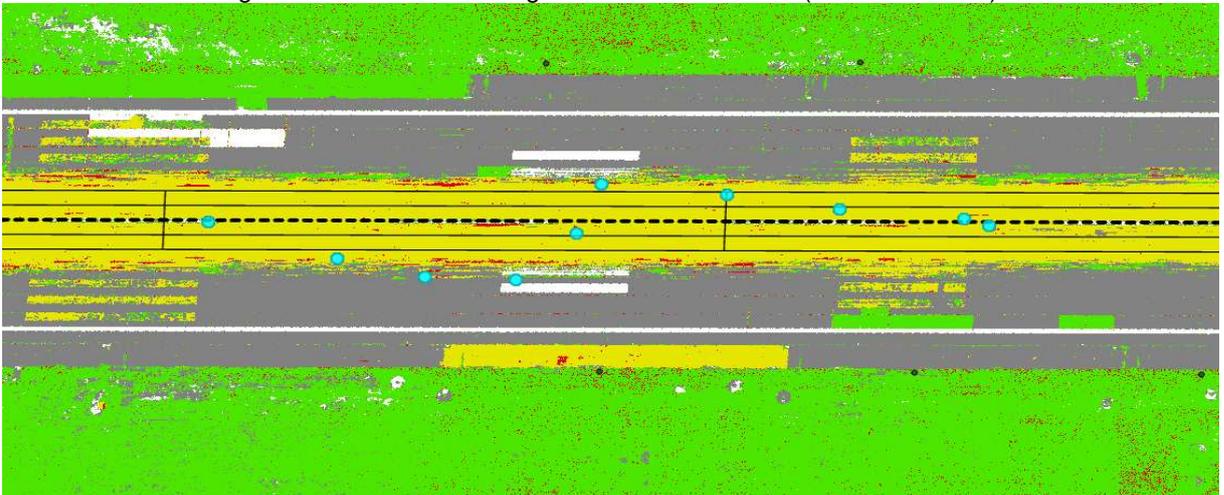
seções 4, 5 e 6 representadas na Figura 20. A Figura 34 apresenta os valores da Tabela 10 no mesmo formato das imagens classificadas, facilitando, assim, a comparação do resultado entre os dois métodos.

Figura 25 - Trecho da Imagem RGB Classificada (*Maximum Likelihood*).



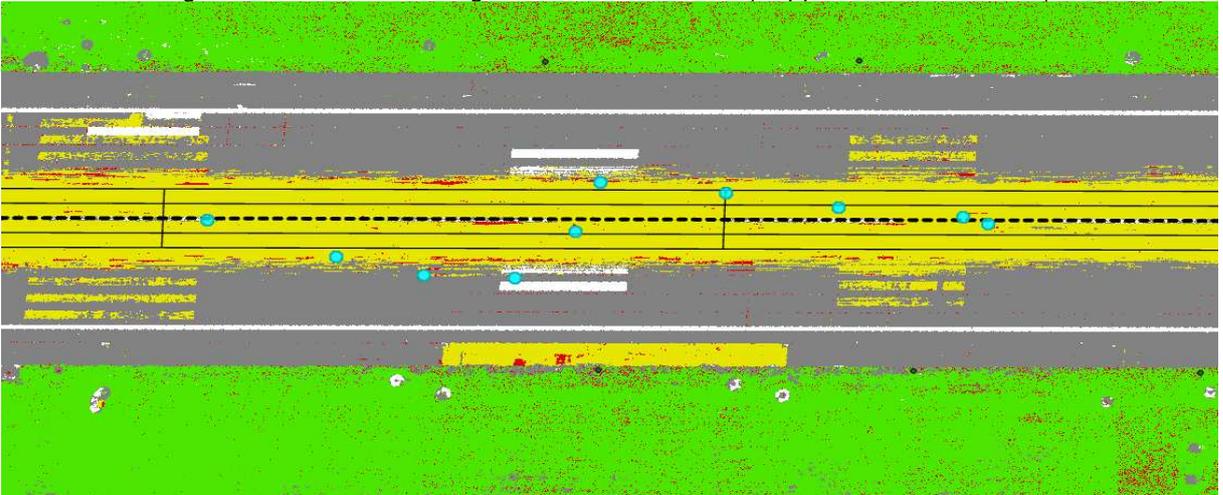
Fonte: O autor (2024).

Figura 26 - Trecho da Imagem RGB Classificada (*Random Trees*).



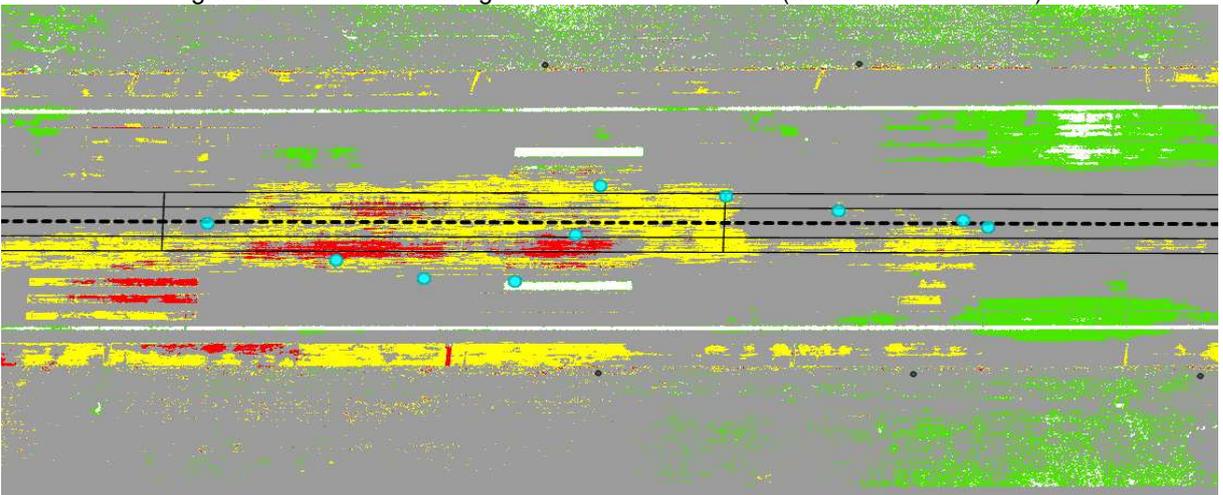
Fonte: O autor (2024).

Figura 27 - Trecho da Imagem RGB Classificada (*Support Vector Machine*).



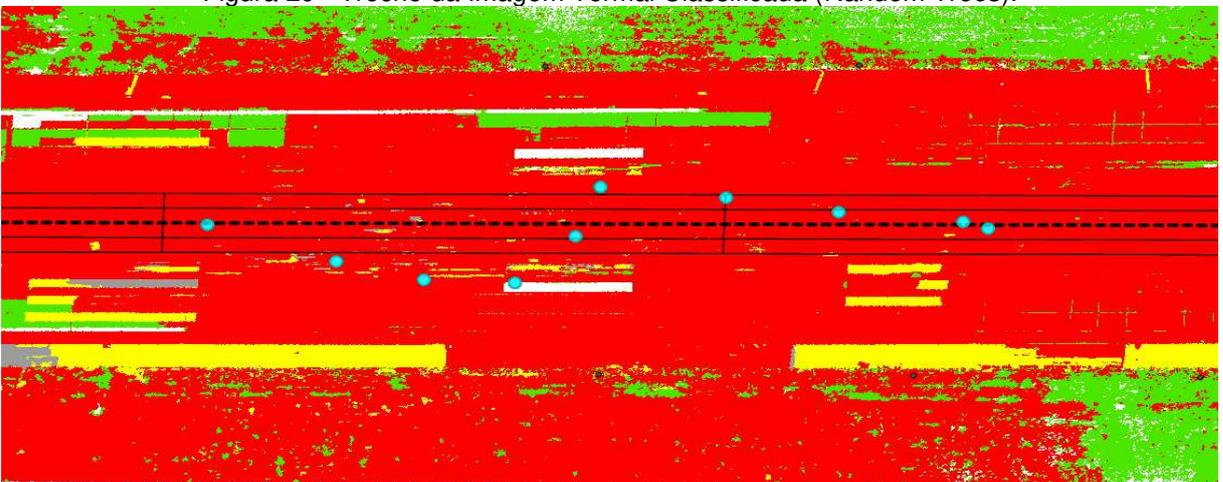
Fonte: O autor (2024).

Figura 28 - Trecho da Imagem Termal Classificada (*Maximum Likelihood*).



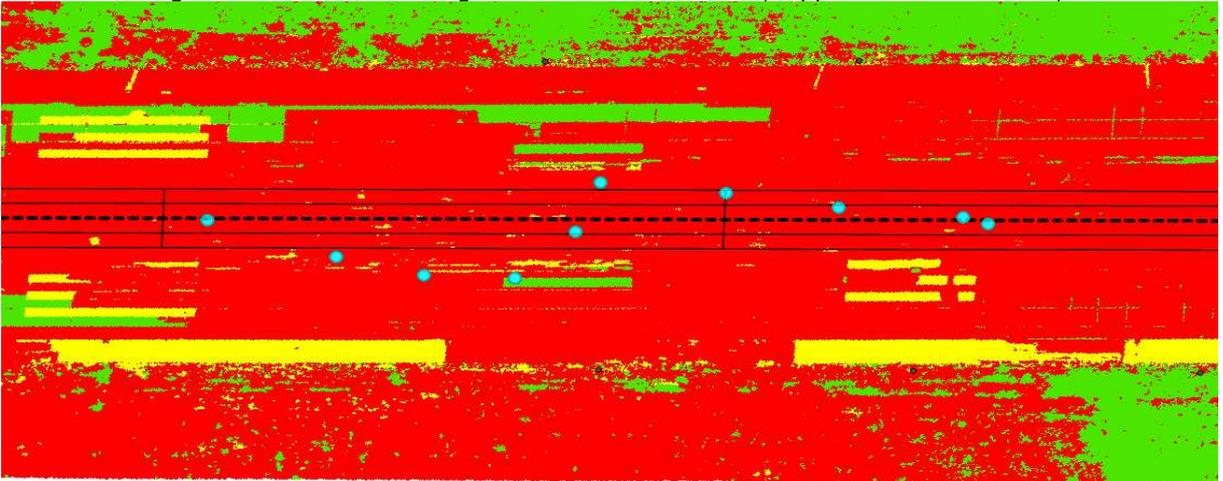
Fonte: O autor (2024).

Figura 29 - Trecho da Imagem Termal Classificada (*Random Trees*).



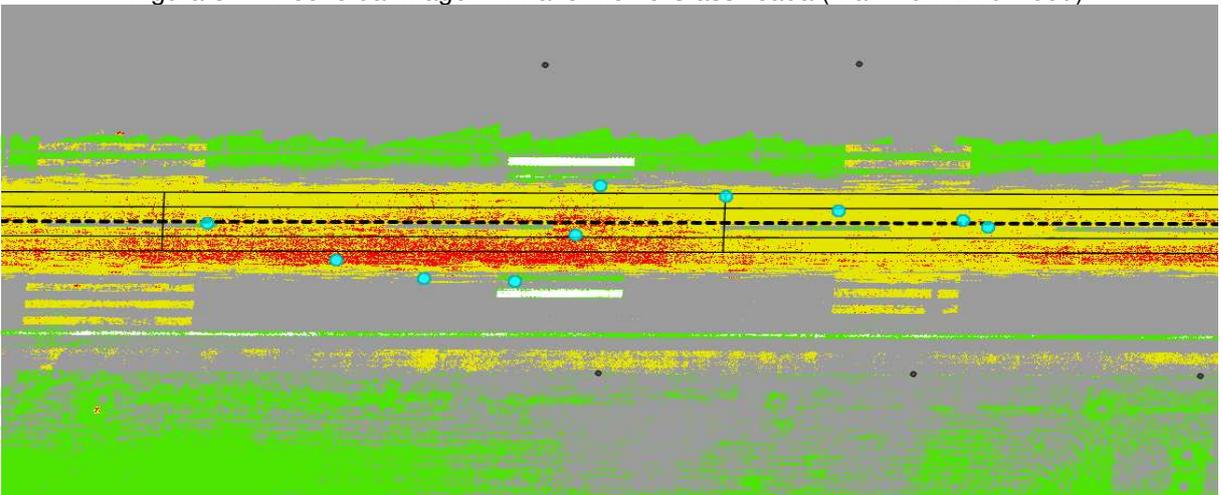
Fonte: O autor (2024).

Figura 30 - Trecho da Imagem Termal Classificada (*Support Vector Machine*).



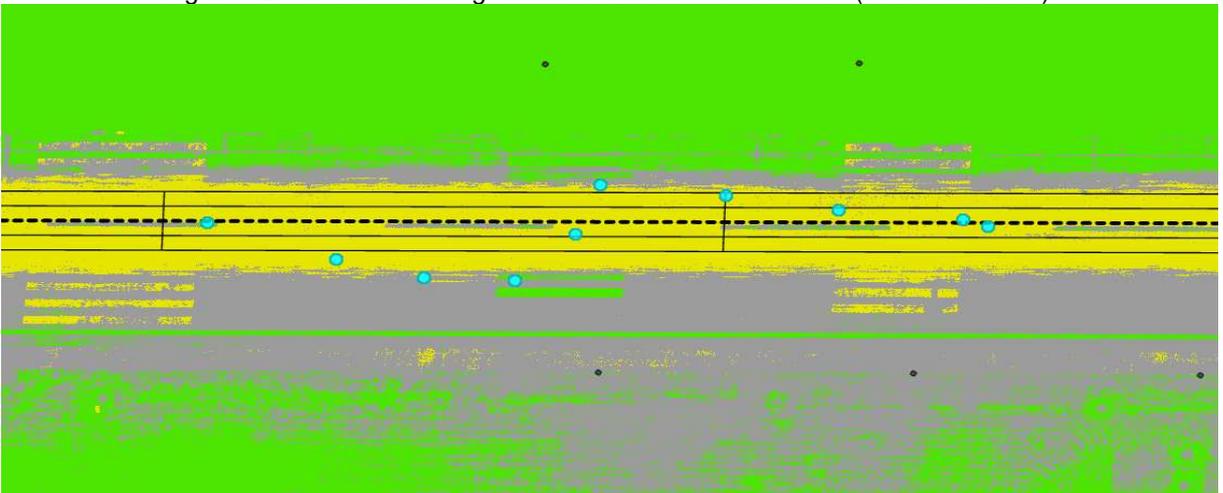
Fonte: O autor (2024).

Figura 31 - Trecho da Imagem Infravermelho Classificada (*Maximum Likelihood*).



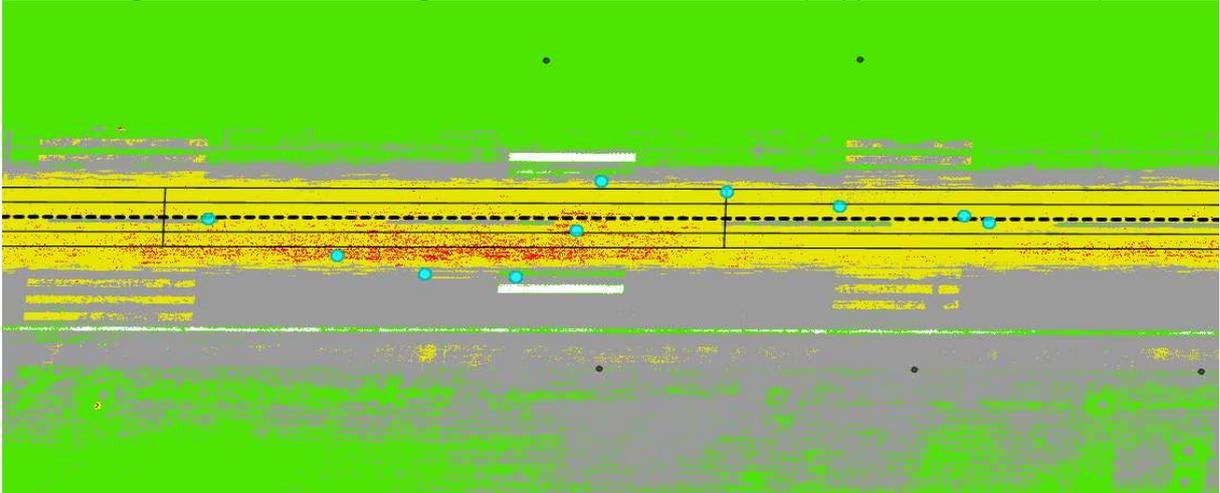
Fonte: O autor (2024).

Figura 32 - Trecho da Imagem Infravermelho Classificada (*Random Trees*).



Fonte: O autor (2024).

Figura 33 - Trecho da Imagem Infravermelho Classificada (Support Vector Machine).



Fonte: O autor (2024).

A Tabela 10 representa os resultados obtidos na medição de atrito realizada no método tradicional com o *Mu-Meter*, e que segue o modelo exigido pela ANAC, em faixas a 03 e a 06 metros à esquerda e à direita do eixo principal, e a cada 100 m ao longo da PPD. Estes dados servirão de base comparativa entre os resultados do *Mu-Meter* os da metodologia proposta.

Tabela 10 - Resultado da medição de atrito realizada com o equipamento *Mu-Meter*.

		33								
		Esquerda do Eixo da Pista				Direita do Eixo da Pista				
		6m		3m		3m		6m		
		μ	V (Km/h)	μ	V (Km/h)	μ	V (Km/h)	μ	V (Km/h)	
Distância de Medição (m)	300	Início de desaceleração				Início de desaceleração				3000
	290			0,6						Distância de Medição (m)
	0	0,64	66	3	66	0,63	67	0,60	65	
	280			0,6						
	0	0,63	66	2	65	0,65	67	0,57	65	
	270			0,6						
	0	0,63	66	3	65	0,62	66	0,54	65	
	260			0,6						
	0	0,62	65	3	65	0,66	66	0,65	65	
	250			0,6						
0	0,63	65	3	65	0,68	65	0,66	65		
240			0,6							
0	0,64	64	5	65	0,63	65	0,60	65		
230			0,6							
0	0,64	65	5	67	0,63	66	0,61	67		
220			0,6							
0	0,64	65	5	66	0,62	66	0,61	66		

Tabela 11 - Estatísticas por zona.

Classificação	Concreto	Grama	Sinalização Horizontal	Borracha Baixa e Média Presença	Borracha Alta Presença
RGB Maximun Likelihood	7	0	0	2	1
RGB Randon Trees	1	0	1	7	1
RGB Support Vector Machine	1	0	1	7	1
Termal Maximun Likelihood	7	1	0	2	0
Termal Randon Trees	0	0	1	0	9
Termal Support Vector Machine	0	1	0	0	9
Infra Maximun Likelihood	3	0	0	6	1
Infra Randon Trees	4	0	0	6	0
Infra Support Vector Machine	4	0	0	6	0

Fonte: O autor (2024).

Ao analisar os dados da Tabela 10 e das imagens, fica evidente que as classificações na faixa do Termal apresentaram resultados muito distantes dos apresentados pelo *Mu-Meter*. A classificação *Randon Trees* (Figura 29) e *Termal Support Vector Machine* (Figura 30) demonstraram um grande desvio, apontando alta presença de borracha em quase a totalidade dos pontos levantados e da PPD, sendo desconsideradas para o propósito desta pesquisa. Já a classificação *Termal Maximun Likelihood* (Figura 28) não identificou nenhum ponto com alta presença de borracha, contrariando as expectativas e demonstrando-se ineficiente.

A classificação RGB *Maximun Likelihood* (Figura 25) identificou apenas 01 ponto com alta presença de borracha e 02 pontos com baixa-média, ou seja, apresentou alta taxa de falha, identificando 07 pontos como concreto. Já as classificações RGB *Randon Trees* (Figura 26) e RGB *Support Vector Machine* (Figura 27) apresentaram resultados muito próximos aos do levantamento em campo, com apenas 02 pontos incorretos em cada classificação, sendo 01 no concreto e 01 na sinalização horizontal.

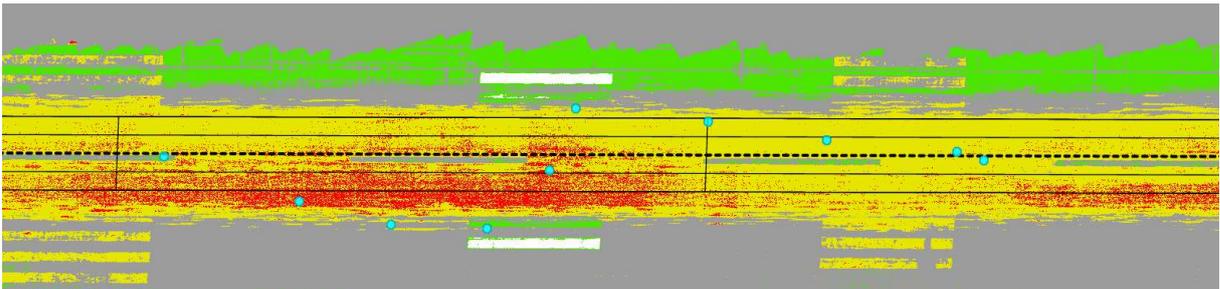
As classificações Infravermelho *Maximun Likelihood* (Figura 31), Infravermelho *Randon Trees* (Figura 32) e Infravermelho *Support Vector Machine* (Figura 33) apresentaram boa identificação dos pontos com baixa-média presença de borracha, contudo as três apresentando de 03 a 04 pontos como concreto em vez de alta presença de borracha.

Ao observar a imagem da classificação Infravermelho *Maximun Likelihood*, é possível identificar um nível mais elevado de detalhamento dos pontos com alta presença de borracha, quando comparado às demais classificações.

O segundo passo para esta etapa é analisar os dados da Tabela 10, onde estão representados os resultados obtidos pelo *Mu-Meter* e não foram identificados pontos com índice de atrito em nível de manutenção (inferior a $0,52 \mu$, e compatível com a baixa-média presença de borracha), nem pontos com índice de atrito a nível mínimo (inferior a $0,42 \mu$, e compatível com a alta presença de borracha).

Com o propósito de comparar visualmente os resultados obtidos entre o método proposto e o método tradicional, foi gerada a Figura 34, unindo ambos os resultados. Desta forma, é possível visualizar a classificação Infravermelho *Maximum Likelihood* (método proposto), com as faixas de inspeção a 03 e a 06 m à esquerda e à direita do eixo principal da PPD (método tradicional).

Figura 34 - Classificação Infravermelho *Maximum Likelihood* com as faixas e seções do método tradicional.



Fonte: O autor. (2024).

Com o intuito de representar numericamente os resultados obtidos pelo método proposto (até aqui representados apenas visualmente), foi criado um *layer* com a representação de 02 polígonos à direita e à esquerda do eixo central da PPD com dimensões de $100 \times 4,5$ m (abrangendo as faixas de inspeção a cada 100 m como no método tradicional). No total foram gerados 36 polígonos, 04 a cada 100 m. Desta forma, os polígonos representarão a área de inspeção do *Mu-Meter* e suas adjacências (área não inspecionada pelo *Mu-Meter*, porém com possibilidade de contato físico dos pneus da aeronave), conforme demonstrado na Figura 35.

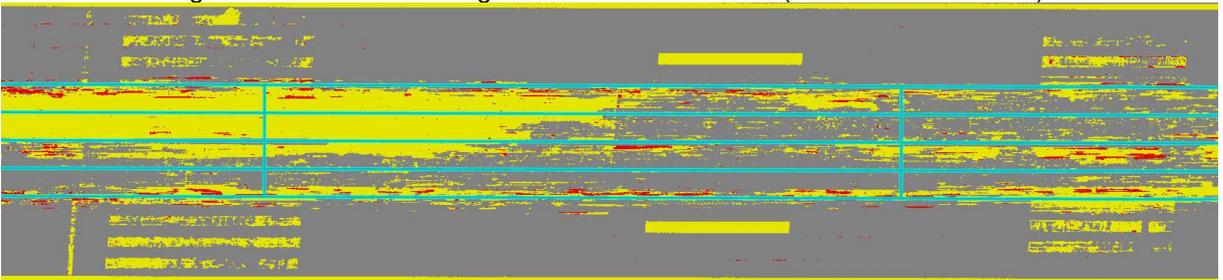
Figura 35 –Polígonos em azul representando a área das faixas de inspeção do mu-meter e suas adjacências. Em amarelo a representação apenas das faixas de inspeção do *Mu-Meter*.



Fonte: O autor. (2024).

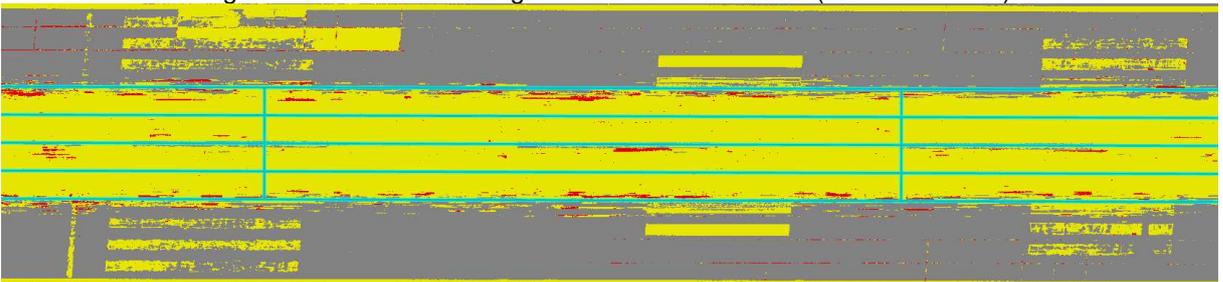
Em seguida, foi realizada uma nova classificação das imagens, considerando apenas os elementos Concreto (cor cinza), Borracha de baixa-média presença (cor amarela) e Borracha de alta presença (cor vermelha), conforme demonstrado nas Figuras 36 a 44,

Figura 36 - Trecho da Imagem RGB Reclassificada (*Maximum Likelihood*).



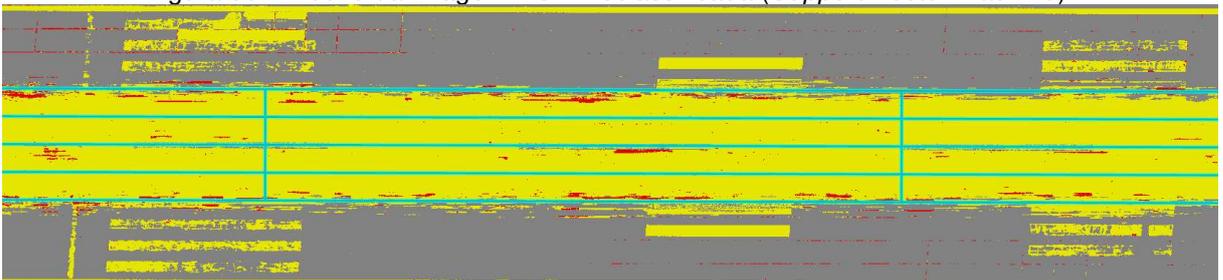
Fonte: O autor (2024).

Figura 37 - Trecho da Imagem RGB Reclassificada (*Random Trees*).



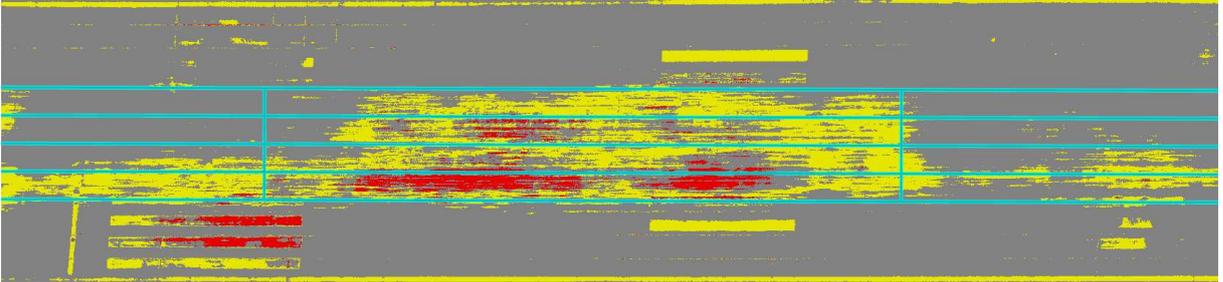
Fonte: O autor (2024).

Figura 38 - Trecho da Imagem RGB Reclassificada (*Support Vector Machine*).



Fonte: O autor (2024).

Figura 39 - Trecho da Imagem Termal Reclassificada (*Maximum Likelihood*).



Fonte: O autor (2024).

Figura 40 - Trecho da Imagem Termal Reclassificada (*Random Trees*).



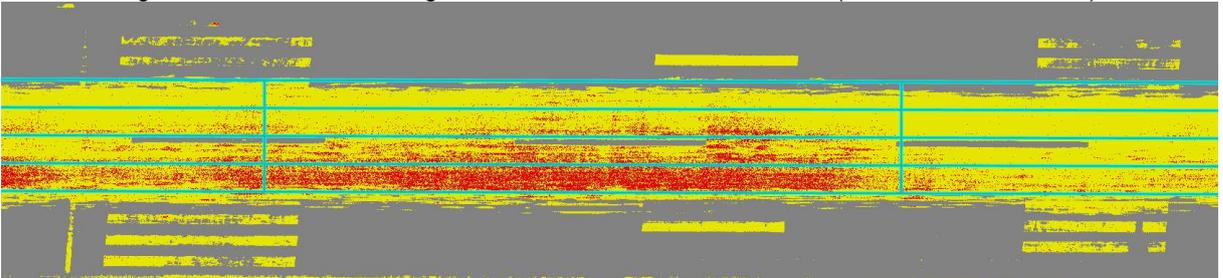
Fonte: O autor (2024).

Figura 41 - Trecho da Imagem Termal Reclassificada (*Support Vector Machine*).

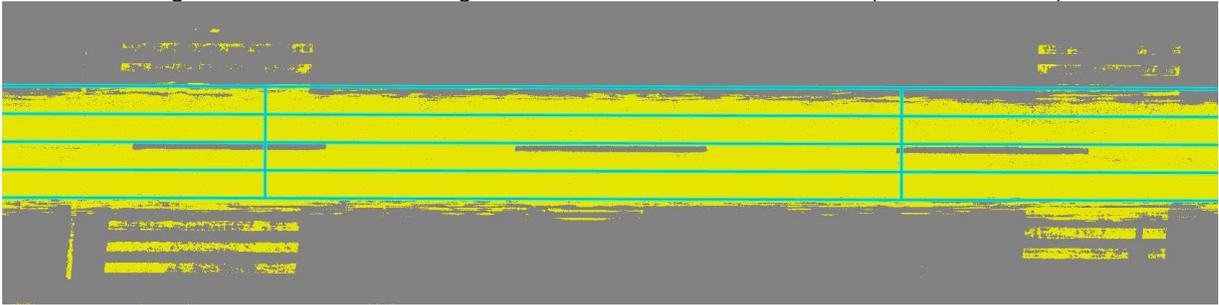


Fonte: O autor (2024).

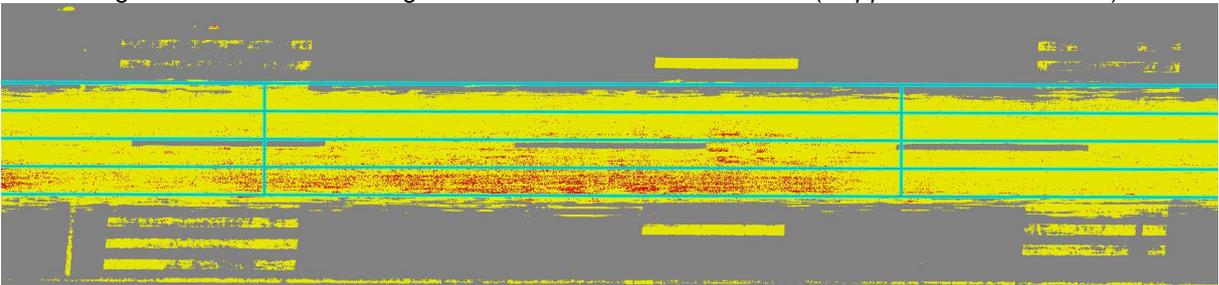
Figura 42 - Trecho da Imagem Infravermelho Reclassificada (*Maximum Likelihood*).



Fonte: O autor (2024).

Figura 43 - Trecho da Imagem Infravermelho Reclassificada (*Random Trees*).

Fonte: O autor (2024).

Figura 44 - Trecho da Imagem Infravermelho Reclassificada (*Support Vector Machine*).

Fonte: O autor (2024).

Em seguida, foi utilizada a ferramenta *Zonal Statistics as Table* no software ArcGIS Pro para extrair o percentual de cada elemento classificado por polígono. Esta tabela possuía um total de 324 linhas e, por esse motivo, será apresentada de forma resumida na Tabela 12. A partir destes dados foi definida uma classificação por cores (para simplificar a identificação) do range do coeficiente de atrito (*mu-meter*), sendo de 0,56 a 0,61 vermelho, de 0,61 a 0,67 amarelo e de 0,67 a 0,71 verde. Já as colunas que representam o percentual de classe por classificador estão representadas pelas cores verde para predominância de concreto, amarelo para predominância com borracha de baixa / média presença e vermelho para predominância de borracha de alta presença

Tabela 12 – Principais estatísticas por zona conforme reclassificação.

Origem	MU- Meter	% Concreto	% Borracha Baixa / Média	Borracha Alta
RGB ML	0,70	86,2415	13,2377	0,5208
RGB ML	0,70	70,3790	27,5840	2,0370
RGB ML	0,69	75,9848	23,8716	0,1436
RGB ML	0,69	70,5766	27,8334	1,5900
RGB ML	0,72	55,7131	40,9278	3,3591
RGB ML	0,68	82,7224	16,0245	1,2531
RGB ML	0,71	74,8850	24,9672	0,1478

RGB ML	0,72	85,8357	14,0655	0,0988
RGB RT	0,70	39,2793	60,4639	0,2568
RGB RT	0,70	6,8892	92,0867	1,0241
RGB RT	0,69	39,7579	60,2081	0,0340
RGB RT	0,69	2,8471	95,9274	1,2255
RGB RT	0,72	5,1263	93,8778	0,9959
RGB RT	0,68	2,6302	97,0940	0,2758
RGB RT	0,71	13,0053	86,9143	0,0804
RGB RT	0,72	12,0235	87,8983	0,0782
RGB SVM	0,70	37,1239	62,6118	0,2643
RGB SVM	0,70	5,3390	93,6395	1,0215
RGB SVM	0,69	36,4691	63,4912	0,0397
RGB SVM	0,69	2,5208	96,2637	1,2155
RGB SVM	0,72	4,1441	94,8632	0,9927
RGB SVM	0,68	2,4996	97,2248	0,2756
RGB SVM	0,71	7,5564	92,3474	0,0962
RGB SVM	0,72	9,4271	90,4761	0,0968
Termal ML	0,70	97,4379	2,5131	0,0490
Termal ML	0,70	96,5725	3,4275	0,0000
Termal ML	0,69	86,4176	13,3969	0,1855
Termal ML	0,69	47,0740	46,2950	6,6310
Termal ML	0,72	84,2153	15,7847	0,0000
Termal ML	0,68	98,4280	1,5720	0,0000
Termal ML	0,71	99,6209	0,3791	0,0000
Termal ML	0,72	99,7422	0,2382	0,0196
Termal RT	0,70	0,5733	3,3708	96,0559
Termal RT	0,70	100,0000	0,0000	0,0000
Termal RT	0,69	2,2886	18,3510	79,3604
Termal RT	0,69	0,4663	0,9003	98,6334
Termal RT	0,72	0,0000	0,2914	99,7086
Termal RT	0,68	0,1537	0,0728	99,7735
Termal RT	0,71	0,0484	0,0000	99,9516
Termal RT	0,72	0,0000	0,2813	99,7187
Termal SVM	0,70	0,3542	10,1417	89,5041
Termal SVM	0,70	100,0000	0,0000	0,0000
Termal SVM	0,69	8,6401	12,2457	79,1142
Termal SVM	0,69	0,0000	0,9300	99,0700
Termal SVM	0,72	0,0000	0,3292	99,6708
Termal SVM	0,68	0,1536	0,1436	99,7028
Termal SVM	0,71	0,0484	0,0000	99,9516
Termal SVM	0,72	0,0000	0,1989	99,8011

Infra ML	0,70	36,9941	61,3877	1,6182
Infra ML	0,70	16,4070	81,4978	2,0952
Infra ML	0,69	16,3865	83,5811	0,0324
Infra ML	0,69	8,1616	66,3531	25,4853
Infra ML	0,72	13,1628	83,3357	3,5015
Infra ML	0,68	0,0786	95,9845	3,9369
Infra ML	0,71	27,2101	72,3089	0,4810
Infra ML	0,72	41,3102	57,5962	1,0936
Infra RT	0,70	53,9575	46,0425	0,0000
Infra RT	0,70	28,8968	71,1032	0,0000
Infra RT	0,69	36,0681	63,9319	0,0000
Infra RT	0,69	8,6404	91,3596	0,0000
Infra RT	0,72	14,8390	85,1610	0,0000
Infra RT	0,68	0,6316	99,3684	0,0000
Infra RT	0,71	49,6562	50,3438	0,0000
Infra RT	0,72	58,1460	41,8540	0,0000
Infra SVM	0,70	51,2421	47,9391	0,8188
Infra SVM	0,70	26,4298	73,2031	0,3671
Infra SVM	0,69	32,3649	67,6311	0,0040
Infra SVM	0,69	8,5509	84,1461	7,3030
Infra SVM	0,72	14,4519	85,0271	0,5210
Infra SVM	0,68	0,4548	99,1214	0,4238
Infra SVM	0,71	45,8776	53,7982	0,3242
Infra SVM	0,72	55,7065	43,8063	0,4872

Fonte: O autor (2024).

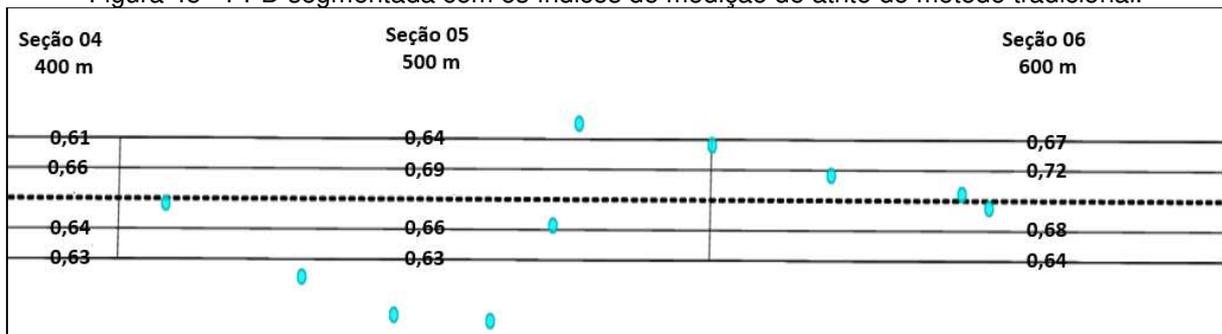
Cabe aqui ressaltar que os resultados apresentados pelo *Mu-Meter* representam uma média aritmética do atrito pneu-pavimento a cada 100m da extensão da PPD nas faixas a 03 e a 06 metros do eixo central da pista, e que a largura da banda de rodagem do pneu não supera 250 mm. A área total examinada no método tradicional na PPD pode ser calculada aplicando a Eq.20, em que A_e representa a área examinada (m²), E_t a extensão total da PPD (m), Q_f a quantidade de faixas (un) e L_p a largura do pneu (m).

$$A_e = E_t \times Q_f \times L_p \quad \text{Eq. 20}$$

Desta forma, o método tradicional abrange 3.150m² dos 141.750m² da área total da PPD de Viracopos, ou seja, sua amostra representa apenas 2,22% da PPD. Outro ponto a ser observado é que, devido o cálculo da medição de atrito ser realizado a partir da média aritmética dos resultados obtidos num trecho de 100m, alguns pontos com excesso de borracha podem passar despercebidos pela diluição causada pelo cálculo o que, apesar de a teoria apresentar um coeficiente de atrito aceitável, na prática pode haver pontos em que a

aderência pneu-pavimento não seja satisfatória. A Figura 45 elucida esta afirmação ao apresentar a segmentação da PPD a cada 100m, conforme as seções definidas na Fig. 20 e compatíveis com a Tabela 10. Da esquerda para a direita estão representadas parte da seção 04, seção 05 completa e parte da seção 06, e em nenhuma seção o coeficiente de atrito é inferior ao nível de manutenção (0,52 μ m) nem ao nível mínimo (0,42 μ m) estipulados pela ANAC.

Figura 45 - PPD segmentada com os índices de medição de atrito do método tradicional.



Fonte: O autor (2024).

Nota-se, ainda, que durante o pouso os pneus das aeronaves nem sempre tocam exatamente as faixas em que as medições foram realizadas (250mm a 03 e 06 metros do eixo principal), desta forma, pode-se dizer que a metodologia tradicional só é eficaz para os pousos em que os pneus tocam exatamente a área que passou pela medição.

Em contrapartida, a metodologia com sensoriamento remoto da PPD é capaz de identificar borracha em toda sua extensão, o que eleva o nível de confiabilidade, indicando exatamente os pontos que possuem excesso de borracha, desta forma, mesmo que os pneus da aeronave não toquem nas faixas a 03 ou 06 metros do eixo principal da PPD, haverá plena segurança, pois toda a área foi inspecionada.

Além dos ganhos quantitativos e qualitativos já demonstrados acima, outros pontos a serem considerados são o burocrático e o financeiro, pois apesar de um RPA e um sensor possuírem um custo relativamente alto para aquisição, seu *pay-back* pode ser estimado em aproximadamente 30 meses devido o custo para contratação da medição de atrito trimestral representar 10% do total dos equipamentos. E a desburocratização para a coleta de dados é dada pela permanência do RPA nas áreas de segurança e áreas restritas de segurança do aeródromo, descartando todo o processo de liberação de acesso pela Polícia e Receita Federal; operação realizada por colaborador orgânico, descartando todo processo de credenciamento de terceiros; fechamento do espaço aéreo e emissão de NOTAM por ações

coordenadas com o controlador de tráfego aéreo local (abaixo de 30m de altura) durante as janelas de voos.

É notório que os melhores resultados foram obtidos a partir da coleta e processamento das imagens na faixa visível do espectro eletromagnético (RGB), contudo para a aplicação desta técnica o voo deve ser durante o período diurno, o que pode ser, de certa forma, uma desvantagem em comparação com as demais imagens (termal e infravermelho próximo).

5. CONCLUSÕES

O processo de credenciamento e acesso de pessoas e equipamentos à área restrita do aeródromo exigiu grandes esforços do requerente devido às burocracias impostas pela Polícia Federal, Receita Federal, Controlador de Tráfego Aéreo, DECEA e Administrador Aeroportuário. E, apesar de compreensível devido à sensibilidade do local, neste quesito, a aquisição dos equipamentos e o uso de mão de obra própria pelo operador do aeródromo pouparia tempo e energia da equipe executora, pois tanto pessoas como equipamentos possuirão acesso integral à área restrita.

A obtenção dos dados em campo no método tradicional é realizada pelo *mu-meter*, equipamento específico para a atividade de identificação do nível de borracha no pavimento, não se adequando a nenhuma outra. Seu elevado custo inviabiliza a aquisição para uso em um único aeródromo, o que leva os administradores de aeródromos à locação apenas nos períodos em que será utilizado, o que remete novamente às burocracias de credenciamento e acesso à área restrita.

Enquanto a aquisição do *mu-meter* é inviável financeiramente, a aquisição de um RPA se justifica pelas suas inúmeras finalidades, como inspeção de obras, inspeção de coberturas, inspeção de cercas operacionais e patrimoniais, avanço de invasões e identificação dos níveis de borracha na PPD. Desta forma, entende-se que o investimento para aquisição do RPA possui um retorno financeiro muito rápido por eliminar a locação do “*mu-meter*”, além de suas demais atribuições.

Com relação aos resultados obtidos, existem duas vertentes a serem consideradas: sensores e classificadores.

Sensores:

O ortomosaico gerado na região do visível do espectro eletromagnético se mostrou extremamente útil, pois por ele foi possível uma melhor percepção dos elementos na etapa de treinamento do software, sem o qual esta pesquisa se tornaria inviável. Porém, possui a desvantagem por ser um sensor passivo, ou seja, dependente da luz solar para captação das imagens, o que pesa negativamente para esta pesquisa, pois não pode ser utilizado no período noturno, em que normalmente ocorre o NOTAM. Apesar de não ser o ideal, é possível coordenar o levantamento de campo com este sensor durante as janelas de voos, coordenando a atividade com o controlador de tráfego aéreo local.

O ortomosaico, gerado na região termal do espectro eletromagnético, demonstrou que existem diversas variáveis que devem ser levadas em consideração, como, por exemplo, a temperatura imediata, a umidade relativa do ar e os pontos de sombra. A complexidade de controle destes fatores é um ponto muito negativo para o uso deste sensor, sendo necessário considerar que também só pode ser utilizado durante o dia, pois semelhantemente ao sensor RGB, é passivo. Esse ortomosaico não apresentou os resultados esperados durante a técnica de classificação, distorcendo quase que a totalidade das classes com os três classificadores utilizados.

O ortomosaico, gerado na região do infravermelho próximo, demonstra grande potencial para a proposta da presente pesquisa, sendo possível utilizá-lo a qualquer tempo por ser ativo e devido o nível de detalhamento obtido por suas imagens. Uma desvantagem é que as imagens são monocromáticas, o que certamente dificulta a etapa de treinamento do software. Vale salientar que a falta de calibração deste sensor, antes do início da captação das imagens, certamente prejudicou sua qualidade.

Classificadores:

O classificador *Maximum Likelihood* apresentou maior fidelidade visual dentre os demais classificadores pesquisados, inclusive trazendo um nível de detalhamento muito elevado, entretanto, ainda assim, houve determinados pontos em que o classificador confundiu a classe grama com a classe concreto e presença de borracha baixa-média com faixas de sinalização. No entanto, ao comparar as classes com os pontos de borracha coletados no levantamento de campo, apresentou bom resultado apenas quando aplicado ao ortomosaico infravermelho. Na aplicação da técnica de comparação numérica, foi o classificador que apresentou melhor resultado para os sensores RGB e Infravermelho. Sua metodologia de comparação da probabilidade entre os pixels se mostrou bastante eficiente.

O classificador *Random Trees* apresentou resultado razoável apenas quando aplicado ao ortomosaico RGB, confundindo a classe grama com faixas de sinalização. Para os demais ortomosaicos apresentou muitos ruídos e seu desempenho certamente foi prejudicado pelos atributos redundantes. Para a comparação dos pontos de borracha foi o que obteve maior número de acertos para os ortomosaicos RGB e Infravermelho. Na comparação numérica, foi o que menos apresentou semelhanças ao método tradicional.

O classificador *Support Vector Machine* visualmente apresentou distorções de grandes proporções nos ortomosaicos Termal e Infravermelho, podendo estes dois serem descartados da análise proposta. No ortomosaico RGB apresentou bom resultado, inclusive com um número elevado de acertos na comparação com os pontos de borracha, porém a equação matemática para minimização de erro e determinação de limites de decisão não superou os resultados do classificador *Maximun Likelihood*.

O tempo de aquisição dos dados e a assertividade desta etapa são pontos muito positivos na metodologia proposta, pois, diferentemente do método tradicional, esta dispensa a emissão de NOTAM podendo ser executado de forma coordenada entre o Controlador de Tráfego Aéreo e o Operador do RPA. Já a assertividade ocorre porque o RPA realiza um percurso programado, o que, por sua vez, garante que toda a área estudada será coberta em um voo automatizado, isto é, sem a ação humana.

A abrangência dos resultados certamente é o grande diferencial entre a metodologia atual e proposta pois passará de apenas algumas faixas da PPD para sua totalidade, o que garante que as aeronaves estarão livres dos efeitos de aquaplanagem por excesso de borracha na PPD, independente do ponto de toque no pavimento.

Em contrapartida, existem pontos a serem considerados para as próximas pesquisas, como a elaboração do gráfico da curva espectral da borracha, que certamente apresentaria resultados mais fiéis, podendo, assim, testar também a técnica de classificação não supervisionada.

A calibração do sensor infravermelho também pode contribuir para a captação de imagens com qualidade superior às adquiridas. Esta mesma técnica pode ser replicada futuramente para as seguintes variações:

- Captação de imagens em outras faixas do espectro eletromagnético;
- Pesquisa de outras patologias, como a irregularidade longitudinal e macrotextura;
- Utilização de sistemas fixos para o mapeamento, e;
- Captação das imagens a partir de voos cruzados na PPD.

6. BIBLIOGRAFIA

ABBURU, S.; BABU GOLLA, S. Satellite image classification methods and techniques: a review. **International Journal of Computer Applications**, v. 119, n. 8, p. 20–25, 2015. Doi:10.5120/21088-3779.

AITKENHEAD, M. J. A co-evolving decision tree classification method. **Expert Systems with Applications**, v. 34, p. 18-25, 2008.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. **Anuário do Transporte Aéreo 2023**. Brasília: ANAC, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-do-transporte-aereo/panorama-do-mercado/anuario-transporte-aereo/anuario_2023_graficos_e_tabelas_2_a_6versofinal_VOLUME1.zip. Acesso em: 23 mai. 2024.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. **Instrução Suplementar Nº 153.205-001 Monitoramento da irregularidade longitudinal, atrito e macrotextura do pavimento da pista pouso e decolagem**. Brasília: ANAC, 2020. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-153-205-001>. Acesso em: 23 mai. 2024.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC Nº 107 Segurança da aviação Civil Contra Atos de Interferência Ilícita – Operador de Aeródromo**. Brasília: ANAC, 2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/2021/resolucao-no-644-05-11-2021>. Acesso em: 23 mai. 2024.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC Nº 153 Aeródromos Operação, Manutenção e Resposta à Emergência**. Brasília: ANAC, 2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/2021/resolucao-no-611-09-03-2021>. Acesso em: 23 mai. 2024.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBAC Nº 154 Aeródromos Operação, Manutenção e Resposta à Emergência**. Brasília: ANAC, 2021. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-154/@@display-file/arquivo_norma/RBAC154EMD06.pdf. Acesso em: 23 mai. 2024.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC-E Nº 94 Requisitos Gerais para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil**. Brasília: ANAC, 2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>. Acesso em: 23 mai. 2024.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **Standard Test Method for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu Meter**. West Conshohocken: ASTM, 2000.

BAPTISTA, G. M. M. **Sensoriamento remoto hiperespectral: o novo paradigma nos estudos de solos tropicais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2019.

BARBOSA, C. C. F., Novo, E. M. L. M., Martins, V. S. **introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: Princípios e Aplicações**. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2019.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica, Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Abeda, 2007.

BRASIL. **Lei nº 7.565** de 19 de dezembro de 1986. **Código Brasileiro de Aeronáutica**. Brasília, DF: Congresso Nacional, 1986. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7565compilado.htm. Acesso em: 23 mai. 2024.

BUSCH, A. **Brasil, país do presente: o poder econômico do gigante verde**. São Paulo: Cultrix, 2010.

CENIPA - Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Aeródromos - Sumário Estatístico 2010-2019**. Brasília: Assessoria Estatística, 2021. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/anexos/category/1-downloads?download=156:sumario-estatistico-aerodromos>. Acesso em: 23 mai. 2024.

COELHO, L., BRITO, J. N. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007.

CRAIG, P. A. **A Zona da Morte – Como e por que os acidentes aéreos acontecem**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

CZERWONKA, M. Mesmo com a pandemia, número de mortes por acidentes de trânsito cresce no Brasil. **Portal do Trânsito**, Curitiba, 08 nov. 2022. Disponível em:

<https://www.portaldotransito.com.br/noticias/fiscalizacao-e-legislacao/estatisticas/mesmo-com-a-pandemia-numero-de-mortes-por-acidentes-de-transito-cresce-no-brasil/>. Acesso em 23 mai. 2024.

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **ICA 100-40 Aeronaves Não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro**. Rio de Janeiro: DECEA, 2023. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/drone/docs/ICA%20100-40%20-%20Aeronaves%20n%C3%A3o%20Tripuladas%20e%20o%20Acesso%20ao%20Espa%C3%A7o%20A%C3%A9reo%20Brasileiro%202023%20-%20BCA%20103%2006.06.23.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2024.

Dynatest Engenharia. **Medidas automáticas, de alta precisão e testes de investigação rigorosos sobre a irregularidade superficial dos pavimentos e outros defeitos associados**. São Paulo: Dynatest, 2021. Disponível em: https://dynatest.com.br/wp-content/uploads/Dynatest_FolhetoTEC_Perfilometro_v1.pdf. Acesso em: 23 mai. 2024.

FERREIRA, L. C. Primeiro voo há 115 anos: Santos Dumont aliou invenções à ciência. **Agência Brasil**, Brasília: 23 out. 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-10/primeiro-voo-ha-115-anos-santos-dumont-aliou-invencoes-ciencia>. Acesso em: 23 mai. 2024.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 23 mai. 2024.

ICAO - International Civil Aviation Organization. **DOC 9859 Safety Management Manual (SMM)**. 4. ed. Quebec: ICAO, 2018.

Instituto Histórico-Cultural da Aeronáutica - Museu Aeroespacial. **14-BIS | ALBERTO SANTOS DUMONT**. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/musal/index.php/aeronaves-em-exposicao/55-avioes/142-14bis>. Acesso em: 23 mai. 2024.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução: José C. N. Epiphanyo *et al.* 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

LATORRE, M. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; SANTOS, J. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Integração de dados de sensoriamento remoto multiresoluções para a representação da cobertura da terra utilizando campos contínuos de vegetação e classificação por árvores de decisão. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 63-74. 2007.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Uniderp, 2006.

MELGANI, F.; BRUZZONE, L. Classification of Hyperspectral Remote Sensing Images with Support Vector Machines. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 42, No. 8, August 2004.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UnB-CNPq, 2012.

Ministério da Infraestrutura. **Anuário Estatístico de Transportes 2010 – 2020**. Brasília: Ministério da Infraestrutura, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/publicacoes-1/Anuario%20Estatistico%20de%20Transportes%20-%202010%20-%202020.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2024.

MOREIRA, M. M.; CORREA, P. G. **Abertura comercial e indústria**: o que se pode esperar e o que se vem obtendo. Rio de Janeiro: BNDES, 1996. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15681/1/Abertura%20comercial%20e%20ind%3%baustria%2c%20o%20que%20se%20pode%20esperar%20e%20o%20que%20se%20vem%20obtendo_P_BD.PDF. Acesso em: 23 mai. 2024.

MURRAY, C. C.; CHU, A. G. The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 54, p. 86–109, 2015. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.trc.2015.03.005.

- NEX, F.; REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: A review. **Applied Geomatics**, v. 6, p. 1–15, 2014.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- NUNES, R. V. **Uma abordagem Neural para Tratamento de Imagens Multiespectrais**. Porto Alegre: CPGCC – UFRGS, 1995. 106 p.
- PEREIRA, G. H. A.; CENTENO, J. A. S. Avaliação do tamanho de amostras de treinamento para redes neurais artificiais na classificação supervisionada de imagens utilizando dados espectrais e laser scanner. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 2, p. 268 - 283, 2017. Doi: 10.1590/s1982-21702017000200017.
- QUARTAROLI, C. F.; VICENTE, L. E.; ARAUJO, L. S. de. Sensoriamento remoto. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed.). **Geotecnologias e geoinformação**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 61-79. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas)
- RAWAT, J. S.; KUMAR, M. Monitoramento do uso do solo / mudança de cobertura usando técnicas de sensoriamento remoto e SIG: estudo de caso do bloco Hawalbagh, distrito Almora, Uttarakhand, Índia. **The Egyptian Journal of Remote Sensing e Space Science**, v. 18, n. 1, p. 77-84, 2015.
- RIBEIRO, R. M. P. **Avaliação de métodos de classificação de imagens IKONOS II para o mapeamento da cobertura terrestre**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. 53p. 2004
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7. ed. Uberlândia: Edufu, 2009.
- SALES, R. S. **Análise do Processo de Remoção de Borracha em Revestimentos Aeroportuários: Influência na Aderência Pneu Pavimento**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2019.

- SANTOS, E. L. **Análise Histórica da Medição de Atrito das Pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2004. Trabalho de Graduação.
- SANTOS, K. R. R. **Classificação com Árvores de Decisão em Paralelo**. Urutaí: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2011. Trabalho de Graduação
- SIMIONATO, M. Eleito melhor teca do mundo, Viracopos investe em segurança e em gestão de cargas. **Viracopos**, Campinas, 30 mar. 2019. Disponível em: https://www.viracopos.com/pt_br/noticias/eleito-melhor-teca-do-mundo-viracopos-investe-em-seguranca-e-em-gestao-de-cargas.htm. Acesso em: 23 mai. 2024.
- TAN, P.N.; STEINBACH, M.; KUMAR, V. **Introduction to Data Mining**, Ed. 1. USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2005. ISBN 0321321367.
- TANGERINO, D. F.; LOURENÇO, R. T. Comparação da exatidão de métodos de classificação supervisionada e não supervisionada a partir do índice kappa na microbacia do Ribeirão Duas Águas em Botucatu/SP. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. 2013, Foz do Iguaçu, PR. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013, p. 4093.
- RAWAT, J. S.; KUMAR, M. Monitoramento do uso do solo / mudança de cobertura usando técnicas de sensoriamento remoto e SIG: estudo de caso do bloco Hawalbagh, distrito Almora, Uttarakhand, Índia. **The Egyptian Journal of Remote Sensing e Space Science**, v. 18, n. 1, p. 77-84, 2015.
- VAPNIK, V. **The Nature of Statistical Learning Theory**. New York: Springer-Verlag, 1995.
- WITTEN, I. H.; FRANK, E.; HALL, M. A. **Data mining: practical machine learning tools and techniques**. São Francisco, CA: The Morgan Kaufmann series in data management systems, 2011. 665 p.

ANEXO I

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA
SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO DA NAVEGAÇÃO AÉREA
GERÊNCIA DA EPTA VIRACOPOS/CAMPINAS



**CARTA DE ACORDO OPERACIONAL ENTRE A
EPTA VIRACOPOS/CAMPINAS, AEROPORTOS
BRASIL VIRACOPOS S.A., E A EMPRESA
DRONE4MAP**

2020/01



SUMÁRIO

1	DISPOSIÇÕES PRELIMINARES	5
1.1	FINALIDADE	5
1.2	ÂMBITO	5
1.3	DEFINIÇÕES E ABREVIATURAS.....	5
1.4	ABREVIATURAS	5
2	PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS ACORDADOS	6
2.1	ATIVAÇÃO	6
2.2	INTERRUPÇÃO TEMPORÁRIA	6
2.3	ENCERRAMENTO	6
2.4	DATAS E HORÁRIOS PREVISTOS.....	7
3	PROCEDIMENTOS DE CONTINGÊNCIA OPERACIONAL	8
3.1	INTERRUPÇÃO DO VOO DO DRONE PARA RETOMADA DA OPERAÇÃO.....	8
4	PROCEDIMENTOS PARA REVISÃO, SUSPENSÃO OU CANCELAMENTO DA CARTA DE ACORDO OPERACIONAL	9
4.1	REVISÃO.....	9
4.2	SUSPENSÃO	9
4.3	CANCELAMENTO	9
5	PROCEDIMENTOS PARA DIVULGAÇÃO	10
5.1	PROCEDIMENTO.....	10
6	DISPOSIÇÕES FINAIS	11
6.1	REVOGAÇÃO DE CAOP ANTERIOR.....	11
7	ASSINATURAS DA CARTA DE ACORDO OPERACIONAL	12



CAOp TAKP, ABV e DRONE4MAP
/2020/01

5/12

1 DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

1.1 FINALIDADE

O presente Acordo Operacional tem por finalidade estabelecer procedimentos operacionais para a realização de fotografia aérea de SBKP com a utilização de drone.

1.2 ÂMBITO

A presente Carta de Acordo Operacional é de observância obrigatória. Aplica-se ao Aeroporto Internacional de Viracopos/Campinas (SBKP), em especial à Gerência da EPTA Viracopos/Campinas, e as Gerências de Operações, Segurança, Manutenção e SGSO da Aeroportos Brasil Viracopos.

1.3 DEFINIÇÕES E ABREVIATURAS

1.3.1 Aeroportos Brasil Viracopos S.A.

Administradora Aeroportuária Local do Aeroporto Internacional de Viracopos/Campinas

1.3.2 Área de Manobras

Parte do aeródromo destinada ao pouso, decolagem e táxi das aeronaves, excluídos os pátios;

1.3.3 Drone

Aeronave não tripulada utilizada para recreação e lazer (aeromodelos) ou para outros fins (RPA), como experimentais, comerciais ou institucionais.

1.3.4 NOTAM

Aviso que contém informação relativa ao estabelecimento, condição ou modificação de quaisquer instalações, serviços, procedimentos ou perigos aeronáuticos, cujo pronto conhecimento seja indispensável ao pessoal ligado a operações de voo. É publicado no site www.aisweb.aer.mil.br.

1.4 ABREVIATURAS

AAL	Administradora Aeroportuária Local
ABV	Aeroportos Brasil Viracopos S.A.
NOTAM	Informação aos Aeronavegantes
RWY	Pista de Pouso e Decolagem
SBKP	Aeroporto Internacional de Viracopos/Campinas
SRPV-SP	Serviço Regional de Proteção ao Voo de São Paulo
TWR	Torre de Controle
TWR-KP	Torre de Controle de Campinas

6/12

CAOp TAKP, ABV e DRONE4MAP
/2020/01

2 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS ACORDADOS

2.1 ATIVACÃO

2.1.1 Será emitido NOTAM específico de fechamento do aeroporto para que o voo do *drone* seja executado segregado da operação do SBKP.

2.1.2 O Supervisor Aeroportuário deverá entrar em contato via telefone com o Supervisor da TWR-KP com pelo menos 30 minutos de antecedência para confirmar a programação da operação.

2.1.3 O contato telefônico com a TWR-KP será realizado pelo número (19)3725-5081.

2.1.4 O Supervisor da TWR-KP coordenará a previsão da operação com o APP-SP e o CGNA.

2.1.5 O voo com o *drone* será iniciado dentro da janela prevista do NOTAM e somente após a confirmação pelo Supervisor da TWR-KP via telefone ao Supervisor Aeroportuário, que as operações estão suspensas.

2.1.6 A TWR-KP não deverá autorizar o sobrevoo de aeronaves sobre o aeródromo durante a janela de horários do NOTAM.

2.1.7 O contato telefônico da TWR-KP com o Supervisor Aeroportuário será realizado pelo número (19)99936-0514 através de ramal gravado.

2.2 INTERRUPÇÃO TEMPORÁRIA

2.2.1 Em caso de necessidade de interrupção temporária da operação de drone durante o período de vigência do NOTAM de suspensão das operações, deverá ser informado ao Supervisor da TWR-KP pelo Supervisor do Aeroporto com antecedência de 15 minutos a intenção de liberação da área de manobras para retomada da operação.

2.2.2 O Supervisor Aeroportuário deverá entrar em contato via telefone com o Supervisor da TWR-KP para confirmar a liberação da área de manobras para retomada da operação.

2.2.3 O Supervisor da TWR-KP coordenará o retorno temporário da operação com o APP-SP e o CGNA, informando ao término.

2.2.4 Quando houver a intenção de retorno da operação com drone, o Supervisor Aeroportuário deverá entrar em contato via telefone com o Supervisor da TWR-KP com pelo menos 15 minutos de antecedência para confirmar a programação da retomada da operação.

2.3 ENCERRAMENTO

2.3.1 Após o término da operação, o Supervisor do Aeroporto entrará em contato com a TWR-KP informando o término da operação.

2.3.2 O Supervisor do Aeroporto confirmará a disponibilidade da área de manobras para a retomada da operação, observando o disposto em 2.1.3.

2.3.3 O Supervisor da TWR-KP coordenará o retorno da operação com o APP-SP e o CGNA.



CAOp TAKP, ABV e DRONE4MAP
/2020/01

7/12

2.4 DATAS E HORÁRIOS PREVISTOS

2.4.1 Está previsto a operação do *drone* no horário de 10h00 às 16h00 (horário local) do dia 06 de setembro de 2020.

Handwritten signatures and initials in black ink, located in the lower right quadrant of the page. There are three distinct marks: a large, stylized signature on the left, a smaller signature in the middle, and a set of initials on the right.

3 PROCEDIMENTOS DE CONTINGÊNCIA OPERACIONAL

3.1 INTERRUPÇÃO DO VOO DO DRONE PARA RETOMADA DA OPERAÇÃO

3.1.1 Caso haja necessidade imperiosa de retomada da operação antes do término do serviço, seja por ocorrência de uma emergência aeronáutica, coordenação de operação de aeronaves previamente autorizadas, ou solicitação externa (CGNA, APP-SP ou Supervisor do Aeroporto), o Supervisor da TWR-KP retomará as operações apenas após a informação pelo Supervisor do Aeroporto que a área de manobras está disponível para operação.



CAOp TAKP, ABV e DRONE4MAP
/2020/01

9/12

4 PROCEDIMENTOS PARA REVISÃO, SUSPENSÃO OU CANCELAMENTO DA CARTA DE ACORDO OPERACIONAL

4.1 REVISÃO

4.1.1 A presente Carta de Acordo Operacional será revisada sempre que os procedimentos aqui estabelecidos sofrerem modificações ou não mais atenderem à finalidade para a qual foram estipulados.

4.2 SUSPENSÃO

4.2.1 Quando uma das partes signatárias deixar de cumprir algum dos procedimentos acordados, as outras partes, mediante comunicação prévia, poderão suspender a CAOp, até que sejam reestabelecidos os procedimentos operacionais acordados.

4.3 CANCELAMENTO

4.3.1 CONSENSUAL

4.3.1.1 Não havendo prorrogação das datas previstas em 2.3.1, esta CAOp será cancelada ao término da operação do *drone* em 06 de setembro de 2020.

4.3.2 UNILATERAL

4.3.2.1 Após a suspensão e, não havendo a retomada dos procedimentos operacionais acordados, será proposto por uma ou mais partes o cancelamento deste acordo.



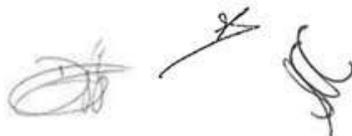
10/12

CAOp TAKP, ABV e DRONE4MAP
/2020/01

5 PROCEDIMENTOS PARA DIVULGAÇÃO

5.1 PROCEDIMENTO

5.1.1 Esta Carta de Acordo Operacional ficará arquivada nas Gerências signatárias deste acordo e caberá aos responsáveis pelos setores envolvidos, divulgarem os procedimentos que constam nesta Carta de Acordo Operacional aos seus efetivos operacionais.



CAOp TAKP, ABV e DRONE4MAP
/2020/01

11/12

6 DISPOSIÇÕES FINAIS

6.1 REVOGAÇÃO DE CAOP ANTERIOR

6.1.1 Não aplicável a revogação de CAOp anterior.

6.1.2 Esta Carta de Acordo Operacional, publicada no Boletim Interno do GAP-SP nº _____, de ____/____/_____, entra em vigor na data de sua publicação.

Handwritten signatures in black ink, consisting of two distinct scribbled marks.

12/12

CAOp TAKP, ABV e DRONE4MAP
/2020/01

7 ASSINATURAS DA CARTA DE ACORDO OPERACIONAL

ANEXO II

04/09/2020

AISWEB: Consulta NOTAM Avançada

RESUMO POR CENTRO EXPEDIDOR

NOF: SBRF | Série: B | Localidade(s): SBKP | Situação: TODOS | Término de Validade: TODOS |
 Expedição: 31/08/2020 #form.inicioh# a 31/08/2020 #form.fimh#
 Gerado em 04/09/2020 às 11:37:04 UTC
 0 NOTAM encontrado(s)

SBRF B NIL

RESUMO POR CENTRO EXPEDIDOR

NOF: SBSP | Série: D | Localidade(s): SBKP | Situação: TODOS | Término de Validade: TODOS |
 Expedição: 31/08/2020 #form.inicioh# a 31/08/2020 #form.fimh#
 Gerado em 04/09/2020 às 11:37:04 UTC
 2 NOTAM encontrado(s)

SBSP D1397/2020 NOTAMN

Q) SBBS/FAXX/IV/NBO/A /000/999/2300S04708W005

A) SBKP - CAMPINAS/VIRACOPOS, SP

B) 06/09/20 13:00 - C) 06/09/20 19:00

E) AD PRB FLT DE TREINAMENTO

DT EXPED: 31/08/20 20:39

STATUS: IN FORCE

ORIGEM: AIM3_NOF / 3605 / 2020

SBSP D1398/2020 NOTAMN

Q) SBBS/MRLC/IV/NBO/A /000/999/2300S04708W005

A) SBKP - CAMPINAS/VIRACOPOS, SP

B) 06/09/20 13:00 - C) 06/09/20 19:00

E) RWY 15/33 CLSD DEVIDO OPR COM DRONE

RMK: OPS LDG E TKOF DURANTE A OPR COM DRONE PPR 02HR THRU TEL +55 19 3795-7686 OU +55 19 3795-7691

DT EXPED: 31/08/20 20:48

STATUS: IN FORCE

ORIGEM: AIM3_NOF / 3607 / 2020

RESUMO POR CENTRO EXPEDIDOR

NOF: SBCT | Série: E | Localidade(s): SBKP | Situação: TODOS | Término de Validade: TODOS |
 Expedição: 31/08/2020 #form.inicioh# a 31/08/2020 #form.fimh#
 Gerado em 04/09/2020 às 11:37:04 UTC
 0 NOTAM encontrado(s)

SBCT E NIL

RESUMO POR CENTRO EXPEDIDOR

NOF: SBBR | Série: F | Localidade(s): SBKP | Situação: TODOS | Término de Validade: TODOS |
 Expedição: 31/08/2020 #form.inicioh# a 31/08/2020 #form.fimh#
 Gerado em 04/09/2020 às 11:37:04 UTC
 0 NOTAM encontrado(s)

SBBR F NIL

RESUMO POR CENTRO EXPEDIDOR

NOF: SBEG | Série: G | Localidade(s): SBKP | Situação: TODOS | Término de Validade: TODOS |
 Expedição: 31/08/2020 #form.inicioh# a 31/08/2020 #form.fimh#
 Gerado em 04/09/2020 às 11:37:04 UTC
 0 NOTAM encontrado(s)

SBEG G NIL

04/09/2020

AISWEB: Consulta NOTAM Avançada

RESUMO POR CENTRO EXPEDIDOR

NOF: SBRJ | Série: Z | Localidade(s): SBKP | Situação: TODOS | Término de Validade: TODOS |
Expedição: 31/08/2020 #form.inicioh# a 31/08/2020 #form.fimh#
Gerado em 04/09/2020 às 11:37:04 UTC
0 NOTAM encontrado(s)

SBRJ Z NIL

---| FIM DA LISTAGEM |---

ANEXO III

04/09/2020

SARPAS (Drones)

BRASIL (<http://www.brasil.gov.br>) Serviços (http://www.servicos.gov.br/?pk_campaign=barrabrasil)Participe (<http://brasil.gov.br/barra#participe>) Acesso à Informação (<http://brasil.gov.br/barra#acesso-informacao>)Legislação (<http://www.planalto.gov.br/legislacao>) Canais (<http://brasil.gov.br/barra#orgaos-atuacao-canais>)

Departamento
de Controle do Espaço Aéreo
Comando da Aeronáutica



SOLICITAÇÃO DE VOO #98944E

APROVADO

Operação

- Solicitante: D4M PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS, CONSULTORIA E ENGENHARIA COM DRONES LTDA
- Perfil: 1 (Padrão / ICA 100-40 (<http://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4510&refresh=DF72B1B5-1E4F-4542-847B27F46EBA2E6F>))
- Tipo/Regra: VLOS/V

Localização

- Decolagem
Lat: -23.001427234977257
Lng: -47.14266013837341
- Destino
Lat: -23.001427234977257
Lng: -47.14266013837341
- Área: 500m
- Altura: 131ft

Janela de Operação

Data	Início	Fim
06.09.2020	13:00 UTC	19:00 UTC

Comunicações

- Código de Chamada: RPA--00
- ATS: NÃO SE APLICA
- Piloto: NÃO SE APLICA

RPS (1)

04/09/2020

SARPAS (Drones)

RPS**Lat/Lng****Telefone**

D4M PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS, CONSULTORIA E ENGENHARIA COM
DRONES LTDA

-23.001427234977257, (19) 99226-
-47.14266013837341 1458

Equipamento

- Nº SISANT: PP-309121100

Ver Certificado SISANT (view/_inc/doc.cfm?a=1dd3768a-e77d-477c-bf6f2ea84441a981.pdf)

Solicitante

- Nome: D4M PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS, CONSULTORIA E ENGENHARIA COM DRONES LTDA
- CNPJ: 30.912.110/0001-90

Piloto

- Nome: OSCAR THEODORO DA SILVA NETO
- Código: OZWQ
- CPF: 044.***.***-37



**Departamento
de Controle do Espaço Aéreo**
Comando da Aeronáutica

(<http://www.decea.gov.br>)



(<http://www.fab.mil.br>)

Desenvolvido pela ASCOM/DECEA

in

(<https://www.linkedin.com/company/decea>)

f aerea-

(<https://www.facebook.com/aerea-decea>)

ANEXO IV



Campinas, August 26th, 2020

LETTER OF AUTHORIZATION

To:
DJI Flysafe Team

This letter is to inform that Aeroportos Brasil Viracopos S.A., the concessionaire that manages and operates Viracopos International Airport, authorizes the *Gdrones Comércio e Serviços de Aeronaves Remotamente Pilotadas Eireli - EPP* to operate the drones described below to flight over the Viracopos International Airport during the period stated in this letter. All operations will be coordinated with the local ATC (Air Traffic Control). Therefore, we ask that DJI Flysafe temporarily modify the software parameters of the drone that will be used to perform the job, according to the information below.

Airport information:

IATA: VCP
ICAO: SBKP
City: Campinas, São Paulo, Brazil
Administration: Aeroportos Brasil Viracopos – ABV
Coordinate: 23°00' 00" S LAT; 047°08' 42" W LON
Sea Level: 657 m (2,155 ft)
Radius: 3,048 m (10,000 ft)
Unlock Period: September 06th 2020 to September 07th 2020
Maximum Local Flight Altitude: 120 m (400 ft)

Drones and Operator data:

Name of Operator: George Alfredo Longhitano
Name of Company: Gdrones
CNPJ: 22.619.376/0001-11

1) Model: DJI Phantom 4 Pro
Phantom 4 Pro Serial Number: 0AXCE4B0A31381
Operator Code (SARPAS): UWMR
Register Number ANAC: PP-202000011

2) Model: DJI Phantom 4 Pro
Phantom 4 Pro Serial Number: OHACE6F0A20303

Operator Code (SARPAS): UWMR
Register Number ANAC: PP-201906653
E-mail: contato@g-drones.com.br

3) Model: DJI Matrice 200
DJI Matrice 200 Serial Number: FG071847503272
Operator Code (SARPAS): UWMR
Operator Code (SARPAS): UWMR
Register Number ANAC: PP-201902653

Yours Sincerely,

ANEXO V

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MJSP-POLÍCIA FEDERAL
SERVIÇO DE SEGURANÇA AEROPORTUÁRIA - SAER

Protocolo de Registro para Credenciamento

Data de Emissão do Protocolo: 31/08/2020 - 11:14

Protocolo: 2020083115026

REQUERENTE

Nome: [REDAZIDO]

Sexo: MASCULINO

País de Nascimento: Brasil

Data de Nascimento: 22/04/1963

CPF: [REDAZIDO]

Documento de Identificação: [REDAZIDO]

REQUERIMENTO

Tipo de Credencial: TEMPORÁRIA

Aeroporto: CAMPINAS-SP / AEROPORTO VIRACOPOS - BRASIL

Tipo de Atividade: EMPRESAS DE ENGENHARIA CIVIL E MANUTENÇÃO

Empresa: D4M PRESTACAO DE SERVICOS, CONSULTORIA E ENGENHARIA COM DRONES LTDA/D4M

INFORMAÇÕES IMPORTANTES:

- A data de validade deste recibo é de 90 dias;
- As informações prestadas no cadastro necessitam ser validadas no setor de credenciamento do aeroporto informado. Necessário apresentar os documentos pessoais para essa validação;
- Os dias, horários e formas de atendimento nos setores de credenciamento dos aeroportos serão definidos por estes;
- Este cadastro não substitui a exigência de preenchimento do requerimento de credencial aeroportuária do respectivo aeroporto ao qual se deseja o acesso;
- Maiores informações disponíveis no site www.pf.gov.br



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MJSP-POLÍCIA FEDERAL
SERVIÇO DE SEGURANÇA AEROPORTUÁRIA - SAER

REGISTRO PARA CREDENCIAMENTO

Requerimento: 202008311502680851 **Tipo de Credencial:** TEMPORÁRIA
Aeroporto: CAMPINAS-SP / AEROPORTO VIRACOPOS - BRASIL
Tipo de Atividade: EMPRESAS DE ENGENHARIA CIVIL E MANUTENÇÃO
Descrição da Atividade do Credenciado: OPERAÇÃO DE DRONES

INFORMAÇÕES SOBRE A EMPRESA

CNPJ: [REDAZADO]
Razão Social: D4M PRESTACAO DE SERVICOS, CONSULTORIA E ENGENHARIA COM DRONES LTDA
Nome Fantasia: D4M
Telefone da Empresa: [REDAZADO]
Nome de Contato da Empresa: [REDAZADO]

INFORMAÇÕES PESSOAIS

Nome Completo: [REDAZADO]
Nome Mãe: [REDAZADO]
Nome Pai: [REDAZADO]
Data de Nascimento: [REDAZADO]
Cidade de Nascimento: CARANGOLA
Nacionalidade: Brasil **UF de Nascimento:** MG
CPF: [REDAZADO]
Documento de Identificação: [REDAZADO] **UF:** MG **Orgão Expedidor:** SSP

INFORMAÇÕES DE ENDEREÇO E CONTATO

País: Brasil
CEP: [REDAZADO] **Logradouro:** DOUTOR NELSON NORONHA GUSTAVO FILHO
Número: 175 **Complemento:** D41
Cidade: CAMPINAS
UF: SP **Bairro:** VILA BRANDINA
Telefone Celular 1: [REDAZADO] **Telefone Celular 2:** **Telefone Fixo:**
E-mail: [REDAZADO]

Protocolo: 2020083115026

1



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 MJSP-POLÍCIA FEDERAL
 SERVIÇO DE SEGURANÇA AEROPORTUÁRIA - SAER

REFERÊNCIAS

Referência 1

Nome: [REDACTED]

Telefone: [REDACTED] Vínculo: FAMÍLIA

QUESTIONÁRIO

ALERTA: A informação de eventual registro criminal não necessariamente impedirá o credenciamento aeroportuário. A constatação da omissão no presente cadastro de algum registro criminal existente acarretará no cancelamento da credencial aeroportuária emitida, independentemente do fato praticado e data do ocorrido.

Já foi indiciado(a) em alguma investigação policial? NÃO

Já respondeu a processo criminal? NÃO

Já foi condenado criminalmente? NÃO

Já praticou algum ato que atentasse a segurança da aviação civil? NÃO

TERMO DE RESPONSABILIDADE

Declaro verdadeiros todos os dados declarados, estando ciente que estou sujeito a investigação policial e processo criminal pela prática do crime de falsidade ideológica (artigo 299 do Código Penal) no caso de constatação do registro de informações incorretas ou incompletas, bem como ao recolhimento de eventual credencial aeroportuária emitida, ficando ainda impedido de realizar novo processo de credenciamento aeroportuário.

Campinas (SP)

Local/UF

[REDACTED]

31 / 08 / 2020

DD/MM/AAAA

Assinatura