

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DIRETORIA DE ENSINO
CENTRO DE ESTUDOS DE POLÍTICA, ESTRATÉGIA E DOCTRINA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS**

CAP QOBM/Comb. JOÃO HENRIQUE CORRÊA PINTO



**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A INVESTIGAÇÃO DE
INCÊNDIO FLORESTAL**

**BRASÍLIA
2021**

CAP QOBM/Comb. **JOÃO HENRIQUE CORRÊA PINTO**

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO FLORESTAL

Monografia apresentada ao Centro de Estudos de Política, Estratégia e Doutrina como requisito para conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Orientador: TEN-CEL QOBM/Comb. **RONALDO LIMA DE MEDEIROS**

**BRASÍLIA
2021**

CAP QOBM/Comb. **JOÃO HENRIQUE CORRÊA PINTO**

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO FLORESTAL

Monografia apresentada ao Centro de Estudos de Política, Estratégia e Doutrina como requisito para conclusão do Curso de Altos Estudos para Oficiais Combatentes do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Fabiano Luis de **Medeiros** – Ten-Cel QOBM/Comb.
Presidente

André Telles Campos – Ten-Cel QOBM/Comb.
Membro

José **Genilson** dos Santos – Ten-Cel QOBM/Comb.
Membro

Ronaldo Lima De Medeiros – Ten-Cel QOBM/Comb.
Orientador

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

AUTOR: Cap. QOBM/Comb. João Henrique Corrêa Pinto

TÍTULO: Sensoriamento Remoto Aplicado a Investigação de Incêndio Florestal.

DATA DE DEFESA: 22/02/2021.

Acesso ao documento		
☐ Texto completo	☐ Texto parcial	☐ Apenas metadados
Em caso de autorização parcial, especificar a(s) parte(s) que deverá(ão) ser disponibilizadas:		

Licença
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO EXCLUSIVA O referido autor: a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade. b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder ao CBMDF os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue. Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o CBMDF, declara que cumpriram quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo. LICENÇA DE DIREITO AUTORAL Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a Biblioteca da Academia de Bombeiro Militar disponibilizar meu trabalho por meio da Biblioteca Digital do CBMDF, com as seguintes condições: disponível sob Licença Creative Commons 4.0 International, que permite copiar, distribuir e transmitir o trabalho, desde que seja citado o autor e licenciante. Não permite o uso para fins comerciais nem a adaptação desta. A obra continua protegida por Direito Autoral e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

JOÃO HENRIQUE CORRÊA PINTO

Cap. QOBM/Comb.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo e as minhas famílias, por ter oportunizado a tranquilidade necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

Família CFO-33 vocês são os melhores, realmente levantam a moral do combatente, obrigado por estarem presentes nos melhores e nos piores momentos da minha vida.

Família, fonte de renovação de energia, é o que me motiva a seguir em frente.

E claro meu orientador Ten-Cel. Ronaldo pela oportunidade da amizade e pela paciência nesta orientação. Este foi o grande motivador na minha busca de conhecimento no assunto apresentado neste trabalho, desde 2015 o senhor foi um incentivador na busca de uma prestação de serviço mais eficiente no CBMDF.

“Salvar... Salvar... Sempre salvar.”

CFO 33 - CBMDF

RESUMO

Neste trabalho, foram analisadas as variáveis que influenciam a dinâmica dos incêndios florestais, tais como as características do combustível, a topografia e os fatores meteorológicos, sob a ótica do sensoriamento remoto, utilizando Sistemas de Informação Geográficas como ferramenta para o processamento de dados. Foi observado que grande parte das informações provindas do sensoriamento remoto estão disponíveis de forma gratuita em agências governamentais ao redor do globo, o que facilitou o acesso a imagens de satélites e a dados geográficos para o desenvolvimento de uma padronização no uso de tais informações para auxiliar a investigação de incêndios florestais em suas causas e seus desenvolvimentos. Foram explorados procedimentos relacionados ao geoprocessamento e ao processamento digital de imagens consagrados pelo meio acadêmico, para aclarar a visão do investigador de incêndio florestal a respeito de identificações de zonas de origens e interpretações de incêndios florestais. Desta forma, este trabalho trouxe uma complementação à atividade tradicional do investigador de incêndio florestal com um trabalho riquíssimo de informações proposto e realizado na fase que antecipa a atividade de campo.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, investigação de incêndio florestal, satélite, sistema de informação geográfica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cobertura do Solo do DF – 2019	17
Figura 2 - Elementos fundamentais do sensoriamento remoto	25
Figura 3 - Representação dos campos elétrico e magnético da REM.....	26
Figura 4 – Espectro Eletromagnético	26
Figura 5 - Interação da REM com alvos	27
Figura 6 - Diferenças de resoluções espaciais.....	29
Figura 7 – Diferenças em resoluções radiométricas	30
Figura 8 – Modelo matricial da imagem	31
Figura 9 – Reamostragem.....	32
Figura 10 – Composição de imagens nos canais RGB	34
Figura 11 – Fusão de imagens na pelo método RGB-IHS	35
Figura 12 – Diferentes paletas de cores aplicado a um MDT	36
Figura 13 – Elementos de uma camada vetorial	37
Figura 14 - Overlay Topológico de camadas vetoriais.....	39
Figura 15 – Operação de união e intersecção de camadas	40
Figura 16 – Overlay mais comuns de camadas vetoriais	40
Figura 17 – Exemplo de um MDT.....	43
Figura 18 – Exemplo de seleção de áreas no treinamento supervisionado	44
Figura 19 – Exemplo de seleção de áreas no treinamento não-supervisionado	45
Figura 20 – Mapa de temperatura interpolado - África do Sul	46
Figura 21 – Quadro de adequação escala e resolução espacial.....	48
Figura 22 - Sensores CBERS-4A.....	49
Figura 23 – Imagem da região de Brumadinho - MG	50
Figura 24 – Sensores TERRA	51
Figura 25 – Incêndio Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros	52
Figura 26 – Sensores Landsat - 8	53
Figura 27 - Composição 6/5/4, Landsat-8	53
Figura 28 – Sensores IRS	54
Figura 29 - Cicatriz de queima DF - Resourcesat-2	55
Figura 30 – Sensores AQUA	55
Figura 31 – Sensor MODIS	56
Figura 32 - Registro de incêndio em desenvolvimento, sensor MODIS	57
Figura 33 – Quadro de adequação escala e resolução espacial.....	58
Figura 34 – Sensores WorldView	59
Figura 35 – Imagem de Brasília (DF), adquirida pelo sensor Worldview-4, em janeiro de 2017.	59
Figura 36 – Sensores PLANET	60
Figura 37 – Imagem Planet de Brasília	61
Figura 38 – Sensores GeoEye	61
Figura 39 – Imagem do Satélite GeoEye, município de Campinas, SP.....	62
Figura 40 – Sensores GOES.....	63
Figura 41 – Sensores Sentinel - 2.....	63
Figura 42 - Incêndio Área Alfa da Marinha em 2020 – Sentinel-2B.....	64
Figura 43 – Quadro de adequação escala e resolução espacial.....	65
Figura 44 – Layout Geoportal – SEDUH/DF	67
Figura 45 – Mapa Temático do Parque Nacional de Brasília.....	68
Figura 46 – Quadro de adequação escala e resolução espacial.....	70

Figura 47 - Incêndio na Rota do Cavalo em 2020 - Sentinel 2B/MSI/432	71
Figura 48 – Layout da plataforma Google Earth Engine	73
Figura 49 - Série temporal de imagens NDVI após o incêndio de 12/2008	77
Figura 50 – Cobertura do solo classificada	78
Figura 51 – Análise espectral de alvos	80
Figura 52 – Exemplo de MDT	81
Figura 53 – Incêndio em vales	82
Figura 54 – Mapa temático de declividade	83
Figura 55 – Qualificação de insolação na superfície terrestre no hemisfério sul	84
Figura 56 – Mapa temático de Vertente	85
Figura 57 – Estimativa da temperatura da superfície com base no SR	86
Figura 58 – Modelos geométricos de propagação dos IF's	90
Figura 59 - Modelo de croqui de um incêndio florestal	91
Figura 60 – Distribuição de focos de calor no Mosaico	99
Figura 61 – Focos iniciais com buffer de 1000 metros	100
Figura 62 – Classificação de combustível no Mosaico	101
Figura 63 – Classificação da vegetação queimada	102
Figura 64 - NDVI no Mosaico antes do IF	103
Figura 65 – NDVI Mosaico depois do IF	104
Figura 66 – IFs no PNB nos anos de 2007 e 2010	105
Figura 67 – IF no PNB nos anos de 2016 e 2017	106
Figura 68 – NDVI do PNB em 2017 antes do incêndio	107
Figura 69 – Modelo Digital de Terreno do DF	108
Figura 70 – Perspectiva tridimensional de IF no Lago Oeste - DF	109
Figura 71 – Interpolação de temperatura média no Mosaico	110
Figura 72 – Direção do vento em IF's no PNB	111
Figura 73 – Origem de IF no Altiplano Leste - DF	113
Figura 74 – Zona de origem IF Altiplano Leste com alta definição	114
Figura 75 – Histórico de imagens AQUA e TERRA de IF na Chapada Imperial-DF	115
Figura 76 – Momentos iniciais de IF's registrados pelas plataformas AQUA e TERRA	116
Figura 77 – Cicatrizes de queima de IF no PNB, JBB e Chapada Imperial	117
Figura 78 – Estimativa de área queimada plataforma TERRA e Landsat - 7	117
Figura 79 – Exemplo de utilização de dados georreferenciados no aplicativo Avenza Maps.	119
Figura 80 - Fluxograma da utilização do SR na Investigação de IF	123
Figura 81 – Interpolação dos resultados da 1º questão	125
Figura 82 - Interpolação dos resultados da 2º questão	126
Figura 83 - Interpolação dos resultados da 3º questão	127
Figura 84 - Interpolação dos resultados da 4º questão	128
Figura 85 – Gráfico do resultado da 5º questão	129
Figura86- Elementos fundamentais do sensoriamento remoto	3
Figura87 - Interação da REM com alvos	4
Figura88 – Quadro de resoluções	5
Figura89 – Modelo matricial da imagem	6
Figura90 - Exemplo de utilização de dados georreferenciados no aplicativo Avenza Maps.	7
Figura91 – Composição de imagens nos canais RGB	9
Figura92 – Elementos de uma camada vetorial	10
Figura93 – Exemplo de seleção de áreas no treinamento supervisionado	13

Figura94 – Exemplo de seleção de áreas no treinamento não-supervisionado	14
Figura95 – Mapa de temperatura interpolado - África do Sul.....	15
Figura96 – Quadro de plataformas.....	17
Figura97 – Quadro de banco de dados.....	17
Figura98 – Distribuição de focos de calor no Mosaico	19
Figura99 – Focos iniciais com buffer de 1000 metros	20
Figura100 – Classificação de combustível no Mosaico.....	21
Figura101 – Classificação da vegetação queimada	22
Figura102 - NDVI no Mosaico antes do IF	23
Figura103 – NDVI Mosaico depois do IF.....	24
Figura104 - IF no PNB nos anos de 2007 e 2010	25
Figura105 – IF no PNB nos anos de 2016 e 2017	26
Figura106 – NDVI do PNB em 2017 antes do incêndio	27
Figura107 – Modelo Digital de Terreno do DF.....	28
Figura108 – Perspectiva tridimensional de IF no Lago Oeste - DF.....	29
Figura109 – Interpolação de temperatura média no Mosaico	30
Figura110 – Direção do vento em IF's no PNB	31
Figura111 – Origem de IF no Altiplano Leste - DF.....	33
Figura112 – Zona de origem IF Altiplano Leste com alta definição	34
Figura113 – Histórico de imagens AQUA e TERRA de IF na Chapada Imperial-DF .	35
Figura114 – Momentos iniciais de IF's registrados pelas plataformas AQUA e TERRA	36
Figura115 – Cicatrizes de queima de IF no PNB, JBB e Chapada Imperial	37
Figura116 – Estimativa de área queimada plataforma TERRA e Landsat - 7.....	37
Figura117 - Fluxograma da utilização do SR na Investigação de IF	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantitativo de vegetação degradado pelo fogo	102
Tabela 2 – Estimativa de área queimada TERRA/Landsat - 7.....	118
Tabela 3 – Resultado da questão 6 do questionário.....	129
Tabela 4 – Resultado da questão 7 do questionário.....	130
Tabela 5 – Quantitativo de vegetação degradado pelo fogo	23
Tabela 6 – Estimativa de área queimada TERRA/Landsat - 7.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAST	Academia Chinesa de Tecnologia Espacial
CBMDF	Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal
CBMGO	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás
CBMMT	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Mato Grosso
CEBERS	<i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DF	Distrito Federal
DLA	Departamento de Assuntos Fundiários
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EOS	Earth Observing System
ERTS	Earth Resources Technology Satellite
ESA	Agência Espacial Europeia
FAB	Força Aérea Brasileira
FIRMS	Fire Information for Resource Management System
GDF	Governo do Distrito Federal
GEE	Google Earth Engine
GGT	Gestão Geoespecializada da Transmissão
GIF	Graphics Interchange Format
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GPRAM	Grupamento de Proteção Ambiental
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia
IBRAM	Instituto Brasília Ambiental
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDW	Inverso do Quadrado da Distância
IF	Incêndios Florestais
IHS	Intensidade
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRS	Indian Remote Sensing Satellite
JBB	Jardim Botânico de Brasília
MDT	Modelo Digital de Terreno
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MPIE	Manual de Perícia em Incêndios e Explosões
MSI	Multispectral Instrument
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
NIMA	National Imagery and Mapping Agency
NIR	Infravermelho Próximo
NNRMS	National Natural Resource Management System
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OLI	Operational Land Imager
PAN	Pancromático
PDI	Processamento Digital de Imagens
PNB	Parque Nacional de Brasília
QGIS	Quantum GIS
REM	Radiação Eletromagnética
RGB	Red
RVI	Ratio Vegetation Index
SEDUH	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
VIS	Faixa do Visível

LISTA DE SÍMBOLOS

m	Metro
°	Graus
μm	Micrometro
%	Por cento
hec	Hectare
km	Quilômetro
λ	Comprimento de Onda
$\rho\lambda$	reflêctância
$L\lambda$	radiância
$E\lambda$	irradiância
n	Tamanho da amostra
$f(x,y)$	Função de energia discreta
E	Margem de erro
$Z_{\alpha/2}$	Valor crítico
σ	Desvio-padrão populacional
N	Tamanho da população

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Definição do problema	18
1.2 Justificativa.....	19
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo geral	21
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
1.4 Definição de Termos.....	22
2 REVISÃO DA LITERATURA	24
2.1 Sistema de informação geográfica e suas tecnologias	24
2.1.1 Princípios Físicos.....	24
2.1.2 Características dos dados geográficos	27
2.1.3 Processamento de dados matriciais	30
2.1.4 Processamento de dados vetoriais	36
2.1.5 Interface entre dados matriciais e vetoriais.....	41
2.2 Principais bancos de dados sensoriamento remoto.....	47
2.1.6 Missões orbitais de sensoriamento.....	47
2.1.6.1 CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestre	49
2.1.6.2 TERRA – Earth Observing System (EOS).....	50
2.1.6.3 LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite	52
2.1.6.4 IRS – Indian Remote Sensing Satellite.....	54
2.1.6.5 AQUA – Aqua Project Science.....	55
2.1.6.6 SRTM – Shuttle Radar Topography Mission	57
2.1.6.7 WORLDVIEW	58
2.1.6.8 PLANET – Satélite Planet.....	59
2.1.6.9 GeoEye.....	61
2.1.6.10 GOES – Geostationary Operational Environmental Satellite	62
2.1.6.11Sentinel - 2	63
2.1.7 Acesso a banco de dados de SIG	64
2.1.8 Softwares de SIG.....	72
2.3 Geoprocessamento e variáveis dos incêndios florestais	74
2.1.9 Material combustível.....	75

2.1.10 Topografia	80
2.1.11 Meteorologia	85
2.4 Atividade de investigação de incêndio florestal.....	88
2.1.12 Zona de confusão	89
2.1.13 Geometria de um Incêndio Florestal	89
2.1.14 Confeção de croqui	90
2.1.15 Orientação na atividade de campo	91
3 METODOLOGIA	93
3.1 Quanto ao método	93
3.2 Quanto aos objetivos	94
3.3 Quanto a abordagem	95
3.4 Quanto aos procedimentos aplicados	95
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	98
4.1 Análise das variáveis de IF e suas geotecnologias.....	98
4.1.1 Análise dos focos de calor	98
4.1.2 Análise da cobertura do solo	100
4.1.3 Análise topográfica	107
4.1.4 Análise de fatores meteorológicos	109
4.1.5 Análise de imagens multiespectrais.....	112
4.1.6 Georreferenciamento e navegação	118
4.2 Padronização da metodologia aplicada	119
4.2.1 Informações da região investigada	120
4.2.2 Análise das condições meteorológicas	120
4.2.3 Análise dos focos de calor	121
4.2.4 Análise de imagens de baixa resolução.....	121
4.2.5 Análise de imagens de média e alta resoluções	121
4.2.6 Georreferenciamento	122
4.3 Análise do questionário aplicado	124
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	132
5.1 Recomendações	133
REFERÊNCIAS.....	135
APÊNDICES	145

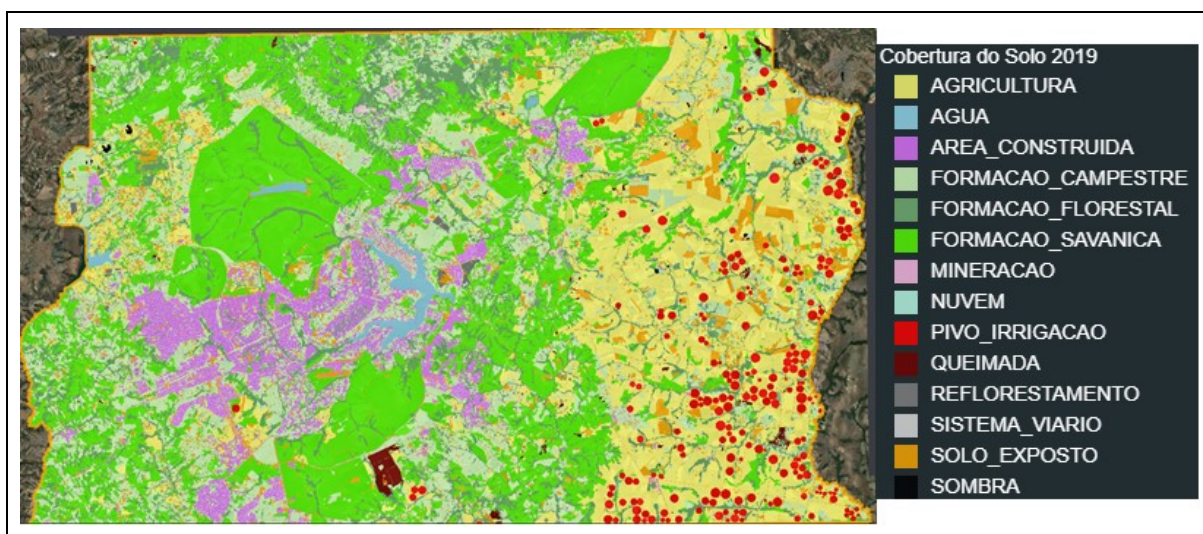
APÊNDICE A – LISTA DE PERITOS ATUANTES EM 2020	146
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO NA PESQUISA	148
APÊNDICE C – COMPLEMENTO PARA O MANUAL DE INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO FLORESTAL	156

1 INTRODUÇÃO

Ao analisar arquivos vetoriais disponíveis no banco de dados geográficos do Distrito Federal (DF), percebe-se que a capital federal possui uma grande área vegetal com grande potencial de desenvolver incêndios florestais, justificando assim ações de normatização, prevenção, combate e investigação de forma cíclica, como prevê o ciclo operacional do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), descrito em seu plano de emprego.

A imagem abaixo, retirada do portal da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEDUH) ilustra a grande cobertura do solo preenchida por vegetação representada pelas cores verdes, vermelhas e amarelas.

Figura 1 – Cobertura do Solo do DF – 2019



Fonte: SEDUH, 2020

As causas destes incêndios são inúmeras, que vão de fenômenos naturais, como raios, às causas antrópicas, como: queima de lixo, queima de restos vegetais (podas), limpeza de terreno, queima em atividade agropastoril e até mesmo incendiários (SOARES, 1985).

Ao revisar a literatura, hoje em vigor no CBMDF sobre o assunto (Manual de Perícia em Incêndios e Explosões – MPIE, Parte II), verificou-se que o perito se utiliza de diversos fatores inerentes ao terreno tais como: topografia e tipo de combustível, em conjunto com umidade relativa do ar, temperatura do ar, direção do vento, para

discernir sobre a dinâmica do incêndio a fim de regressar a uma zona de origem para delimitação das possíveis causas dos incêndios (CBMDF, 2019).

Os incêndios florestais, de forma geral, são analisados sob os aspectos de dois grupos de variáveis: as variáveis meteorológicas, e as relacionadas às características dos combustíveis para queima (CBMDF, 2019). Em complemento, Brown (1983) descreve que a topografia do local sinistrado também apresenta uma grande influência sob a dinâmica do incêndio florestal.

As questões meteorológicas que são fatores decisivos para ditar a forma e a dinâmica de um incêndio florestal são: a temperatura, umidade relativa do ar, o vento e a precipitação. Sobre as influências do material combustível florestal, destacam-se a sua quantidade, a umidade, a inflamabilidade, a continuidade e sua compactação (CBMDF, 2019). Não menos importantes, as características topográficas dos locais sinistrados exercem grande influência sobre o comportamento dos incêndios florestais, incêndios morro acima se propagam com muito mais rapidez do que em declives (SHUMACHER et. al, 2005).

Os dados produzidos pelo sensoriamento remoto são objeto de estudos desde as décadas de 60 e 70 (MENESES; ALMEIDA, 2012), e sua análise vem se tornando cada dia mais popular conforme o desenvolvimento de *softwares* livres de Processamento Digital de imagens (PDI). Como consequência, a análise de tais dados gerou diversas informações úteis para a aplicação nas mais diferentes áreas do conhecimento. A utilização destas ferramentas hoje possibilita a resolução de diversos problemas no campo da investigação dos incêndios florestais.

1.1 Definição do problema

A perícia dos IF, conforme é realizada atualmente, seguindo os preceitos do Manual de Perícia em Incêndios e Explosões, enfrenta alguns obstáculos. Pode-se citar a indisponibilidade de aeronaves e/ou o alto custo na sua utilização para a aferições de áreas queimadas ou delimitações de cicatrizes de queimas, bem como a ocorrência de incêndios em vastas extensões, que por vezes requerem grandes caminhadas, com exigência de muito esforço logístico, para que o perito acesse determinados pontos do local sinistrado. Assim, identifica-se a necessidade em adotar

alternativas metodológicas mais eficientes para auxiliar a investigação dos incêndios florestais.

Análises topográficas, tipos de combustível, temperatura do solo, direção e velocidade do vento, umidade do ar, umidade do combustível, detecção de focos de calor, cálculos de perímetros, áreas, detecção de frentes de fogo e evolução temporal de acontecimentos são exemplos de dados a serem consumidos pelo perito para a complementação do laudo pericial, a fim de identificar as causas dos incêndios florestais, ou uma melhor delimitação da zona de origem, além de dinamizar seu comportamento.

A partir da análise das variáveis acima mencionadas, verifica-se a necessidade de incluir o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e das informações obtidas remotamente por satélite, para o desenvolvimento de uma metodologia a nível de corpo de bombeiros para a complementação do MPIE da instituição, para que possa ser utilizado como material de apoio na capacitação continuada dos peritos da corporação, acrescentando mais uma ferramenta na busca de elucidação da dinâmica dos incêndios florestais, bem com uma melhor utilização dos recursos logísticos na coleta de informações e vestígios para os laudos periciais.

Assim, o problema de pesquisa proposto traduz-se na seguinte pergunta: **quais as contribuições que a análise dos dados produzidos pelo sensoriamento remoto trazem para a investigação dos incêndios florestais?**

1.2 Justificativa

Diante o exposto, o que se busca neste projeto é a utilização do sensoriamento remoto para a melhoria do serviço de investigação e perícia de incêndios florestais, com o intuito de apresentar ferramentas para auxílio e complemento das atividades de campo e de estudo pelo perito.

As informações acerca dos fatores de influência na dinâmica dos Incêndios Florestais (IF) poderão ser obtidas de forma georreferenciada e gratuita. A partir da análise desses dados, com base no conhecimento consolidado e reconhecido no meio acadêmico, as ferramentas apresentadas poderá ser utilizada pelo perito para a

melhor delimitação possível da zona de origem de um incêndio florestal, além de melhor prepará-lo para a atividade de campo no que tange à coleta de vestígios.

O alto custo ou impedimento de uma visita *in loco* são problemas que podem ser solucionados de forma bem simples a partir do momento que se tem acesso às imagens de satélite do local sinistrado. Os cálculos são realizados facilmente, mediante metodologias já consolidadas no meio científico, sendo assim satisfatórias para o atendimento das demandas internas e externas do CBMDF. Além do custo reduzido, por se tratar de dados gratuitos, o tempo de análise dos dados também é inferior ao realizado pelos meios logísticos comumente utilizado na instituição, e caso se tenha um dado qualificado, o processamento é feito em poucos minutos.

Já na análise remota do terreno, diversas visitas podem ser dispensadas, por não terem relação com a zona de origem. Em algumas situações, a localidade de interesse pode ser estimada por meio das imagens de satélites disponíveis.

Em muitas imagens de incêndios de grandes proporções, é possível observar o direcionamento da fumaça, indicador imprescindível para corroborar o resultado da carbonização das evidências coletadas em campo. Tal análise pode ser realizada remotamente de forma célere e sem ônus.

O tipo de combustível é um fator a ser considerado para prever o comportamento do fogo. Assim, a análise prévia da vegetação, por meio de imagens de satélites, em conjunto com informações topográficas e dos vestígios encontrados nos locais, torna a aceitabilidade do laudo sobre a dinâmica do incêndio mais contundente.

A criação de mapas profissionais georreferenciados para a confecção de croquis é outra ferramenta relevante que será explorada no presente estudo. Mesmo quando o perito necessitar ir a campo, ele pode elaborar o seu próprio mapa georreferenciado com as suas regiões de interesse, com uso de ferramentas livres, úteis especialmente em locais sem *internet*.

1.3 Objetivos

Esta pesquisa visa analisar as variáveis que influenciam os incêndios florestais, descritas no Manual de Perícia em Incêndios e Explosões – MPIE, publicado em 2019 pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – CBMDF, sob a ótica de informações providas do sensoriamento remoto (especificamente imagens de satélites e utilizando as técnicas do processamento digital de imagens). A partir desta análise, o estudo busca o explorar as informações que possam ser geradas por essa análise, para complementação do manual acima citado, tornado-se uma fonte de estudo recorrente a atividade investigação de incêndio florestal.

1.3.1 Objetivo geral

Investigar as contribuições da aplicação do uso dos dados gerados pelo sensoriamento remoto através do uso dos sistemas de informações geográficas na investigação de incêndios florestais.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analisar as variáveis meteorológicas, topográficas e relativas à cobertura do solo por meio das geotecnologias, identificando padrões no comportamento dos incêndios florestais no Distrito Federal através de imagens de satélites e dados cartográficos.
- Apresentar as características das informações produzidas no ambiente do SIG à luz da investigação dos incêndios florestais.
- Analisar o comportamento de investigadores de incêndio na delimitação de regiões elegíveis à zona de origem de incêndios florestais com a utilização de informações providas do sensoriamento remoto.
- Propor uma padronização na atividade de investigação de incêndios florestais utilizando as informações obtidas via sensoriamento remoto.

1.4 Definição de Termos

SIG: um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados. (ARONOFF, 1989).

BIT: Bit (simplificação para dígito binário, em inglês, binary digit) é a menor unidade de informação que pode ser armazenada ou transmitida, usada na Computação e na Teoria da Informação. Um bit pode assumir somente 2 valores: 0 ou 1, corte ou passagem de energia, respectivamente. (Wikipedia, 2020)

Raster: dados rasters são formados por uma matriz de pixels (também chamados de células). (QGIS, 2020).

Câmeras multiespectrais: são compostas por múltiplos sensores com filtros de alta qualidade podendo capturar imagens usando diferentes frequências de ondas ao mesmo tempo. Elas podem registrar tanto o espectro de luz que é visível ao olhar humano quando as diferentes imagens ao longo do espectro magnético. (SCCOP, 2020)

Python: é uma linguagem de programação interpretada, interativa e orientada a objetos. Ele incorpora módulos, exceções, tipagem dinâmica, tipos de dados dinâmicos de nível muito alto e classes. Ele oferece suporte a vários paradigmas de programação além da programação orientada a objetos, como a programação procedural e funcional. Python combina poder notável com sintaxe muito clara. (PYTHON, 2020).

Incêndio florestal: é fogo fora de controle em qualquer tipo de vegetação, seja em plantações, pastos ou áreas de cerrado. Além de destruir a vegetação nativa e matar muitos animais selvagens, um incêndio florestal também pode causar sérios prejuízos financeiros e, até mesmo, colocar em risco a vida de pessoas e de animais domésticos. Em outras palavras, os incêndios florestais, além de queimarem lavouras, pastos e áreas naturais, podem atingir casas, galpões, armazéns e instalações rurais, como celeiros, galinheiros, viveiros, chiqueiros e currais. (IBRAM, 2020).

Software livres: por “*software* livre” entende-se aquele *software* que respeita a liberdade e senso de comunidade dos usuários. Grosso modo, isso significa que os

usuários possuem a liberdade de executar, copiar, distribuir, estudar, mudar e melhorar o software. (GNU, 2020).

Mapbiomas: O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil é uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil. (MAPBIOMAS, 2020)

Focos de Calor: são pontos geográficos captados por sensores espaciais na superfície do solo, quando detectado temperatura acima de 47 °C e área mínima de 900 m². Atualmente, as informações são disponibilizadas operacionalmente aos usuários cerca de 20 minutos após as passagens dos satélites (INPE, 2020).

Modelo digital de Terreno: É uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Dentre alguns usos do MNT pode-se citar: Armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos; análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens, elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia e erodibilidade, análise de variáveis geofísicas e geoquímicas; apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis). (Burrough, 1986).

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta revisão de literatura buscou-se descrever, com base em consultas bibliográficas e documentais, os principais conceitos que norteiam a situação fenomenológica de incêndio florestal, apresentando as principais ferramentas disponíveis para a execução das atividades de investigação.

Desta forma, a revisão foi construída a partir de quatro focos de conhecimento, sendo eles: a abordagem das técnicas utilizadas pelo sistema de informação geográfica em conjunto com suas tecnologias; a listagem dos principais bancos de dados de SIG; a análise das variáveis que influenciam o comportamento dos incêndios florestais com uma interface cunhada no geoprocessamento; e por fim, a definição dos principais conceitos e atividades do serviço de investigação de incêndio.

2.1 Sistema de informação geográfica e suas tecnologias

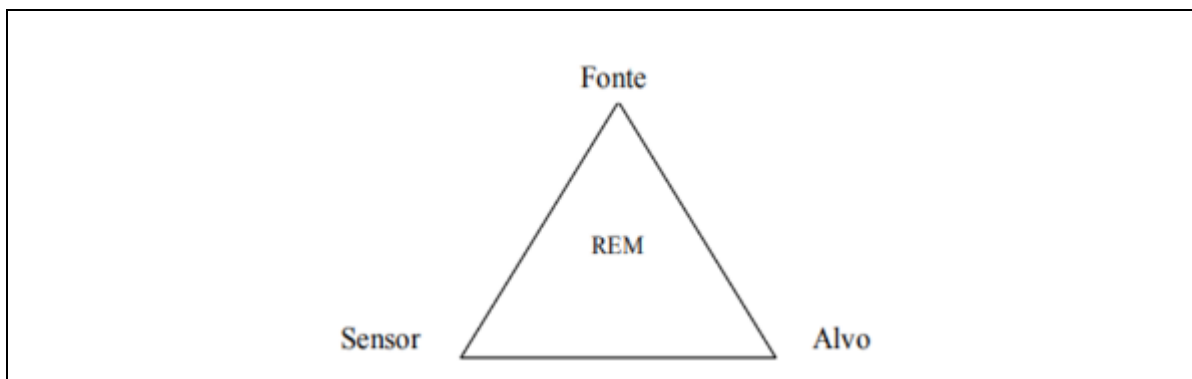
2.1.1 Princípios Físicos

Inicialmente, para o desenvolvimento das potencialidades provindas das geotecnologias, é necessária uma familiarização com as variáveis dependentes e independentes incluídas no processo de aquisição de dados oriundos do sensoriamento remoto.

A definição clássica do termo Sensoriamento Remoto (SR) refere-se a um conjunto de técnicas destinado à obtenção de informação sobre objetos, sem que haja contato físico com eles (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

Para melhor interpretação das definições acima mencionadas, Novo (2001) traz em sua obra a imagem abaixo contendo a relação entre os elementos fundamentais do sensoriamento remoto.

Figura 2 - Elementos fundamentais do sensoriamento remoto



Fonte: Novo, 2001.

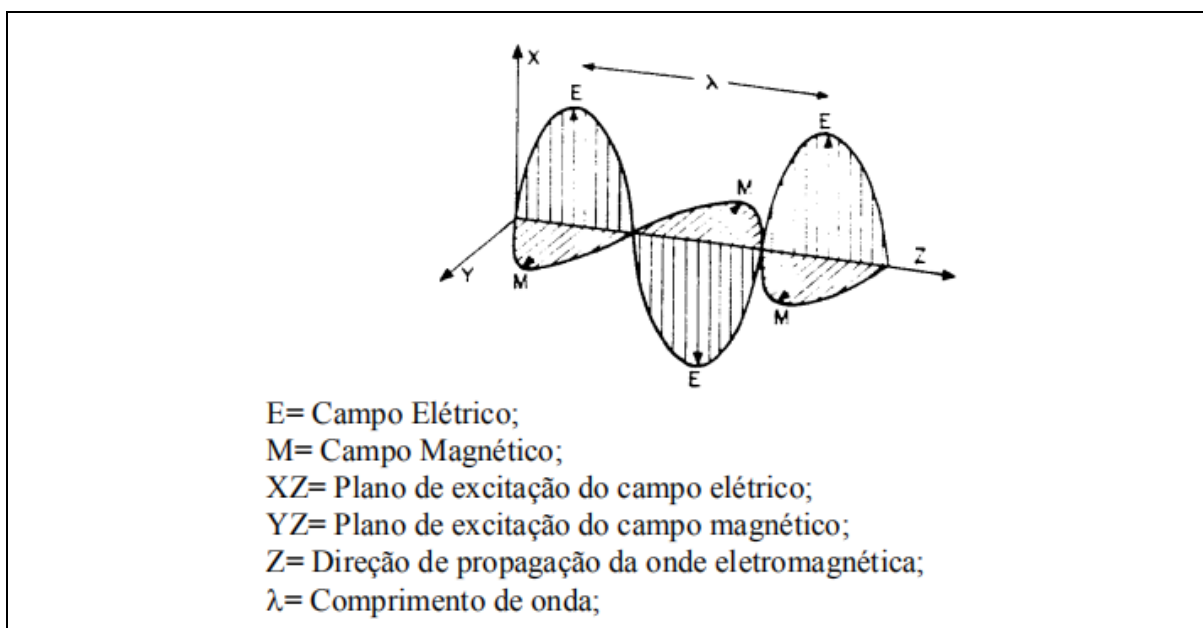
Segundo o autor, no centro do triângulo encontra-se a Radiação Eletromagnética (REM), realizando o papel de ligação entre todos os outros elementos posicionados nos vértices. Em um caso prático, a referência menciona que a REM provinda do Sol interage através dos processos físicos de reflexão, absorção e transmissão com os alvos, objetos a serem estudados e chegam aos sensores responsáveis por coletar e registrar a fração da REM refletida ou emitida pelo determinado alvo.

É neste ponto que o uso dos SIG deve passar obrigatoriamente pela habilidade de ler tais sistemas de informações (MENESES, ALMEIDA, 2012).

Para o leitor, é essencial que, antes do aprofundamento das técnicas propriamente ditas de processamento de imagens, o mesmo deve entender os “fundamentos de sensoriamento remoto e descrições dos tipos de sensores que operam nas faixas espectrais do visível às micro-ondas” (MENESES, ALMEIDA, 2012, n.p).

A propagação e interação da REM com os alvos a serem estudados podem ser analisados sob duas perspectivas no campo da Física. Para Eisberg e Resnick (1979), a REM pode ser interpretada pela perspectiva quântica, sendo concebida por pacotes de energia, e pela perspectiva ondulatória, obedecendo os fenômenos formados pela oscilação dos campos elétricos e magnéticos, reiterando os fenômenos ondulatórios clássicos. O modelo esquemático da perspectiva ondulatória a qual será adotada neste trabalho é representada na figura abaixo:

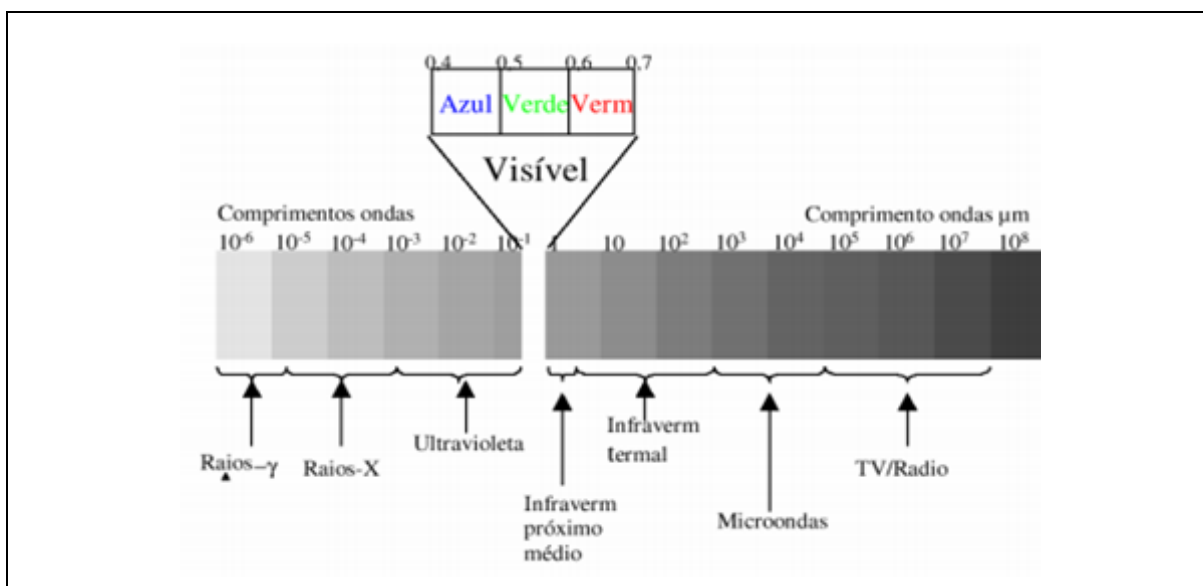
Figura 3 - Representação dos campos elétrico e magnético da REM



Fonte: Novo, 1998.

Na exploração do modelo ondulatório clássico feito pelo físico alemão Heinrich Hertz em 1888, a REM foi caracterizada em comprimentos de onda que representam a distância entre dois pontos de igual intensidade dos campos elétrico e magnético. A junção dos comprimentos de onda que compõem a REM ficou conhecido como o espectro eletromagnético, e por questões didáticas, foi dividido conforme a figura abaixo, em regiões espectrais bem características.

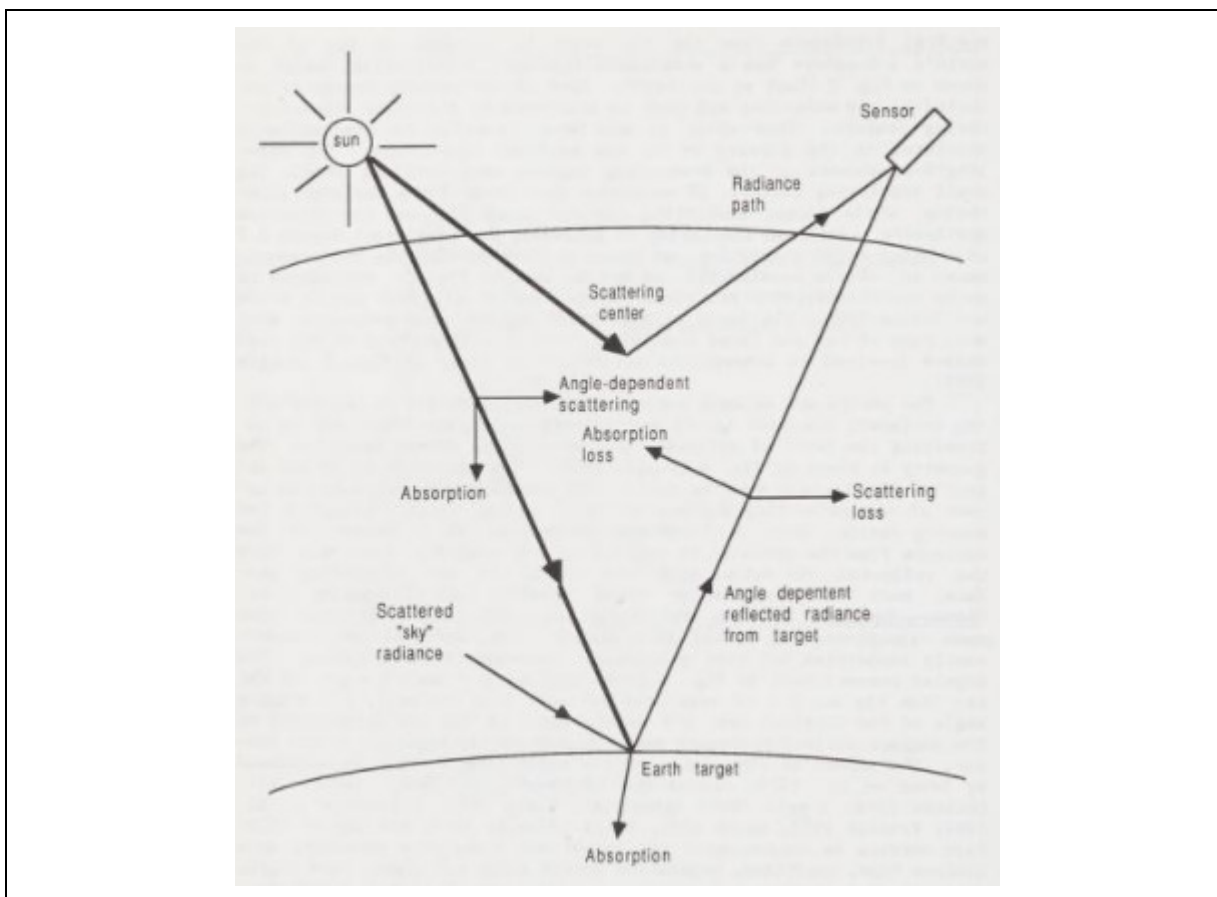
Figura 4 – Espectro Eletromagnético



Fonte: Figueiredo, 2005.

Desta forma, segundo Ponzonni (2007), no momento da interação de uma REM com um alvo (objeto de estudo), ela sofre três fenômenos: reflexão, transmissão e absorção. A caracterização dos resultados destes fenômenos combinados irá depender das características inerentes de cada alvo. A imagem abaixo ilustra essa interação.

Figura 5 - Interação da REM com alvos



Fonte: Duggin, 1986.

2.1.2 Características dos dados geográficos

A interação entre os sensores e os objetos estudados se dá através da radiação eletromagnética, como foi visto no tópico acima. Estas interações resultam em diversos processos físicos que ao longo do tempo foram identificados e definidos para uma melhor exposição didática dos fenômenos que envolvem o Sensoriamento Remoto e suas tecnologias.

A exemplo de alguns conceitos, temos a reflectância, que segundo Menezes e Almeida (2012, p. 23), “é a razão entre a quantidade de energia radiante que deixa

uma unidade de área no terreno (Radiância) pela quantidade de energia incidente naquela área (Irradiância), medida no mesmo instante de tempo.”

Seguindo a referência mencionada, a irradiância e radiância são fluxos de energia de mesma dimensionalidade, o que resulta em uma expressão matemática para descrever a reflectância em um resultado adimensional. Ela pode ser descrita pela expressão abaixo.

$$\rho_{\lambda}(\%) = \frac{L_{\lambda}}{E_{\lambda}} \quad (1)$$

Na Equação 1, ρ_{λ} é reflêctância com fator multiplicado em percentagem, L_{λ} a radiância que deixa o alvo, e E_{λ} a irradiância recebida pelo alvo.

De acordo com Meneses e Almeida (2012), os sensores imageadores que estão dispostos nos satélites não aferem a irradiância solar, o que resulta em uma representação digital dos valores da radiância, e não em uma imagem de reflectância.

Assim, quando se trabalha com análises de imagens produzidas por sensores, é necessário converter a representação digital mencionada anteriormente em valores físicos de reflectância. Desta forma, para se chegar aos resultados físicos desejados para a análise de imagens digitais, deve-se aplicar algoritmos de complexas formulações matemáticas, possibilitando assim a realização desta conversão (SANTOS, *et al.*, 2014).

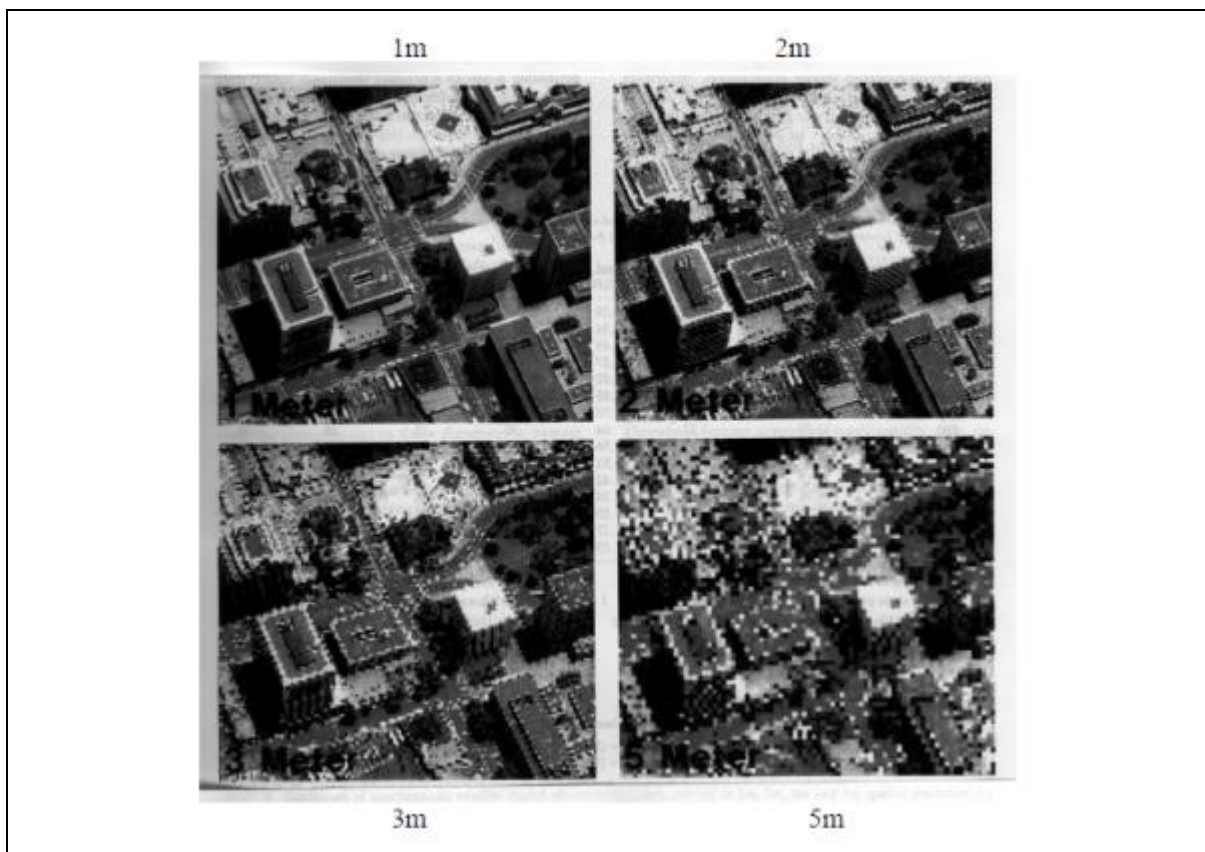
Porém, Menezes e Almeida (2012) ainda comentam que para a grande parte das aplicações do sensoriamento remoto e das técnicas de processamento de imagens, podem ser usados os dados no formato digital, pois são representações bem próximas da reflectância.

No estudo do sensoriamento remoto e suas aplicações, duas questões estão sempre presentes. Uma está relacionada a qual a melhor resolução de imagem para identificar os alvos de interesse, e a outra refere-se a qual escala é a mais adequada para representar o estudo (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

Desta forma, é importante entender os conceitos relacionados às resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais por trás dos dados provindos do sensoriamento remoto.

De acordo com Barbosa *et al.* (2019), a resolução espacial representa o tamanho da menor área da superfície terrestre representada em uma imagem, que por sua vez pode ser representada pelo tamanho do pixel. Na figura abaixo, pode-se observar a diferença entre uma mesma região terrestre sob a perspectiva de quatro imagens com resoluções espaciais de 1, 2, 3 e 5 metros respectivamente.

Figura 6 - Diferenças de resoluções espaciais



Fonte: Jensen, 1995, p.9.

Já a resolução radiométrica, de acordo com Barbosa *et al.* (2019), está associada à capacidade de um sensor de distinguir determinadas variações de intensidade de energia da REM, sendo expressa de forma quantizada pelo número de bits.

A exemplo, segue a figura abaixo, com duas imagens capturadas com diferentes sensibilidades, uma com 8 bits e outra com 1 bit.

Figura 7 – Diferenças em resoluções radiométricas



Fonte: Marques Filho e Vieira Neto, 1999.

“Em geral, 64 níveis de cinza são considerados suficientes para o olho humano. Apesar disto, a maioria dos sistemas de visão artificial utiliza imagens com 256 níveis de cinza” (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999, p. 25).

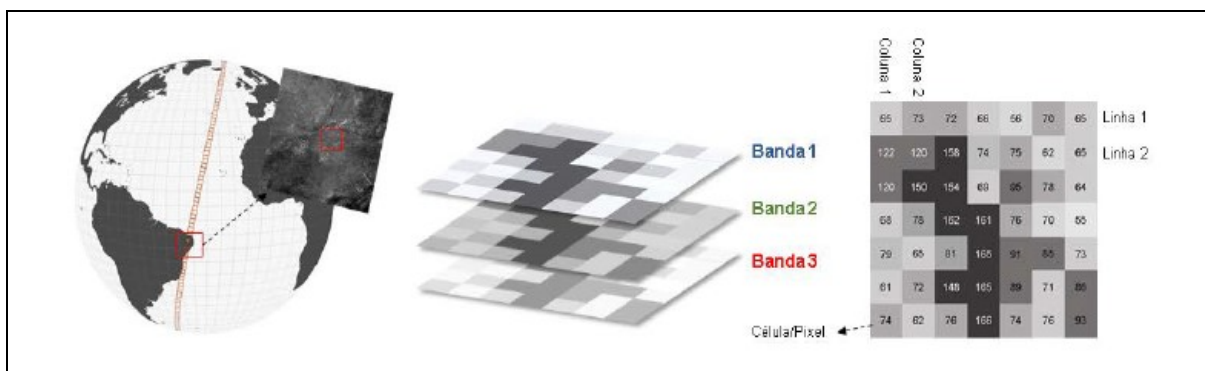
A resolução espectral “é definida pelo número e pelo intervalo espectral de bandas em que o sensor opera” (BARBOSA *et al.*, 2019, p.117). Ainda de acordo com autor, quanto maior a resolução espectral, melhor é a possibilidade de identificar pequenos alvos de estudo.

A resolução temporal é caracterizada pelo tempo que um sensor orbital leva para realizar uma revisita em um mesmo local, sendo influenciada diretamente pela largura da faixa imageadora e pela órbita em que está inserida, segundo Barbosa *et al.* (2019).

2.1.3 Processamento de dados matriciais

Marques Filho e Vieira Neto (1999) afirmam que uma imagem digital monocromática pode ser descrita por uma função matemática cuja variável dependente expressa o resultado de uma intensidade luminosa em tons de cinza distribuída em um espaço cartesiano bidimensional, em que a linha (x) e coluna (y) identificam um ponto na imagem. Uma exemplificação deste modelo é ilustrada abaixo, com a sequência de sensoriamento e registro da imagem, aquisição da imagem em um banco de dados e visualização a imagem com representação matricial em números digitais.

Figura 8 – Modelo matricial da imagem



Fonte: Barbosa, 2019, p.124.

A discretização da intensidade luminosa é uma função $f(x,y)$ que pode assumir valores na faixa de 0 a $2^n - 1$, sendo que os valores de n expressam a quantidade de níveis de cinza presentes em uma imagem digital, assim quanto maior o valor de n mais tons de cinza a imagem terá (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999)

2.1.3.1 Georreferenciamento

Ao se trabalhar com os dados captados pelos sensores orbitais existe a necessidade de realizar transformações matemáticas nos dados para adequá-los à localidade de origem de onde as informações foram registradas.

O georreferenciamento de um dado consiste em “tornar suas coordenadas conhecidas num dado sistema de referência” (MENEZES, ALMEIDA, 2012). Assim, a finalidade deste processamento é inserir um sistema de projeção de coordenadas.

De acordo com o Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, foi atribuído a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia – IBGE, a responsabilidade de estabelecer os referenciais planimétricos e altimétricos no âmbito do território brasileiro, consequência da redação dada pelo Decreto nº 5.334 de 2005.

Assim, o IBGE, por meio de uma Resolução Presidencial nº 1/2005, estabeleceu:

Como novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geográfico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS 2000). (IBGE, 2005).

Nesse sentido ficou definido que o Brasil adota desde 2005 o sistema de referência cartográfico para a produção de dados oficiais geoespacializados o SIRGAS 2000.

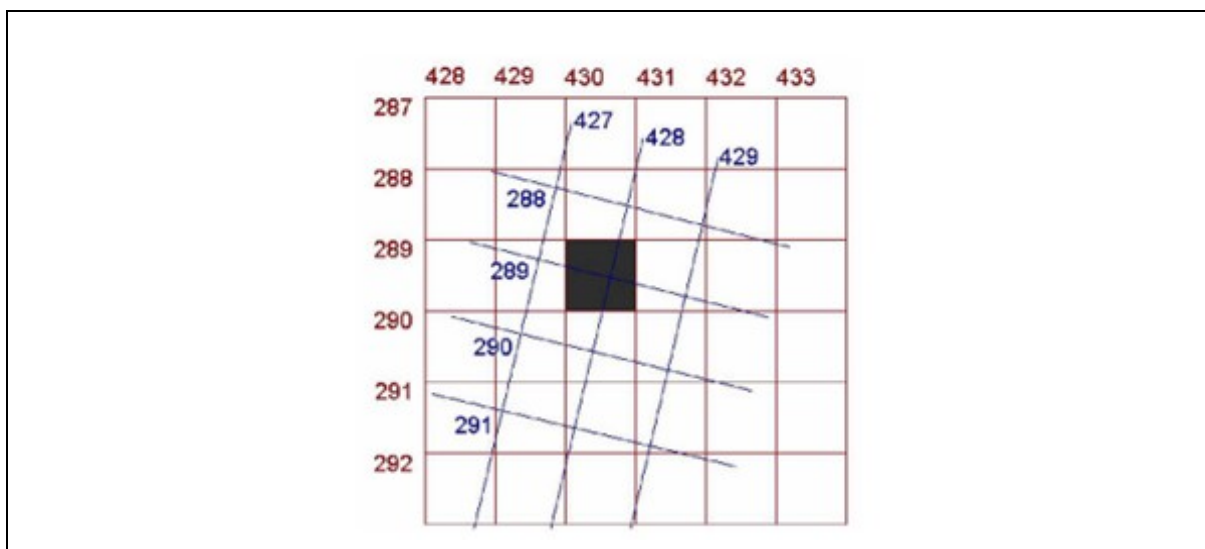
2.1.3.2 Reamostragem

As consequências das transformações relacionadas ao georreferenciamento de imagens comentados no item anterior retomam a ideia que a imagem assume uma nova configuração no espaço. Este fato traz à tona que os pixels digitais passam a ocupar lugares diferentes na imagem como um todo.

De acordo com Brito e Coelho (2002), a reamostragem é um processo essencial após uma transformação geométrica, pois é necessária para que os novos pixels tenham sua coordenada adequada por estarem em tal posição.

A imagem abaixo traz uma representação teórica do problema da reamostragem em compatibilizar a radiometria da imagem original para uma nova distribuição de pixels.

Figura 9 – Reamostragem



Fonte: Brito e Coelho, 2002.

O processo de reamostragem é realizado com auxílio de diversos algoritmos. Neste procedimento são inseridas informações de cada pixel seguido, interpolando

estatisticamente para definir os novos valores para cada pixel, informações estas que irão compor a nova imagem (BRYs, 2008).

2.1.3.3 Operações com Imagens Matriciais

O acesso às imagens orbitais é feito, na grande parte das vezes, por meio de imagens matriciais brutas com valores de cada pixel, podendo ser descritas por uma função matemática com variável dependente expressa pelo resultado da energia da intensidade luminosa alocado no espaço bidimensional (Santos *et al.*, 2010).

No âmbito dos estudos realizados nos SIG, existem as operações aritméticas entre imagens digitais. Essas operações são realizadas "pixel" a "pixel", por uma regra matemática definida, tendo como resultado uma nova imagem fruto das originais (Santos *et al.*, 2010).

Todo o campo matemático desenvolvido atualmente pode ser aplicado nestas operações, porém “as operações mais comuns são a soma, subtração, divisão (ou razão entre bandas) e a multiplicação de uma banda por uma constante (realce linear), (Santos *et al.*, 2010).

De acordo com o manual do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de forma geral, as operações têm como objetivo realizar realces entre imagens captadas por sensores diferentes, assim como a identificação de diferentes tipos de vegetação, ou de tipos de solo, desmatamento e concentração urbana, dentre outras análises.

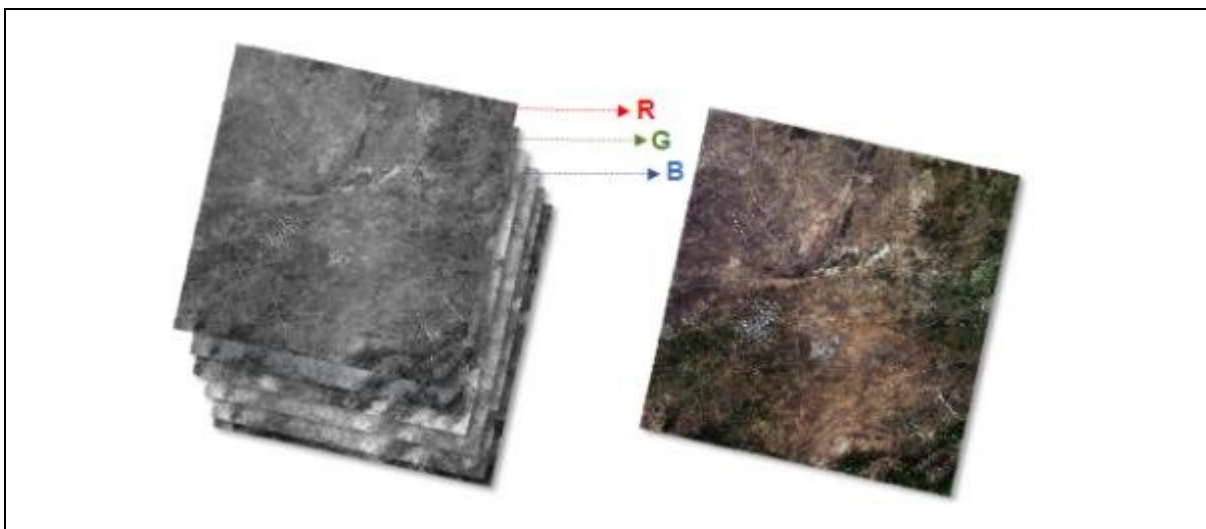
2.1.3.4 Fusão e composição

O uso de imagens de sensoriamento remoto ao invés de fotografias aéreas pode facilitar a análise dos objetos estudados com detalhes amostrais devido aos diferentes sensores utilizados no registro de uma cena (REZENDE, 2000).

A composição de imagens resulta no processo de associar cada imagem a um canal de cores primárias *Red-Green-Blue* (RGB) no SIG, que combinadas, geram produtos distintos para evidenciar um determinado estudo.

Abaixo segue uma figura que exemplifica uma composição colorida RGB de um produto gerado por imagens monocromáticas, resultando em uma imagem multiespectral colorida.

Figura 10 – Composição de imagens nos canais RGB



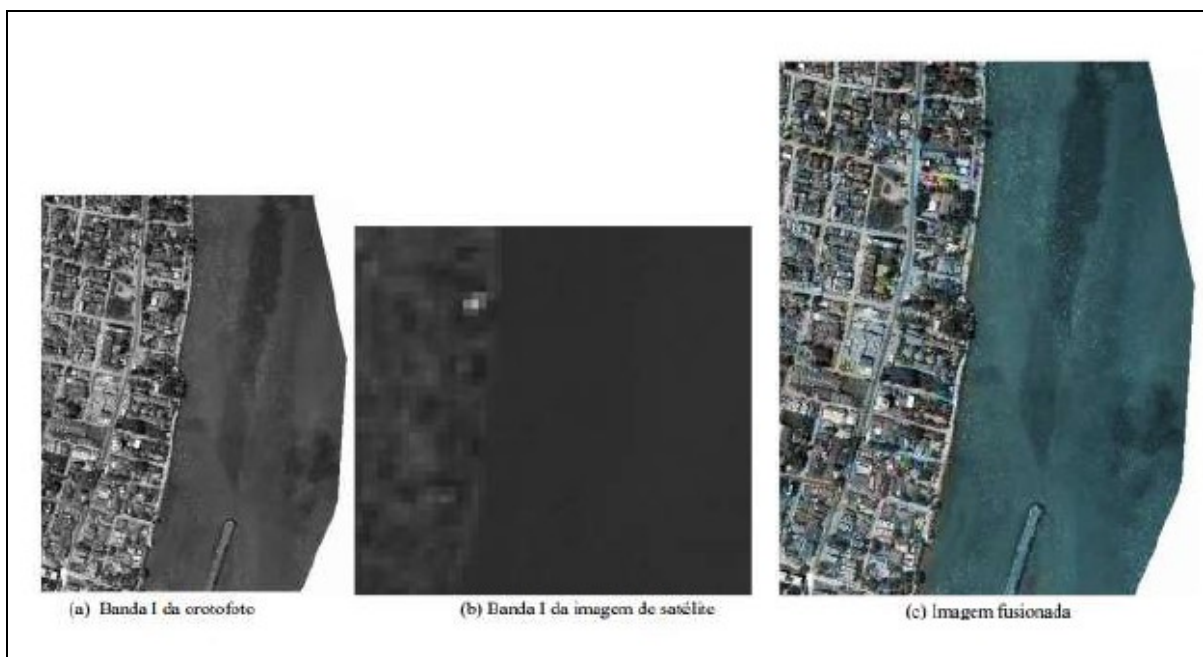
Fonte: Barbosa *et al.*, 2019.

De acordo com Silva *et al.* (2012), as técnicas de fusão de imagens são procedimentos realizados dentro de um ambiente SIG com objetivo de melhorar a qualidade das imagens multiespectrais, incluindo na análise imagens pancromáticas de alta resolução espacial.

O resultado desta técnica é uma imagem híbrida com alta resolução espacial e apoiado aos resultados espectrais da multiespectral (LIMA *et al.*, 2015).

A imagem abaixo ilustra o resultado de Silva *et al.* (2012), utilizando a técnica de fusão de imagem pelo método de coloração Intensidade-Matiz-Saturação (IHS) descrito por Schetselaar (1998).

Figura 11 – Fusão de imagens na pelo método RGB-IHS



Fonte: Silva et. al., 2012.

Para Soares *et al.* (2015), o processo de fusão de imagens de sensoriamento remoto pode ser efetuado com bandas de sensores diferentes, com o intuito de melhorar a qualidade das imagens em estudo.

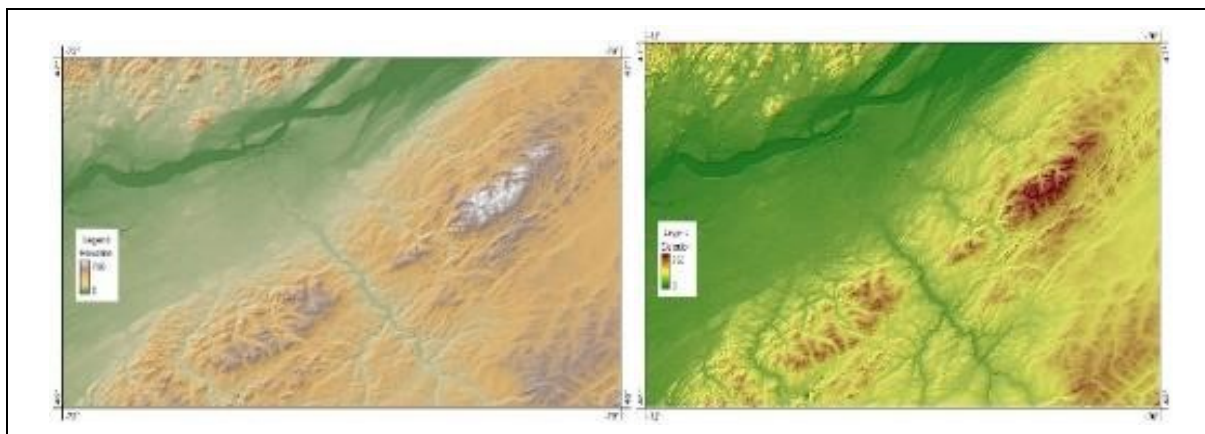
2.1.3.5 Simbologia

A representação de uma imagem resultante do sensoriamento remoto ou de uma camada vetorial dentro de um *software* de SIG pode ser feita de diversas maneiras e com infinitas possibilidades.

A escolha do estilo de visualização de um raster irá variar de acordo com atividade que se esteja trabalhando. Conforme o Manual de Treinamento do *software* QGIS (2020), a simbologia de mapa de cores, por exemplo, é a mais indicada para Modelos Digitais de Terreno (MDT). Já para o estudo com um raster composto em sua origem por mais de uma banda espectral a paleta multi-banda é a mais indicada.

Segue abaixo a mesma imagem com dois tipos de aplicação de paleta de cores.

Figura 12 – Diferentes paletas de cores aplicado a um MDT



Fonte: QASTACK, 2020.

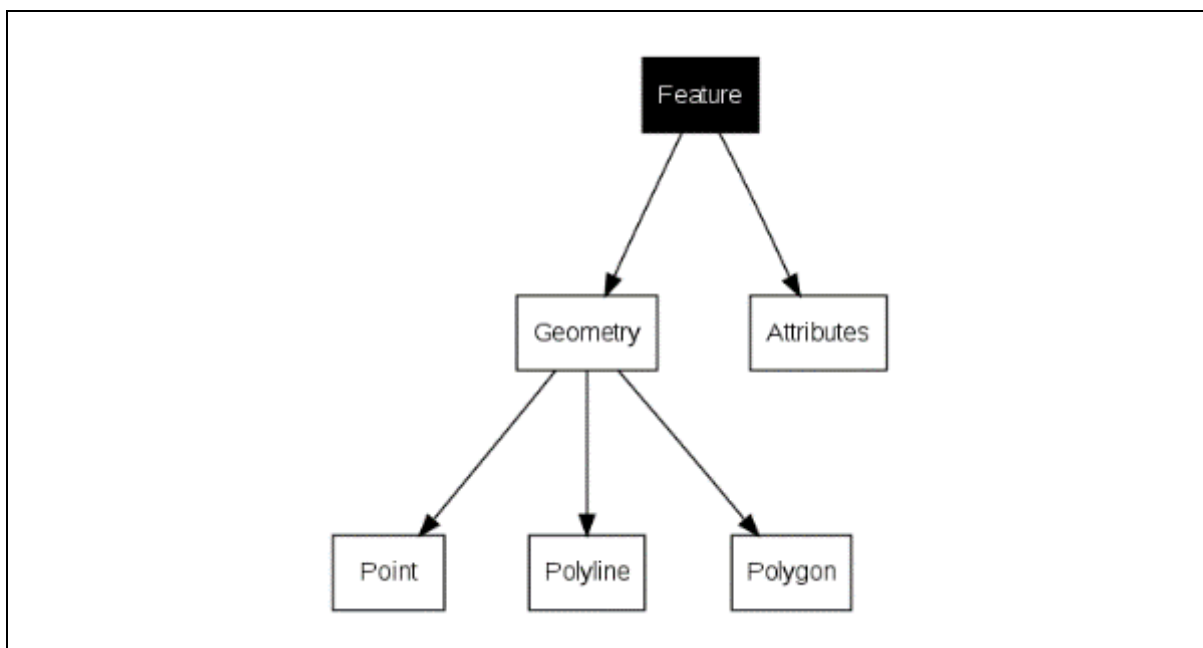
De acordo com site referenciado acima, tem-se que a primeira foto é uma boa opção para ampliar a variedade de terrenos, já a paleta de cores escolhida na segunda é mais apropriada para renderizar escalas menores, tal como um atlas.

2.1.4 Processamento de dados vetoriais

Segundo (Santos *et al.*, 2010), pontos, linhas e polígonos são os elementos que permitem a um vetor representar os dados da forma mais acurada, pois de posse de suas coordenadas geográficas, possibilitam a descrição exata de posição, tamanho e dimensão.

Uma camada vetorial nas aplicações de SIG é utilizada para representar ou delimitar regiões no espaço, assim, todo arquivo vetorial possui características que são apresentadas em uma tabela de atributos. Nos aplicativos de SIG, um vetor com qualidade de ponto pode, por exemplo representar um local bem definido, enquanto uma linha pode representar um curso d'água (QGIS, 2020).

Generalizando as informações acima, tem-se a figura abaixo, ilustrando a características intrínsecas de uma camada vetorial.

Figura 13 – Elementos de uma camada vetorial

Fonte: QGIS, 2020.

De forma resumida, um arquivo vetorial necessariamente deve se enquadrar em uma geometria de ponto, linha ou polígono, uma tabela de atributos com informações de suas feições e uma localização no espaço.

2.1.4.1 Tabela de atributos

Uma camada vetorial possui uma tabela de atributos associada, que pode ser interpretada como uma tabela de linhas e colunas. Conforme o Manual de Treinamento do QGIS, cada linha da tabela representa uma feição (com ou sem geometria), e cada coluna contém uma informação específica sobre a feição, sendo assim, as feições da tabela podem ser selecionadas, movidas, pesquisadas ou mesmo editadas.

2.1.4.2 Calculadora de feições/campo

A tabela de atributos de um arquivo vetorial pode ser editada facilmente em um aplicativo de SIG, gerando assim informações adjacentes a uma determinada feição, podendo por exemplo calcular área ou perímetros de um polígono representado em determinado estudo (QGIS, 2020).

Assim, esta funcionalidade do SIG permite ao usuário quantificar variáveis e feições a partir de dados brutos de um arquivo vetorial, aplicando a diversidade de produtos e informações que podem ser geradas.

Vale salientar que existem no ambiente da computação diversos tipos de linguagem de programação, e que o *software* QGIS utiliza a linguagem *Python*.

2.1.4.3 Processamento

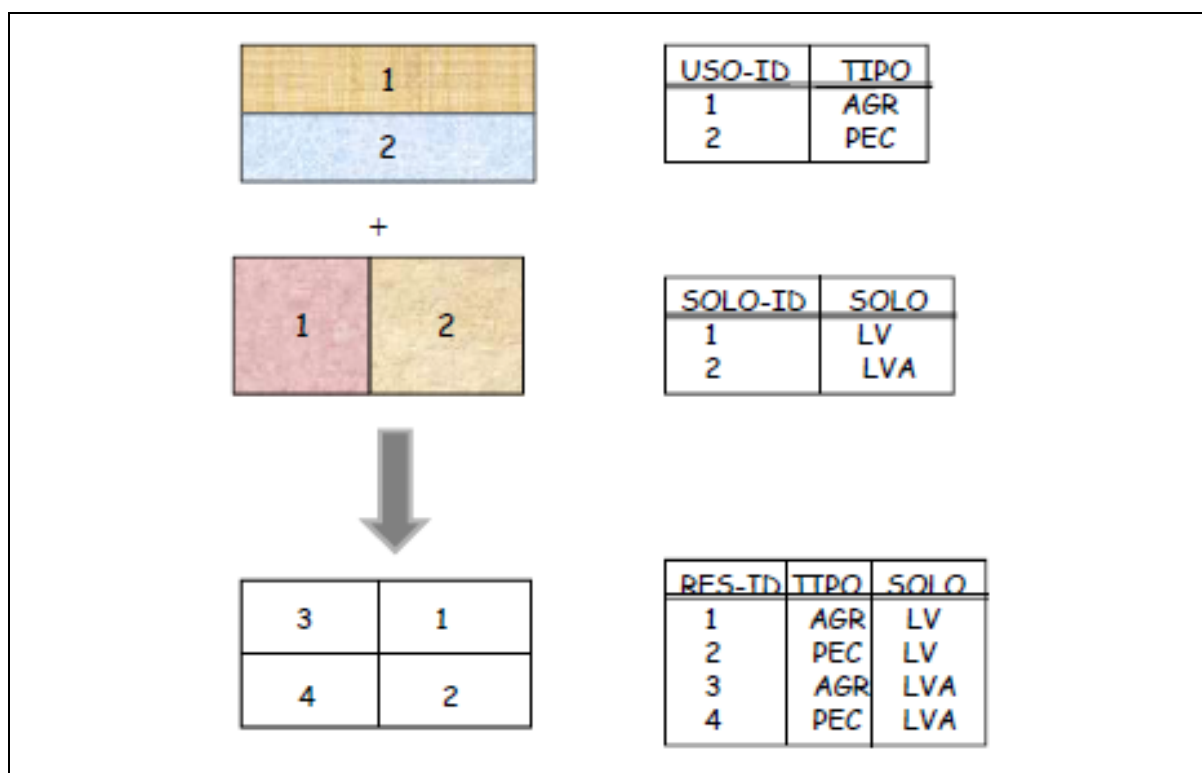
Em *software* de SIG é possível sobrepor e visualizar vários temas ao mesmo tempo. Este processo é chamado de *overplot*, pois consiste no desenho de uma camada sobre a outra. Um exemplo disso é o desenho da camada de estradas sobre a camada de mapeamento de solos (GVSIG, 2020).

Conforme o manual do *software* Gvsig, ao realizar o procedimento acima no ambiente de SIG, normalmente é preciso efetuar a quantificação do comprimento da estrada que passa por um determinado tipo de solo. Para que isto seja feito, é necessária uma operação conhecida como *overlay* topológico.

Um *overlay* topológico junta dados de temas separados, criando novas feições gráficas e documentando as relações entre estas feições, para conduzir análises espaciais e tabulares sobre dados de múltiplos temas, criando informações topológicas dos dois temas (GVSIG, 2020).

A figura abaixo ilustra o procedimento envolvido na operação de *overlay* topológico.

Figura 14 - Overlay Topológico de camadas vetoriais



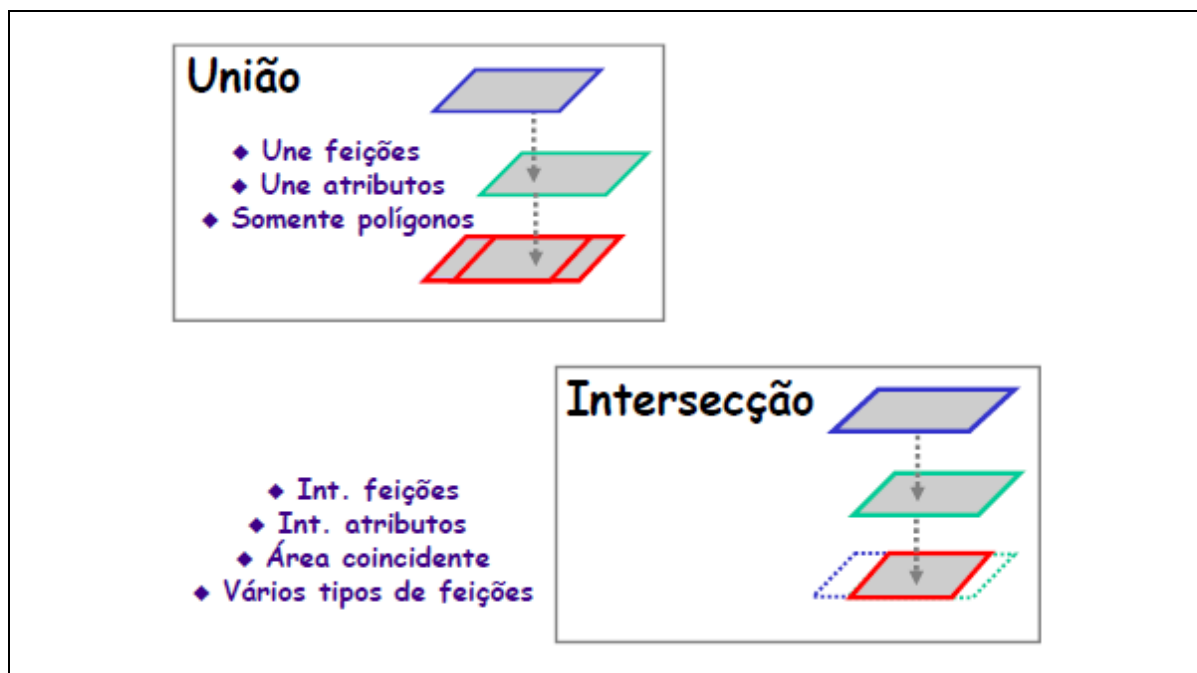
Fonte: GVSIG, 2020.

A união de duas camadas vetoriais é um tipo de *overlay* topográfico, e se caracteriza por combinar feições de dois polígonos, para criar um novo polígono que terá também a soma dos atributos de cada feição (GVSIG, 2020).

Já na intersecção de camadas vetoriais, a operação mescla feições e atributos das duas camadas que compartilham a mesma extensão geográfica em uma terceira camada. É possível realizar intersecção de pontos, linhas ou polígonos com outro camada de polígonos, e o dado de saída irá conter o mesmo tipo de feição da camada de entrada, bem como o conjunto de atributos. (GVSIG, 2020).

A imagem abaixo ilustra estas operações de união e intersecção de camada vetorial.

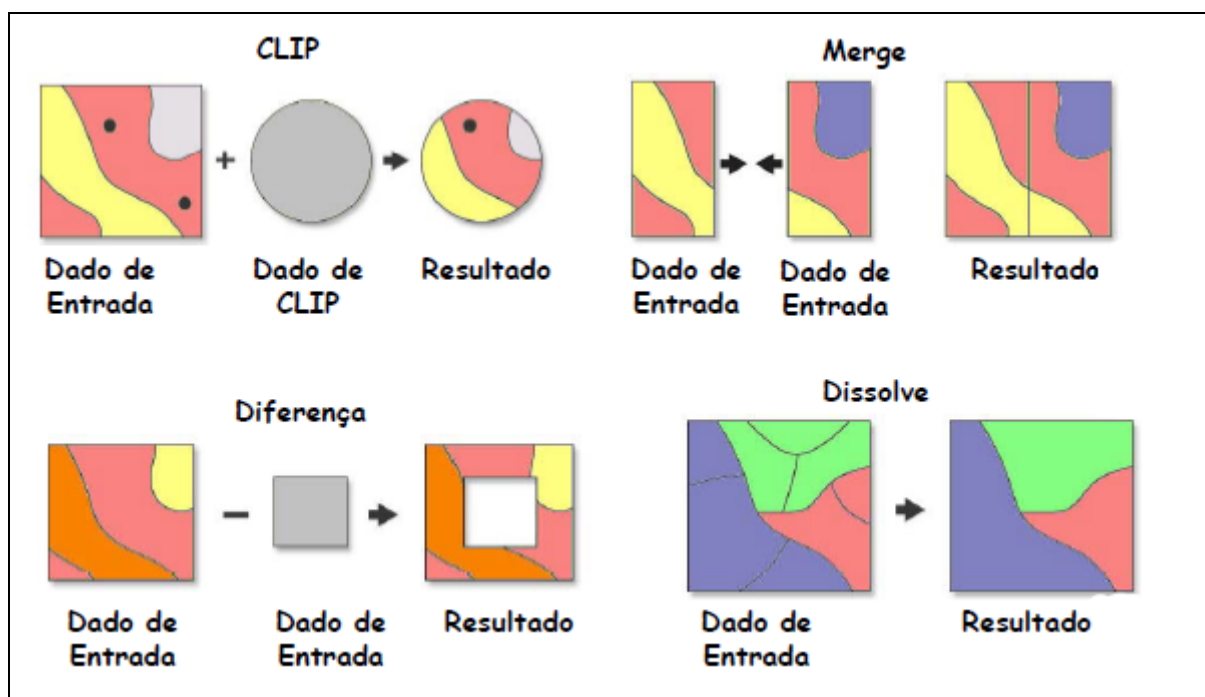
Figura 15 – Operação de união e intersecção de camadas



Fonte: GVSIG, 2020.

Além das operações de *overlay* apresentadas acima, outras podem ser citadas, tais como: *clip*, *merge*, diferença e dissolução. A imagem a seguir demonstra estas operações de forma gráfica intuitiva.

Figura 16 – Overlay mais comuns de camadas vetoriais



Fonte: GVSIG, 2020.

Alguns *softwares* podem trazer nomenclaturas diferentes para cada uma dessas operações, porém o analista deve ter em mente a sua lógica e adequá-las a cada tipo de estudo a ser realizado.

2.1.5 Interface entre dados matriciais e vetoriais

Até esta etapa os dados matriciais e vetoriais foram abordados de forma independente, porém a interface entre estes dados é o grande cerne na geração de conhecimento, pois os produtos gerados no processamento destes dados são mais complexos e mais ricos, devido à junção de informações.

A interação entre estes tipos de dados é feita através de aplicativos de SIG, e cada qual possui suas características, no quesito de utilização de algoritmos de processamento. Adiante, serão elencados os principais métodos de processamento disponíveis nos *softwares* atuais, que podem ser utilizados de forma livre e gratuita.

2.1.5.1 Vetorização

De acordo com o Manual do Treinamento do QGIS, a vetorização de um dado matricial consiste na técnica de transformar uma imagem matricial em um dado vetorial. Em nossa discussão de dados vetoriais, explicamos que muitas vezes dados raster são usados como uma camada de pano de fundo, que é usado como uma base a partir do qual as feições vetoriais podem ser digitalizadas.

Ainda de acordo com manual, os *softwares* de SIG identificam algumas feições semelhantes e bem destacadas de uma dada imagem e então procuram por mudanças abruptas na coloração dos pixels e criam um novo arquivo vetorial como resultado.

2.1.5.2 Rasterização

O procedimento de transformar a representação de um arquivo vetorial em um arquivo matricial é conhecido como rasterização, e é utilizado quando se necessita compartilhar dados importantes desenvolvidos no ambiente de SIG com usuários

externos a essa ferramenta, permitindo sua visualização em um *software* comum de leitura de imagem para serem trabalhados em ferramentas externas (QGIS, 2020).

Estas transformações, apesar de terem um efeito didático na divulgação e leitura, trazem consigo a desvantagem da perda dos dados contidos na tabela de atribuídos das camadas vetoriais, (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

2.1.5.3 Modelo Digital de Terreno (MDT)

“O modelo digital de terreno é uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno, vinculada a uma superfície real” (CAMARA *et al.*, 1995).

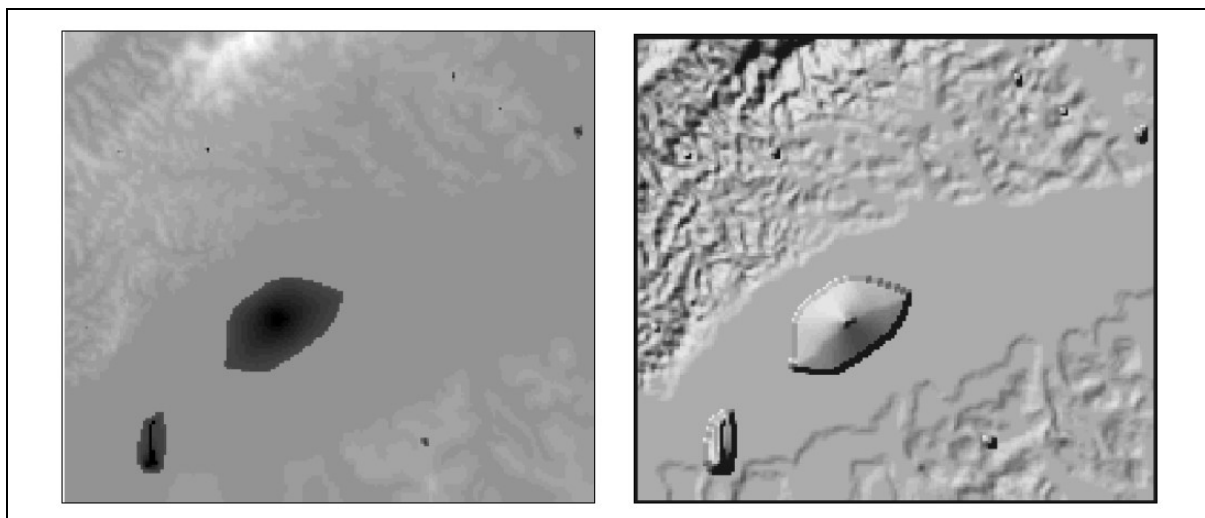
De acordo com Burrough (1986), a aplicação do MDT pode ser exemplificada na elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia, erodibilidade e cálculos de volume.

De acordo com Menezes e Almeida (2012), o Brasil passa pelo risco de ter suas cartas topográficas desatualizadas devido à falta de investimentos e do alto custo para a coleta de dados altimétricos através de sensores aéreos.

Para os autores, a utilização dos dados gerados pelos sensores orbitais são uma boa alternativa para a atualização do levantamento, tendo em vista que este processo, além de mais rápido, possui um custo 30% menor que o citado no parágrafo anterior.

A imagem abaixo foi retirada do artigo científico sobre *Análises sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambientes de Sistema Informações Geográfica*, e ilustra o sombreamento realizado em uma amostra para a geração de um MDT a partir de uma imagem em tons de cinza.

Figura 17 – Exemplo de um MDT



Fonte: Felgueiras, 1997.

Modelo de grade regular representado como: (a) uma imagem em nível de cinza e; (b) uma imagem sombreada.

Observa-se que a inclusão de uma variável altimétrica em uma imagem matricial, além de processamentos realizados no ambiente de SIG, gerou uma percepção de realismo e de diferenciação de texturas em uma superfície terrestre.

Para Felgueiras (1997), a modelagem digital de terreno é importante na geração de relatórios de impacto ambientais de uma região de interesse.

2.1.5.4 Classificação de imagens

O sensoriamento remoto tem como um dos focos a extração de informações contidas nas respostas dos alvos que interagem com a REM, e sua consequente interpretação através tabelas, gráficos ou mapas.

Menezes e Almeida (2012), em sua literatura, comentam que a classificação de imagens é um processo de associar os pixels de uma imagem a uma quantidade finita de classe que representem alvos do mundo real, de acordo com suas respostas digitais. Normalmente, um determinado conjunto de dados é avaliado por medidas estatísticas, e por fim, associado a uma classe definida pelo manipulador da imagem.

Apesar de haver vários tipos de classificadores, Menezes e Almeida (2012) apontam que a maneira mais comum e adotada entre os usuários de sensoriamento remoto, inclusive utilizada pelos *softwares* comerciais de PDI, distinguem classificadores em supervisionados e não supervisionados.

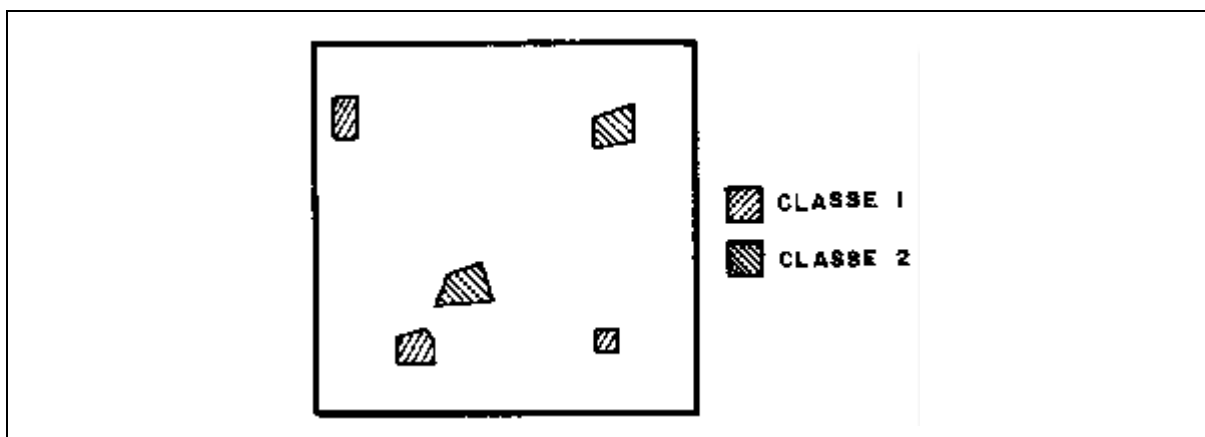
Assim, de acordo com Câmara *et al.* (1996), o primeiro passo no trabalho de classificação de uma imagem é a criação de áreas de interesse através de uma camada vetorial.

2.1.5.5 Classificação Supervisionada

De acordo com Câmara *et al.* (1996), quando o usuário do SIG dispõe de dados que auxiliem a identificação de uma classe de interesse, o treinamento é dito supervisionado, e então é necessário criar feições em uma camada vetorial com rotulação de classes em uma tabela de atributos.

A imagem seguinte exemplifica a tarefa a ser executada no processo de classificação supervisionada.

Figura 18 – Exemplo de seleção de áreas no treinamento supervisionado

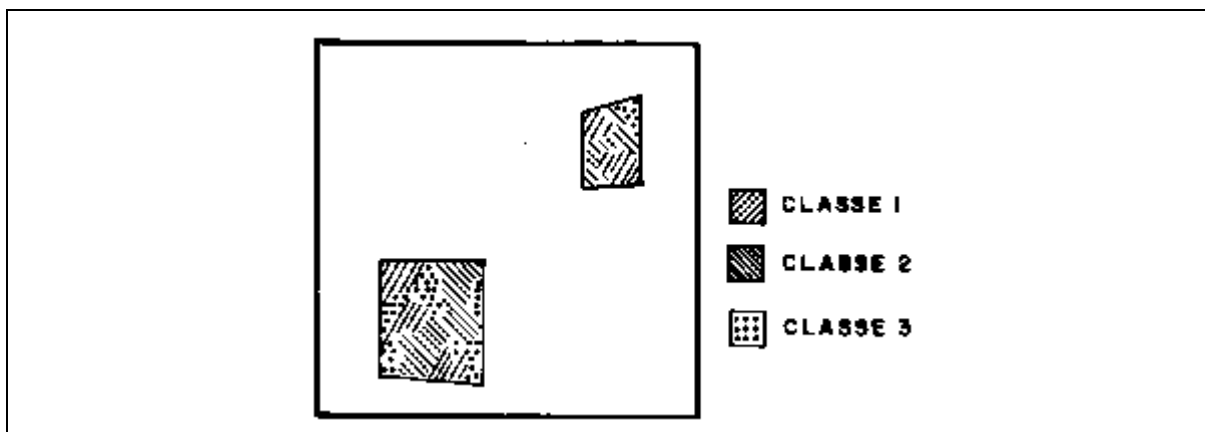


Fonte: Câmara *et al.*, 1996.

Já quando o manipulador da ferramenta de SIG utiliza-se de algoritmos estatísticos para reconhecer as regiões treinamento que posteriormente passarão por um método de classificação o método é dito como não supervisionado (CÂMARA, 1996).

A imagem abaixo caracteriza uma suposta área de treinamento realizada de forma automática por um algoritmo.

Figura 19 – Exemplo de seleção de áreas no treinamento não-supervisionado



Fonte: Câmara *et al*, 1996.

Em ambos métodos de classificação são gerados em paralelo dados estáticos relativos à performance do resultado. Estas informações são de suma importância para o confinamento do processo e na busca de melhores resultados.

De acordo com Ponzoni (2007), a classificação de imagens orbitais permite ao investigador da cobertura do solo diferenciar os alvos estudados com mais precisão e eficiência, permitindo assim contrastar em um mapa diferentes fitofisionomias em uma cobertura de vegetação.

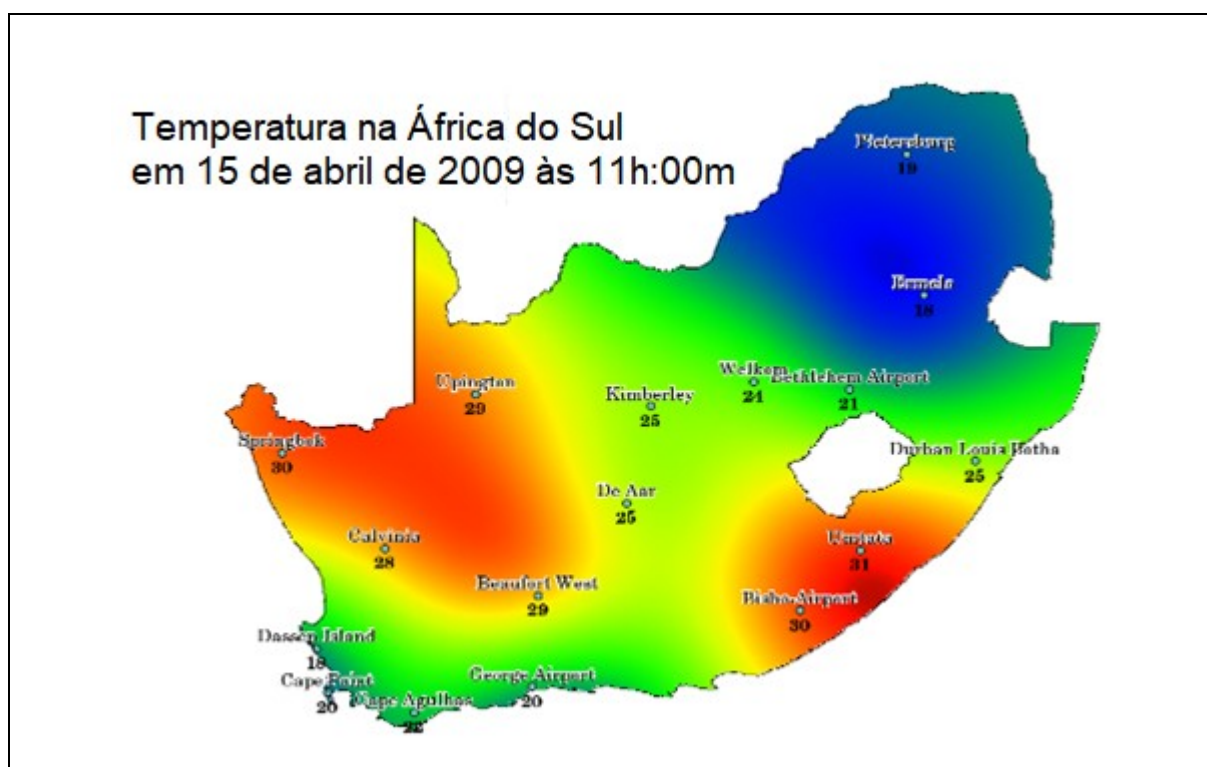
2.1.5.6 Interpolação

De acordo com QGIS (2020), o processo de interpolação espacial é uma técnica utilização no SIG para atribuir valores conhecidos a regiões do espaço para regiões desconhecidas. Exemplo deste procedimento é a criação de mapas temáticos com distribuições de valores de precipitações médias. Neste processo, são utilizados meios estatísticos para conferir ao mapa uma distribuição uniforme de dados. São usados pontos com valores conhecidos para estimar valores em outros pontos desconhecidos.

Este recurso é utilizado em análises com o intuito de reduzir custos, pois para se obter informações de todos os pontos de uma região conhecida haveria a necessidade de implantar muitos equipamentos na área de estudo.

Um exemplo da aplicação desse procedimento é a interpolação de dados de temperaturas de estações meteorológicas ao redor da superfície terrestre, como pode ser observado na imagem abaixo.

Figura 20 – Mapa de temperatura interpolado - África do Sul



Fonte: Manual de Treinamento do QGIS (2019).

É bom salientar que não existe um método único para interpolação, pois há um arcabouço de algoritmos disponíveis para a realização dos trabalhos, e todos eles possuem vantagens e desvantagens, devendo ser analisado qual o tipo de trabalho a ser realizado, e qual se adequará a cada método (QGIS, 2019).

2.2 Principais bancos de dados sensoriamento remoto

Nesta etapa serão apresentados diversos bancos de dados de informações espaciais disponíveis na data de confecção deste trabalho. A atualização destes bancos está em constante aperfeiçoamento e à medida que novas plataformas são lançadas, outras são desativadas, necessitando assim o leitor está atendo as essas evoluções.

2.1.6 Missões orbitais de sensoriamento

As primeiras aplicações de fotografias aéreas como fonte de informação para o mapeamento de formações vegetais nos Estados Unidos da América datam de 1956, e de dois anos seguintes no Brasil, sendo as primeiras fotografias aéreas com o propósito de levantar as características da Bacia Terciária do Vale do Rio Paraíba. Esta aplicação findou com a retificação de seu médio curso entre Jacareí e Cachoeira Paulista, e com a construção do reservatório hidrelétrico de Paraibuna (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

O primeiro sensor orbital da plataforma Landsat, colocado em órbita em 1972, protagonizou o início da prática de lançamentos de satélites de sensoriamento remoto com imagens multiespectrais. A largura da área imageada era de 185 km, com resolução espacial de 76 metros e revisitas de 18 dias, permitindo assim uma visão da superfície terrestre até então inexplorada na época (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

A partir deste marco, centenas de sensores orbitais foram lançados, com os mais variados parâmetros de resolução espectral, radiométrica, espacial e temporal. De acordo com Elachi (1987), para cada tipo de informação a ser obtida, um tipo de sensor se adequará melhor para a descrição.

Sensores de alta resolução espacial tem função de amplo recobrimento do terreno e de imageamento de alvos detalhado. Sensores de média resolução espacial são aplicados a realizarem acompanhamentos vegetativos através de imagens multiespectrais e sensores de baixa resolução, normalmente associadas a tempos de revisitas pequenos são utilizadas em acompanhamento de fenômenos meteorológicos, (NOVO e PONZONI, 2001).

Abaixo é apresentado um quadro de escalas apropriadas para a realização de estudos qualificados, de acordo com a resolução espacial de diversos sensores disponíveis nas plataformas orbitais.

Figura 21 – Quadro de adequação escala e resolução espacial

Escala	Resolução espacial (m)	Sensor
1: <10.000	1	Ikonos pancromático
1: 10.000	2,5	Spot pancromático
1: 20.000	5	Ikonos XS
1: 40.000	10	Spot HRG
1: 75.000	20	CBERS
1: 100.000	30	Landsat (faixa óptica)
1: 200.000	60	Landsat TIR (termal)
1: 350.000	90	Aster TIR (termal)

Fonte: Menezes e Almeida, 2012.

O uso de sistemas orbitais está se tornando uma necessidade em um número grande de disciplinas ligadas às ciências ambientais devido às necessidades de informações globais e sinópticas a pequenos intervalos de revisita. Esses fatores são essenciais para a observação de fenômenos dinâmicos como a atmosfera, os oceanos, e os processos biológicos e biogeoquímicos. (NOVO e PONZONI, 2001, p.14)

Os próximos tópicos serão dedicados à abordagem das principais plataformas orbitais, que trouxeram inúmeros avanços às pesquisas da superfície terrestre e de observações fenomenológicas do globo terrestre.

O foco das abordagens será a descrição histórica das plataformas, bem com as características técnicas dos sensores quanto à resolução espacial, temporal, dentre outras.

2.1.6.1 CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestre

Em 06 de julho de 1988, os governos do Brasil e da China assinaram um acordo envolvendo o INPE e a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST), com o objetivo de desenvolver a construção de dois satélites de sensoriamento remoto, denominado Programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), (EMBRAPA, 2020).

Segue abaixo um quadro com as especificações técnicas dos sensores embarcados na plataforma CEBERS-4A.

Figura 22 - Sensores CBERS-4A

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Temporal	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica	Área Imageada
MUX	B	0,45 - 0,52µm	26 dias	20 m	8 bits	120 km
	G	0,52 - 0,59µm				
	R	0,63 - 0,69µm				
	NIR	0,77 - 0,89µm				

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Temporal	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica	Área Imageada
IRS	PAN	0,50 - 0,90µm	26 dias	40 m	8 bits	120 km
	SWIR	1,55 - 1,75µm				
	SWIR	2,08 - 2,35µm				
	TIR	10,40 - 12,50µm		80m		

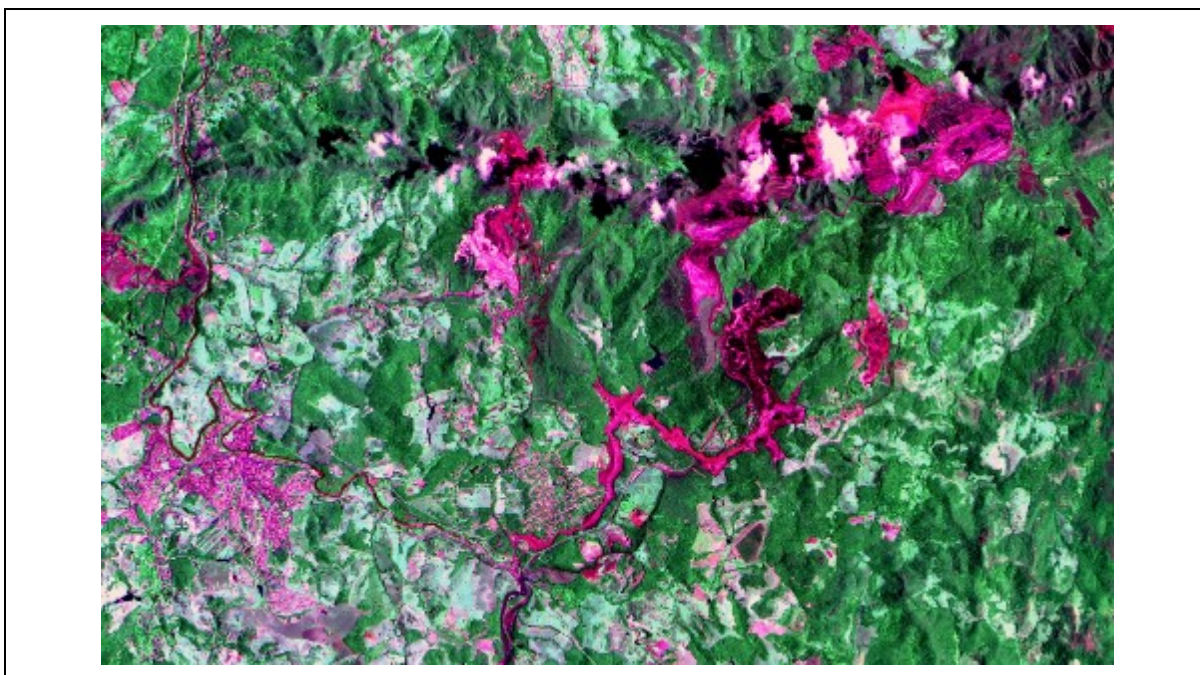
Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Temporal	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica	Área Imageada
PAN	G	0,51 - 0,85µm	52 dias	10 m	8 bits	60 km
	R	0,52 - 0,59µm				
	NIR	0,63 - 0,69µm				
	PAN	0,77 - 0,89µm		5 m		

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Temporal	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica	Área Imageada
WFI (CBERS-3)	B	0,45 - 0,52µm	5 dias	64 m	10 bits	866 km
	G	0,52 - 0,59µm				
	R	0,63 - 0,69µm				
	NIR	0,77 - 0,89µm				

Fonte: EMBRAPA, 2020.

A imagem abaixo foi registrada pelo sensor pancromático (PAN), aplicando o processo de fusão da banda pancromática com a multiespectral, e registrou o desastre na barragem de Brumadinho do ano de 2018.

Figura 23 – Imagem da região de Brumadinho - MG



Fonte: INPE, 2020.

2.1.6.2 TERRA – Earth Observing System (EOS)

A plataforma orbital TERRA, ativa desde 1999, é uma missão multinacional (EUA, Canadá e Japão) denominado Earth Observing System (EOS). De acordo com o portal da Embrapa, a missão desta plataforma é de contribuir para pesquisas sobre a dinâmica do planeta sob os três pilares destacados abaixo:

- a) atmosfera: fluxo de energia radioativa, composição da troposfera, aerossóis, temperatura e a umidade, nebulosidade;
- b) superfície terrestre: mudanças na cobertura e no uso das terras, dinâmica das vegetações, dinâmica da agricultura, temperatura da superfície, ocorrência de queimadas e eventos vulcânicos;
- c) oceanos: temperatura da superfície, o fitoplâncton e a matéria orgânica dissolvida. Nas regiões polares o satélite obtém informações sobre as mudanças na cobertura de gelo da Terra, o gelo do mar e a cobertura da neve.(EMBRAPA,2020).

A plataforma dispõe de uma alta resolução espectral com diversos sensores a bordo, descritos no quadro abaixo.

Figura 24 – Sensores TERRA

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada
MISR (Multi-angle Imaging spectrorradiômetro)	Azul	446 nm	1,1 km (275 m no nadir)	2 a 9 dias de acordo com a latitude	360 x 20000 km
	Verde	558 nm			
	Vermelho	672 nm	275 m		
	Infravermelho próximo	866 nm	1,1 km (275 m no nadir)		

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)	1	0,520 - 0,600 μm	15 m	16 dias	60 km	8 bits
	2	0,630 - 0,690 μm				
	3 (Nadir)	0,760 - 0,860 μm				
	4 (Off-Nadir)	0,760 - 0,860 μm				
	5	1,600 - 1,700 μm	30 m	16 dias	60 km	
	6	2,145 - 2,185 μm				
	7	2,185 - 2,225 μm				
	8	2,235 - 2,285 μm				
	9	2,295 - 2,365 μm				
	10	2,360 - 2,430 μm				
	11	8,125 - 8,475 μm	90 m	16 dias	60 km	12 bits
	12	8,475 - 8,825 μm				
	13	8,925 - 9,275 μm				
	14	10,250 - 10,950 μm				
	15	10,950 - 11,650 μm				

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada
CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System)	1 (Onda curta)	0,3 - 5,0 μm	20 km	4 dias	s.d
	2 (Onda longa)	8 - 12 μm			
	3 (Total)	0,3 - > 100 μm			

s.d. = sem dados/informações

Fonte: EMBRAPA, 2020.

Vale ressaltar que o satélite é equipado com o sensor MODIS (já descrito na plataforma Aqua), conforme informações dispostas no site da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) americana.

Segue abaixo uma imagem que registra um incêndio no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros em Goiás no ano de 2017, coletada através da plataforma *Wordview*.

Figura 25 – Incêndio Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros



Fonte: Worldview/Nasa, 2020.

2.1.6.3 LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite

De acordo com EMBRAPA (2020),

A missão Landsat teve início na década de 60 e tem se dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Essa missão foi denominada Earth Resources Technology Satellite (ERTS) e em 1975 passou a se chamar Landsat.(EMBRAPA, 2020)

A missão, em sua maioria, foi gerenciada pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e pela U.S. Geological Survey (USGS) e envolveu o lançamento de oito satélites. Hoje a série é representada pelo Landsat 8, que opera com os instrumentos Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS), (EMBRAPA, 2020).

Abaixo segue o detalhamento técnico dos sensores a bordo da plataforma.

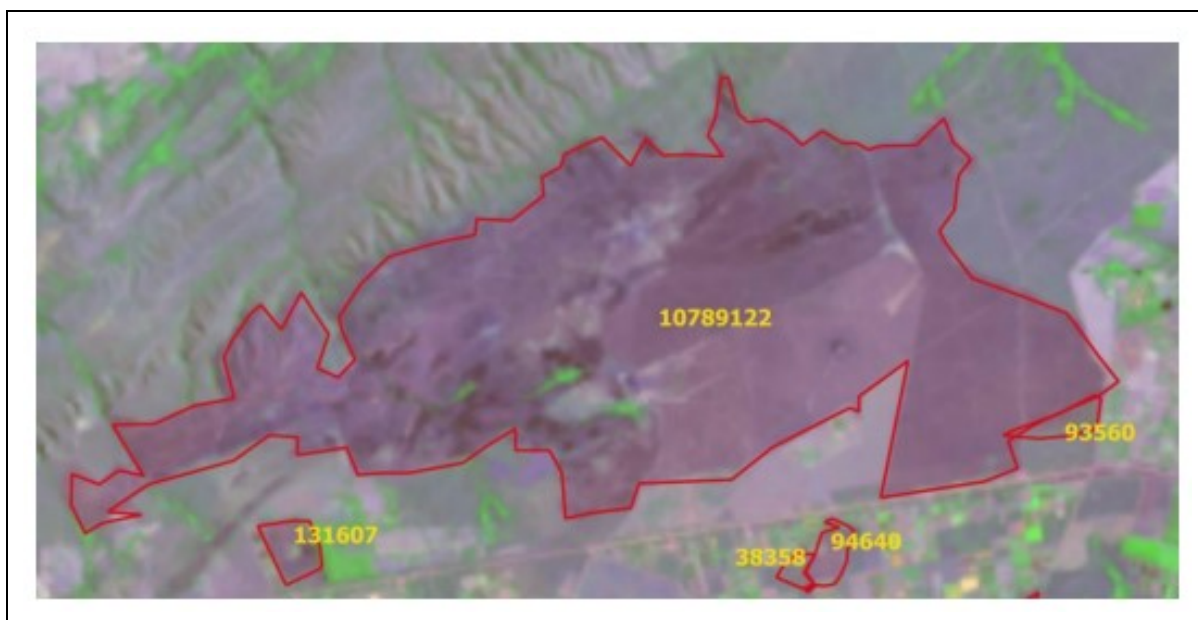
Figura 26 – Sensores Landsat - 8

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Res. Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	(B1) COSTAL	0.433 - 0.453 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B2) AZUL	0.450 - 0.515 μm				
	(B3) VERDE	0.525 - 0.600 μm				
	(B4) VERMELHO	0.630 - 0.680 μm				
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.845 - 0.885 μm				
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.550 - 1.650 μm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.100 - 2.300 μm				
	(B8) PANCROMÁTICO	0.500 - 0.680 μm	15 m			
(B9) Cirrus	1.360 - 1.390 μm	30 m				
s.d. = sem dados/informações						

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Área Imageada
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	(B10) LWIR - 1	10.30 - 11.30 μm	100 m	16 dias	12 bits	185 km
	(B11) LWIR - 2	11.50 - 12.50 μm				
s.d. = sem dados/informações						

Fonte: EMBRAPA, 2020.

As imagens dessa plataforma são utilizadas com frequência pelo CBMDF nas atividades de monitoramento e prevenção de incêndios florestais no âmbito do Distrito Federal. Segue abaixo um exemplo de aplicação dentro da instituição para estimar a área queimada por IF, na região da Chapada Imperial.

Figura 27 - Composição 6/5/4, Landsat-8

Fonte: CBMDF, 2018.

2.1.6.4 IRS – Indian Remote Sensing Satellite

O programa indiano de Satélites de Observação da Terra IRS tem como objetivo fornecer dados de sensoriamento remoto para a National Natural Resource Management System (NNRMS), serviço de gestão de recursos naturais da Índia. Porém, os dados do IRS também são distribuídos para diversos países, inclusive o Brasil, onde através do INPE seus dados são disponibilizados para *download* (EMBRAPA, 2020).

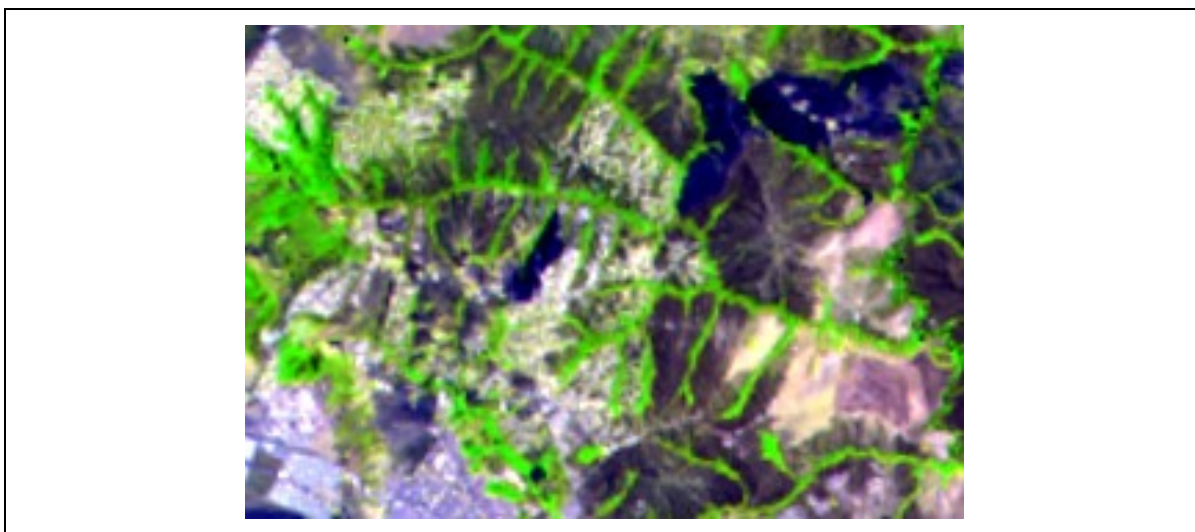
Segue abaixo a descrição técnica dos sensores a bordo do satélite RESOURCESAT-2.

Figura 28 – Sensores IRS

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
LISS IV Satélites RESOURCESAT-1 e RESOURCESAT-2	VERDE	0,52-0,59 μm	5,8 m	5 dias	23,5 km (ms) 70,3 km (pan) (RESOURCESAT-1) 23,5 km (RESOURCESAT-2)	7 bits (RESOURCESAT-1) e 10 bits (RESOURCESAT-2)
	VERMELHO	0,62-0,68 μm				
	INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,77-0,88 μm				
Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
LISS III (Linear Imaging Self-Scanner) Satélites RESOURCESAT-1 e RESOURCESAT-2	VERDE	0,52-0,59 μm	23,5 m	24 dias	141 km	7 bits (RESOURCESAT-1) e 10 bits (RESOURCESAT-2)
	VERMELHO	0,62-0,68 μm				
	INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,77-0,88 μm				
	INFRAVERMELHO MÉDIO	1,55-1,70 μm				
Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
AWIFS (Advanced Wide Field Sensor) Satélite RESOURCESAT-1 e RESOURCESAT-2	VERDE	0,52-0,59 μm	56 m	5 dias	740 km	10 bits (RESOURCESAT-1) e 12 bits (RESOURCESAT-2)
	VERMELHO	0,62-0,68 μm				
	INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,77-0,88 μm				
	INFRAVERMELHO MÉDIO	1,55-1,70 μm				

Fonte: EMBRAPA, 2020.

A seguir, constam imagens da plataforma que foram essenciais para a estimativa de área queimada pelo Grupamento de Proteção Ambiental do CBMDF, disposta no relatório final da Operação Verde-Vivo 2017.

Figura 29 - Cicatriz de queima DF - Resourcesat-2

Fonte: CBMDF, 2017.

2.1.6.5 AQUA – Aqua Project Science

O AQUA é um satélite americano, desenvolvido em parceria com o Japão e com o Brasil. Como o próprio nome sugere, foi projetado para monitorar vários tipos de fenômenos físicos referentes à circulação da energia e da água na Terra. Para isso, ele oferece uma série de dados sobre as interações que ocorrem entre a atmosfera, oceano e continente, como por exemplo, umidade e temperatura da atmosfera, evaporação, nuvens, precipitação, temperatura na superfície do oceano, umidade do solo, gelo, neve, entre outros (EMBRAPA, 2020).

Segue abaixo um quadro com referências técnicas dos sensores a bordo do satélite AQUA.

Figura 30 – Sensores AQUA

Sensor	Canais/Bandas Espectrais	Frequência	Ângulo de Visada	Polarização	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada
AMSR-E	Banda K	6,925 GHz	55°	Horizontal e Vertical	75 x 43 km	diária	1445 km
		10,65 GHz			51 x 29 km		
		18,7 GHz			27 x 16 km		
		23,8 GHz			32 x 18 km		
		36,5 GHz			14 x 8 km		
		89 GHz			6 x 4 km		

Fonte: EMBRAPA, 2020.

Outros satélites, como o TERRA também utilizam o sensor MODIS, que possui seus dados técnicos elencados adiante.

Figura 31 – Sensor MODIS

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	1	620 - 670 nm	250 m	1 a 2 dias	2330 x 5000 km	12 bits
	2	841 - 876 nm				
	3	459 - 479 nm	500 m	1 a 2 dias	2330 x 5000 km	12 bits
	4	545 - 565 nm				
	5	1230 - 1250 nm				
	6	1628 - 1652 nm				
	7	2105 - 2155 nm				
	8	405 - 420 nm	1000m	1 a 2 dias	2330 x 5000 km	12 bits
	9	438 - 448 nm				
	10	483 - 493 nm				
	11	526 - 536 nm				
	12	546 - 556 nm				
	13	662 - 672 nm				
	14	673 - 683 nm				
	15	743 - 753 nm				
	16	862 - 877 nm				
	17	890 - 920 nm				
	18	931 - 941 nm				
	19	915 - 965 nm				
	20	3660 - 3840 nm				
	21	3929 - 3989 nm				
	22	3929 - 3989 nm				
	23	4020 - 4080 nm				
	24	4433 - 4498 nm				
	25	4482 - 4549 nm				
	26	1360 - 1390 nm				
	27	6535 - 6895 nm				
	28	7175 - 7475 nm				
	29	8400 - 8700 nm				
	30	9580 - 9880 nm				
	31	10780 - 11280 nm				
	32	11770 - 12270 nm				
	33	13185 - 13485 nm				
	34	13485 -13785 nm				
	35	13785 -14085 nm				
	36	14085 -14385 nm				

Fonte: EMBRAPA, 2020.

Imagens deste satélite são utilizadas para monitorar desastres ambientais como incêndios florestais. Segue um registro do sensor MODIS de um incêndio no Distrito Federal, ocorrido em 20/11/2018.

Figura 32 - Registro de incêndio em desenvolvimento, sensor MODIS



Fonte: NASA, 2020.

2.1.6.6 SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

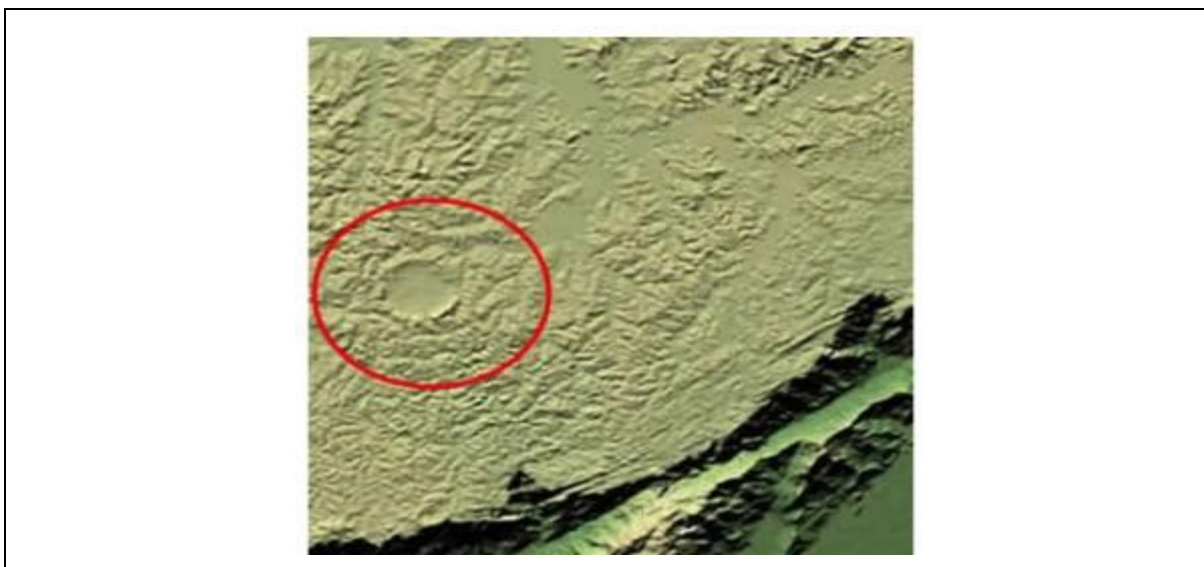
A missão SRTM foi uma iniciativa da National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA), em que os dados de radar foram coletados no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, a bordo da nave espacial Endeavour (EMBRAPA, 2020).

O foco da missão foi coletar informações de altitude para a produção de um banco de dados digitais para todo o planeta. Estes dados são necessários para a elaboração de um Modelo Digital de Terreno (MDT) das terras continentais (EMBRAPA, 2020).

Os dados são distribuídos pela United States Geological Survey (USGS), e podem ser acessados em uma resolução vertical de 30 metros para os Estados Unidos e de 90 metros de resolução vertical para as outras localidades (EMBRAPA, 2020).

Abaixo se demonstra o resultado modelado pela EMBRAPA de um MDT, com fonte de dados da missão SRTM.

Figura 33 – Quadro de adequação escala e resolução espacial



Fonte: EMBRAPA, 2020.

A imagem destaca a cratera de Colônia localizada em Parelheiros, município de São Paulo, Estado de São Paulo, Brasil.

2.1.6.7 WORLDVIEW

A missão WorldView teve seu primeiro satélite lançado em 2007, com o WorldView-1 e de acordo com o portal da EMBRAPA:

São os primeiros satélites de uso comercial a utilizarem a tecnologia Control Moment Gyroscopes (CMGs), que confere agilidade ao satélite na obtenção de imagens. Com o CMGs, o tempo para realizar a cobertura de uma faixa de 300 km, foi reduzido de 60 segundos para 9 segundos, significando que o satélite WorldView-2 pode mover-se de um alvo para outro com precisão e rapidez, permitindo a observação de múltiplos alvos em uma única passagem orbital. (EMBRAPA, 2020)

Seguem abaixo as especificações técnicas dos sensores embarcados na plataforma WorldView:

Figura 34 – Sensores WorldView

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
PAN	PANCROMÁTICA	400-900 nm	0,50 metros (nadir) 0,59 metros a 25° off-nadir	1,7 dias no nadir 4,6 dias a 25° off-nadir	17,6 km (nadir)	11 bits
s.d. = sem dados/informações						

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
PAN	PANCROMÁTICA	450 - 800 nm	0,46 m (nadir) / 0,52 m a 20° off-nadir.	1,1 dias no nadir 3,7 dias a 20° off-nadir	16,4 km (nadir)	11 bits
MS	Coastal	400 - 450 nm	1,84 m (nadir) / 2,08 m GSD a 20° off-nadir			
	AZUL	450 - 510 nm				
	VERDE	510 - 580 nm				
	AMARELO	585 - 625 nm				
	VERMELHO	630 - 690 nm				
	Red Edge	770 - 895 nm				
	Infravermelho Próximo	770 - 895 nm				
Infravermelho Próximo - 2	890 - 1040 nm					
s.d. = sem dados/informações						

Fonte: EMBRAPA, (2020).

Para ilustrar a qualidade dos produtos gerados pelo sensor Worldview-4, pode-se observar a imagem que registra o centro de Brasília, no dia 4 de janeiro de 2017.

Figura 35 – Imagem de Brasília (DF), adquirida pelo sensor Worldview-4, em janeiro de 2017.

Fonte: EMBRAPA, 2020.

2.1.6.8 PLANET – Satélite Planet

De acordo com as informações contidas no portal <https://www.scon.com.br/>, que é mantido pela distribuidora oficial no Brasil das imagens Planet, Santiago & Cintra Consultoria, tem-se que o sistema PLANET fornece:

Imagens obtidas pela constelação de satélites Dove que possuem o mesmo tipo de sensor, são adquiridas por mais de 130 satélites, com 04 bandas espectrais e resolução radiométrica de 12 bits, são ortorretificadas e possuem 3 metros de resolução espacial, o que permite obter imagens atuais de grandes áreas com alto padrão de qualidade e precisão planimétrica, (SCCON, 2020).

Os dados técnicos do sensor são apresentados no quadro abaixo:

Figura 36 – Sensores PLANET

Câmera	Bayer Mask CCD
Resolução espacial	3 metros
Bandas espectrais (nm)	Blue: 455 – 515
	Green: 500 – 590
	Red: 590 – 670
	NIR: 780 – 860
Resolução Radiométrica	12 bits

Fonte: SCCON, (2020).

O Instituto Brasília Ambiental (IBRAM), no ano de 2019, contratou os serviços da PLANET, e por meio de uma Cooperação com o CBMDF estendeu à instituição a possibilidade de uso da plataforma de aquisição de imagens para o monitoramento de incêndios florestais no âmbito do Distrito Federal. A figura a seguir mostra uma imagem da plataforma, apresentada no 2º Seminário do Sistema de Gestão Geoespecializada da Transmissão – GGT.

Figura 37 – Imagem Planet de Brasília



Fonte: ANEEL, 2020.

2.1.6.9 GeoEye

De acordo com informações contidas no portal da EMBRAPA:

O satélite GeoEye é um Satélite de Observação da Terra, operado no mercado por empresa do setor privado que, desde 2006, também é responsável pelo controle dos satélites Orbview e Ikonos. A missão foi lançada em setembro de 2008 levando a bordo dois sensores: pancromático e multiespectral. Em 2013 a altitude de órbita foi aumentada e fez com que o GSD passasse de 41 para 46cm de resolução espacial para o sensor pancromático, e, de 1,6m para 1,84m para o multiespectral. O satélite GeoEye é capaz de adquirir imagens em amplas áreas do globo terrestre, em intervalos de revisita de no máximo 3 dias. Esta característica, aliada à alta resolução espacial, possibilita o mapeamento em escalas cartográficas grandes, de fenômenos distribuídos em extensas áreas. (EMBRAPA, 2020).

Figura 38 – Sensores GeoEye

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
PANCROMÁTICO (GeoEye 1)	Pancromático	450-800 nm	41 cm	3 dias (no máximo)	15,2 km	11 bits

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
MULTIESPECTRAL (GeoEye 1)	MS	450-510 nm	1,65 m	3 dias (no máximo)	15,2 km	11 bits
		510-580 nm				
		655-690 nm				
		780-920 nm				

Fonte: EMBRAPA, (2020).

De acordo com as informações técnicas elencadas no quadro acima, verifica-se a alta qualidade dos produtos gerados pela plataforma. A imagem abaixo é uma amostra de um dado com alta resolução espacial.

Figura 39 – Imagem do Satélite GeoEye, município de Campinas, SP.



Fonte: EMBRAPA, (2020).

2.1.6.10 GOES – Geostationary Operational Environmental Satellite

“A missão de satélites GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) é operada pela National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA e controlada pela National Aeronautics and Space Administration – NASA” (EMBRAPA, 2020).

De acordo com o portal acima, em conjunto com os satélites da série METEOSAT, o GOES completa a rede internacional de observação meteorológica da Terra. A plataforma GOES fornece observação quase contínua da Terra, permitindo imagens a cada 15 minutos. Esta alta resolução temporal, juntamente com melhorias na resolução espacial e radiométrica dos sensores, fornecem informações dinâmicas para o monitoramento e a previsão das condições meteorológicas do planeta.

Segue quadro das resoluções espectrais e espaciais do satélite GOES.

Figura 40 – Sensores GOES

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial
GOES I-M (Imager Radiometer)	1 - VISIBLE	0.55 - 0.75 μm	1 km
	2 - SHORTWAVE	3.80 - 4.00 μm	4 km
	3 - MOISTURE	6.50 - 7.00 μm	8 km
	4 - IR 1	10.20 - 11.20 μm	4 km
	5 - IR 2	11.50 - 12.50 μm	4 km
s.d. = sem dados/informações			

Fonte: EMBRAPA, (2020).

2.1.6.11 Sentinel - 2

A série de satélites SENTINEL começou a ser lançada em 2014, e se desenvolveu a partir de um projeto da Agência Espacial Europeia (ESA)/Comissão Europeia, em atendimento ao Programa Copernicus (EMBRAPA, 2020)

Como parte do programa Copernicus, o sensor MSI foi lançado a bordo das plataformas Sentinel-2A e -2B. O MSI possui 13 bandas espectrais entre 433 e 2.190 nm, sendo que a resolução espacial varia de 10 m na região do visível até 60 m em bandas do SWIR. Essas bandas são úteis na caracterização de aerossóis, vapor d'água e nuvens cirros. A combinação do OLI e do MSI permitirá aumentar a frequência das observações, o que potencializa ainda mais a importância desses dados multiespectrais para as futuras aplicações em águas continentais. (BARBOSA, 2019, p.122).

Segue abaixo o quadro com as especificações das bandas espectrais do satélite Sentinel-2.

Figura 41 – Sensores Sentinel - 2

Resolução	Nº da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nanômetro)	Combinações de Bandas
10 m	B02	Blue (Azul)	490	Cor Verdadeira RGB 04/03/02 Falsa Cor 1 e 2 RGB 08/04/03 e 04/08/03
	B03	Green (Verde)	560	
	B04	Red (Vermelho)	665	
	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842	
20 m	B05	Red Edge 1	705	SWIR 1 RGB 12/11/8A
	B06	Red Edge 2	740	
	B07	Red Edge 3	783	
	B08A	Red Edge 4	865	
	B11	SWIR 1	1610	
	B12	SWIR 2	2190	
60 m	B01	Aerossol	443	—
	B09	Water Vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	

Fonte: Engesat, 2020.

A seguir, é possível verificar o registro de um incêndio em desenvolvimento na Área Alfa da Marinha de Brasília, disponibilizado pelo GPRAM/CBMDF, durante o ano de 2020.

Figura 42 - Incêndio Área Alfa da Marinha em 2020 – Sentinel-2B



Fonte: CBMDF, 2020.

2.1.7 Acesso a banco de dados de SIG

Nas próximas subseções serão apresentados os principais bancos de dados disponíveis atualmente para acesso de dados vetoriais e matriciais. A grande maioria das referências são de domínio público, porém existem alguns bancos de dados que exigem uma dispensa financeira para acesso.

2.1.7.1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

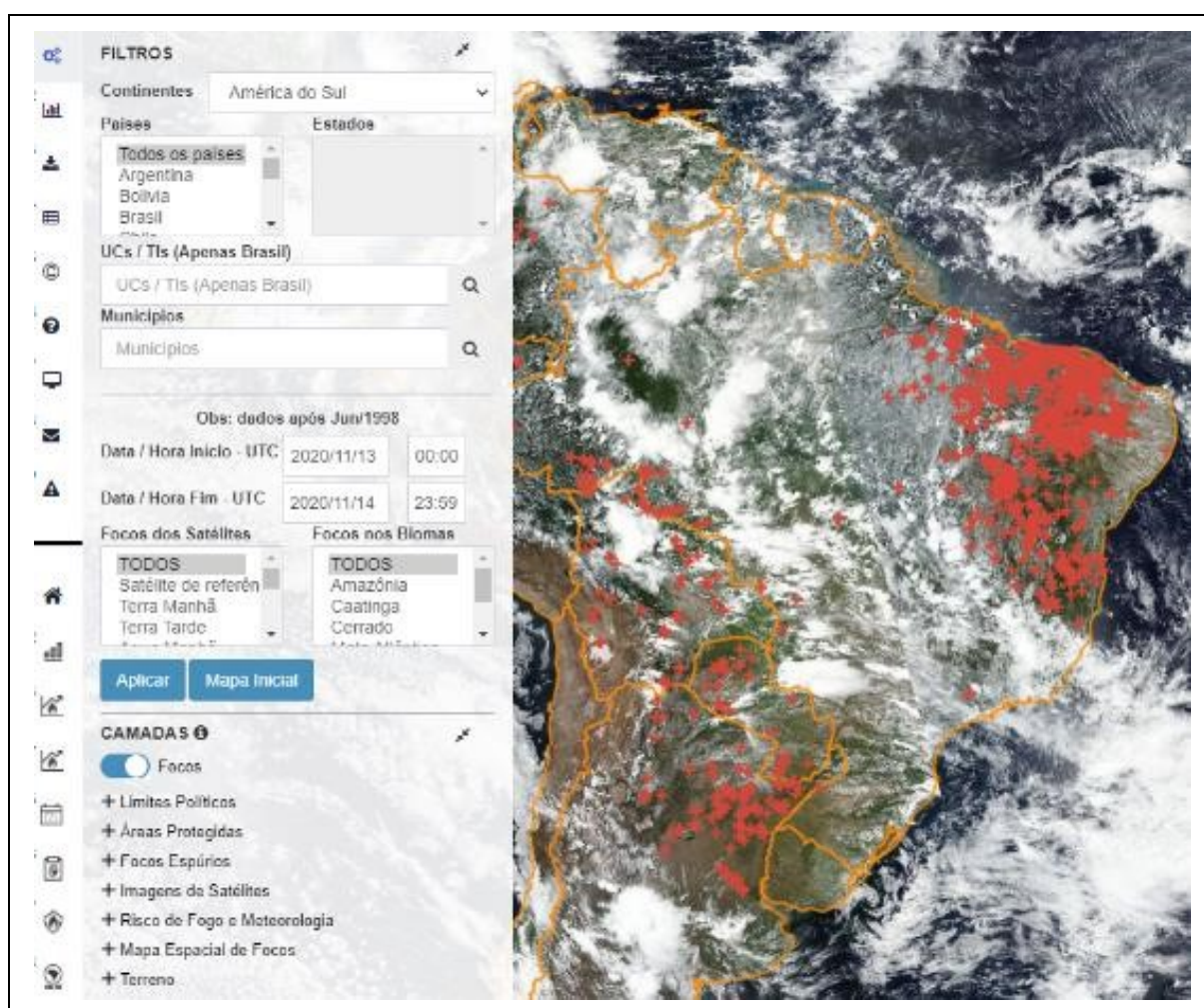
O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) lançou em 2007 uma plataforma online para o monitoramento e acesso a dados referentes a temática de queimadas, disponibilizando diversos produtos.

O portal atualmente “inclui o monitoramento operacional de focos de fogo ativo de queimadas e de incêndios florestais detectados por satélites, e o cálculo e previsão do risco de fogo da vegetação, além do mapeamento das cicatrizes de área queimada” (INPE, 2020).

Conforme informações contidas no site tem-se que “os dados para a América, África e Europa, são atualizados automaticamente todos os dias do ano. O acesso às informações é livre para qualquer interessado por meio de mapas, tabelas e gráficos.” (INPE, 2020).

Segue abaixo uma imagem de um dos produtos disponibilizados pelo INPE, no caso, o filtro para acesso a base de dados de focos de calor.

Figura 43 – Quadro de adequação escala e resolução espacial



Fonte: INPE/Queimadas, (2020).

De acordo com o portal, o Instituto gera outros produtos de queimadas que não são divulgados, e existe a possibilidade de atender às necessidades individuais de usuários, tais como o PrevFogo/Ibama, que recebe dados em tempo quase-real das coordenadas geográficas dos focos para desenvolver suas próprias análises e aplicações.

O serviço disponibilizado pelo INPE inclui também o acesso à imagens de satélites, que é feito pela Divisão de Geração de Imagens - DGI e mantém catálogos para a disseminação de imagens de satélites das seguintes plataformas orbitais: CBERS 04A, AQUA, CBERS4, DEIMOS, LANDSAT8, NOAA-20, RESOURCESAT1, RESOURCESAT2, S-NPP, TERRA e UK-DMC2, CBERS2, CBERS2B, GLS-LANDSAT, LANDSAT1, LANDSAT2, LANDSAT3, LANDSAT5 e LANDSAT8 (INPE, 2020).

2.1.7.2 Geoportal

De acordo com o site www.seduh.com.br, o Distrito Federal é pioneiro nesse projeto SIG, que possibilita à população brasiliense ter acesso pela primeira vez à informações do território, com a possibilidade de localizar e definir o limite de suas propriedades, acompanhar o crescimento urbano da região ao longo do tempo, desenvolver pesquisas acadêmicas, entre muitas outras utilidades.

“O sistema permite fazer consultas e cruzamentos de serviços. E projetar em mapas temáticos o comportamento do uso do solo a partir dos parâmetros urbanísticos, ambientais, geológicos, topográficos, etc.” (SEDUH, 2020)

O sistema disponibiliza para algumas regiões imagens áreas de alta resolução bem com um acervo histórico datado de 1964. Além desses acessos, é possível também visualizar na plataforma camadas vetoriais que delimitam regiões de interesse ambiental, assim como realizar *downloads* dos shapefiles (camadas vetoriais). Segue imagem do *layout* da plataforma:

Em outubro de 2014, a USGS assinou um acordo de cooperação permitindo ao INPE o uso de imagens de satélites, possibilitando ao instituto nacional disseminar os dados provindo do programa Landsat, fomentando assim a pesquisa nacional.

2.1.7.4 Nasa Wordlview

A Worldview caracteriza-se por ser uma plataforma on-line leve para criar imagens instantâneas de uma seleção de camadas de imagens de satélite baixa resolução espacial administrado pela NASA.

Nela é possível visualizar e baixar imagens em diferentes combinações de bandas e adicionar sobreposições nas imagens de detecções de incêndio ativas, linhas costeiras, fronteiras e estradas.

“A ferramenta Worldview do Sistema de Dados e Informações do Sistema de Observação da Terra da NASA (EOSDIS) fornece a capacidade de navegar interativamente por mais de 900 camadas globais de imagens de satélite de resolução total e, em seguida, baixar os dados subjacentes” (NASA, 2020).

A plataforma online Worldview oferece imagens de satélite de alguns instrumentos citados no tópico anterior tais como: MODIS, Aqua, Terra, NOAA e EOS, com disponibilidade para acesso em aproximadamente 3 horas após a observação de satélite.

A plataforma Fire Information for Resource Management System (FIRMS) é uma derivação do sistema Wordview e:

foi desenvolvido para fornecer dados de incêndio ativos quase em tempo real para gestores de recursos naturais que enfrentam desafios para obter informações oportunas sobre incêndio derivadas de satélite. Os dados do fogo ativo são disponibilizados dentro de três horas de observação por satélite do instrumento Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo dos satélites Aqua e Terra e do instrumento Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) a bordo da órbita polar nacional conjunta NASA / NOAA Suomi Somi Satélite de parceria (Suomi-NPP) e satélite NOAA-20 via LANCE, (NASA, 2020).

Segue abaixo uma imagem do layout da plataforma online FIRMS.

Figura 46 – Quadro de adequação escala e resolução espacial



Fonte: FIRMS, (2020).

De acordo com a imagem acima, percebe-se uma grande semelhança com relação à plataforma desenvolvida pelo INPE no programa queimadas ilustrada no item 2.3.2.1. Desta forma, é mais uma que se soma ao rol de ferramentas disponibilizadas ao perito para subsidiar seus trabalhos de investigação de IF.

2.1.7.5 ESA

De acordo com Barbosa *et al.*, 2019 o programa Copernicus é fruto de uma cooperação entre a União Europeia e a Agência Espacial Europeia (ESA), para manter operacional a disponibilidade de acesso a imagens de observação do planeta através das plataformas orbitais da família Sentinel, mantendo uma resolução temporal 5 dias, através do sensor MSI.

Este programa permite a aquisição de cenas e é disponibilizado no site <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, no qual, após um cadastro torna-se possível a obtenção de dados.

O CBMDF, através de seu grupamento ambiental, faz uso dos dados para acompanhar incêndios florestais ativos e de grandes proporções, como pode ser observado abaixo, na imagem capturada pela plataforma Sentinel 2B, sensor MSI e composição de bandas 4,3 e 2.

Figura 47 - Incêndio na Rota do Cavalo em 2020 - Sentinel 2B/MSI/432



Fonte: CBMDF, 2020.

A combinação dos sensores *Operational Land Imager* (OLI) Landsat e do *Multispectral Instrument* (MSI) Sentinel, permitirá reduzir o tempo de revisitas nas observações o que potencializa ainda mais a relevância da utilização desses dados multiespectrais (BARBOSA *et al.* 2019).

2.1.7.6 INMET

De acordo com o portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o órgão tem como missão “prover de informações meteorológicas à sociedade brasileira e influir construtivamente no processo de tomada de decisão, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do País” (INMET, 2020).

Esta missão é alcançada por meio de monitoramento, análise e previsão de tempo e de clima, subsidiados pela rede de estações meteorológicas do Instituto, que se utiliza do que há de mais moderno internacionalmente, e contempla os dados de temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, precipitação, entre outras variáveis (INPE, 2020).

Os dados coletados por essa rede são disseminados, de forma democrática e gratuita, em tempo real, na página <http://www.inmet.gov.br>, e têm aplicação em todos os setores da economia, de modo especial no agropecuário e em apoio à Defesa Civil, contando com um banco de dados de informações diárias desde 1961 (INPE, 2020).

Considerando que os fatores meteorológicos, como já abordado anteriormente neste trabalho, são um dos pilares que influenciam a dinâmica dos incêndios florestas, tem-se que o INPE se configura com uma fonte de dados para o investigador de incêndio florestal na construção de seus trabalhos.

2.1.8 Softwares de SIG

Os SIG tornaram-se rapidamente uma ferramenta importante na gestão ambiental, em atividades militares, segurança pública, turismo, saúde defesa civil e muitas outras da sociedade (QGIS, 2020).

Quem usa um computador ou Smartfone provavelmente já usou um SIG de alguma forma mesmo sem perceber, ao olhar um mapa em um site da internet, Google Earth, num balcão de informações ou no seu Smartfone indicando sua posição.

Em seguida serão elencados os principais *softwares* e aplicações do SIG que permitem aos usuários o desenvolvimento de trabalhos investigativos de forma gratuita.

2.1.8.1 Quantum GIS

O projeto Quantum GIS é patrocinado pelo Chefe da Direção: Planejamento Espacial e Informação, Departamento de Assuntos Fundiários (DLA), Cabo Oriental, em conjunto com a Unidade de Gestão de Informação Espacial, Gabinete do Primeiro-ministro Departamento de Assuntos Fundiários, Cabo Oriental, África do Sul.

De acordo com os desenvolvedores do QGIS:

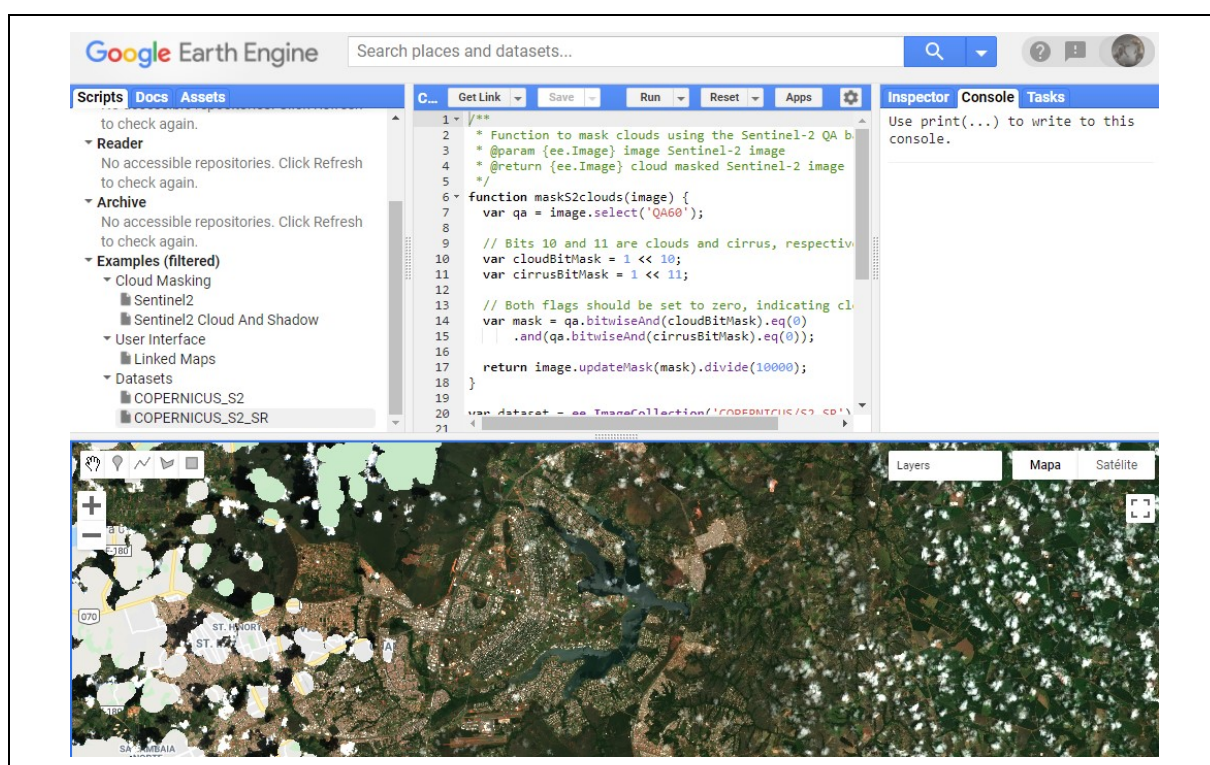
“quando você compra um *software* comercial, limita as suas opções no futuro. Ao aprender, usar e partilhar um *Software* Gratuito e de Código Aberto, você vai estar construindo as suas próprias capacidades, e com dinheiro economizado você poderá investir em coisas mais importantes como comida, casa e aumentando sua própria economia” QGIS (2020).

2.1.8.2 Google Earth Pro/Engine

De acordo com Barbosa *et al.* (2019), a plataforma do “Google Earth Engine (GEE) (<https://earthengine.google.com/>) vem se destacando como plataforma eficiente no processamento de imagens de satélite utilizando computação em nuvem” (Gorelick *et al.*, 2017) e (Kumar *et al.*, 2018). De acordo com a análise de Barbosa *et al.* (2019), este SIG registra um alto desempenho com um amplo catálogo de imagens em escala global, permitindo ao usuário acesso a dados histórico das principais missões de observação da Terra e com possibilidade de processamento em lote em um ambiente virtual.

Segue abaixo uma amostra do layout da plataforma, com a indicação das principais ferramentas.

Figura 48 – Layout da plataforma Google Earth Engine



Fonte: GEE, 2020.

O Google Earth Engine (GEE) permite que os usuários executem algoritmos em imagens e vetores georreferenciados armazenados na infraestrutura do Google. Também fornece uma biblioteca de funções que podem ser aplicadas aos dados para exibição e análise (GEE, 2020)

2.1.8.3 Spring

Santos *et al.* (2010) define que o Spring é um SIG no estado-da-arte, com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais”.

A construção do *software* contou com recursos financeiros do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e objetivou criar um *software* de SIG para aplicações em Agricultura, Floresta, Gestão Ambiental, Geografia, Geologia, Planejamento Urbano e Regional, com a premissa de se tornar amplamente acessível, e ser um mecanismo de difusão de conhecimentos pelo INPE e seu colaboradores, através de compartilhamento de metodologia e desenvolvimento de novos algoritmos (SANTOS *et al.*, 2010).

O produto Spring opera como um banco de dados geográficos sem fronteira, e suporta grande volume de informação, administra dados vetoriais e matriciais provendo um ambiente de trabalho amigável (SANTOS *et al.*, 2010).

2.3 Geoprocessamento e variáveis dos incêndios florestais

Até esta etapa, foram apresentadas as bases conceituais acerca das tecnologias empregadas no trabalho com o sensoriamento remoto. Foram também ilustradas as principais ferramentas e técnicas utilizadas no processamento de imagens e camadas vetoriais geoespacializadas.

Sabe-se que pela experiência demonstrada pelo corpo de bombeiros nas atividades de combate a incêndio florestal, muitas variáveis são influenciadoras da dinâmica destes incidentes.

Segundo Bedia *et al.* (2012), a interação entre as variáveis meteorológicas, topográfica, de combustível e socioeconômicas são decisivas para caracterização e surgimento de incêndios florestais.

Esta seção tem como objetivo explorar os aspectos mais determinísticos extraídos dos produtos gerados pelo SR, deixando os comportamentos humanos associados aos IF em segundo plano, pois o que se pretende nesta etapa é contextualização descritiva das variáveis bióticas.

Desta forma, os itens seguintes irão explorar de forma mais específica as principais análises sob o aspecto do combustível e cobertura do solo, assim como possibilidades de extração de dados provindos do SR com investigação topográfica e manipulações de dados meteorológicos em ambientes de SIG.

Em suma, esta seção visa reunir exemplos em se empregaram as técnicas de processamento de dados matriciais e vetoriais para explorar as variáveis acima mencionadas, tão significativas na dinâmica dos incêndios florestais.

2.1.9 Material combustível

Tendo em vista que o combustível é um dos pilares para o surgimento e desenvolvimento de incêndios florestais, verifica-se a necessidade de conhecer esta variável sob o aspecto do sensoriamento remoto, pois de acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007) cada tipo de vegetação se comporta de forma diferente na interação com a radiação eletromagnética.

Atualmente, no âmbito nacional, diversas instituições ligadas à área ambiental, tais como o Ministério do Meio Ambiente, EMBRAPA, ICMBIO, INPE e outros mais, se dedicam a manter atualizada a cobertura do solo no território nacional utilizando o sensoriamento remoto como ferramenta para a análise e produção de resultados.

De acordo com o levantamento ICMBIO, o Brasil possui seis biomas, sendo eles: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Dentro destes biomas, é possível identificar diferentes tipos de uso de ocupação de solo.

O projeto Mapbiomas tem focado recentemente em qualificar o uso do solo no território nacional com auxílio de imagens de satélites de média resolução. Assim, a organização disponibiliza de forma gratuita arquivos vetoriais e matriciais com resultados adquiridos em análises mais complexas (MAPBIOMAS, 2020).

Porém, em algumas situações, o investigador de incêndio necessita de dados atualizados em questão de poucos dias, algo que ainda é complexo de se obter em instituições que não tem a demanda imediata e imprevisível, tal como o investigador de incêndio tem.

O INPE, em 2019, lançou com auxílio da Plataforma Sentinel uma análise da ocupação do solo brasileiro, que pode ser acessada de forma matricial pela sociedade, sendo uma ferramenta essencial nos trabalhos de investigação de incêndio, possibilitando a inclusão nos laudos de uma quantificação das composições de fitofisionomias degradadas por incêndios florestais.

2.1.9.1 Índices de vegetação

A partir da análise da interação da REM com alvos de vegetação observou-se que a mesma caracteriza-se por absorver a REM na faixa do visível (0,4 a 0,7 μm) e refletir na faixa do infravermelho (0,725 a 1,10 μm) (LIU, 2006).

“Um índice de vegetação ideal deve ser sensível a vegetação e insensível ao fundo do solo, e não ter interferências atmosféricas.” (LUI, 2006, p.14).

Assim, ao longo do tempo, e com advento das novas ecológicas foi possível a elaboração de vários tipos de índices de vegetação, seguindo os pressupostos acima citados.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), definido por Rouse *et al.* (1974), é um exemplo de produto obtido pelo processamento digital de imagens orbitais mais difundidos e comumente utilizados para discriminar áreas fotossinteticamente ativas (MARTINHO *et al.*, 2012).

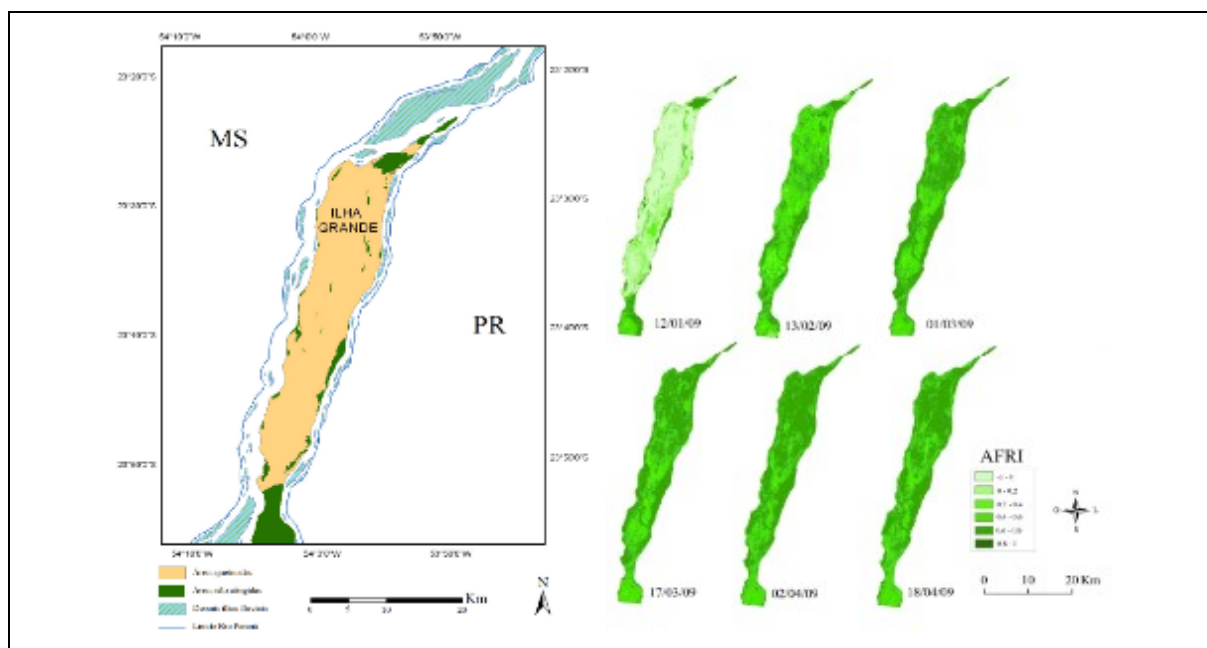
Assim como o NDVI, outros índices de vegetação podem ser citados, tal como o Índice de vegetação pela razão (*Ratio Vegetation Index* – RVI), que é a razão de

bandas de reflectância do infravermelho próximo (Near infra-red – NIR) pela reflectância da Faixa do Visível (VIS) (PEARSON e MILLER, 1972).

Karnieli *et al.*, (2001) propuseram o índice AFRI (Aerosol Free Vegetation Index) que se baseia na utilização das bandas de infravermelho e do infravermelho próximo com o objetivo de atenuar a interferências atmosférica na análise da reflectância da superfície.

Em um estudo divulgado por Montatanher e Fragal (2011), em que se aplicou o AFRI para a análise da vegetação após um incêndio em uma área alagável, se chegou ao resultado mostrado na figura abaixo.

Figura 49 - Série temporal de imagens NDVI após o incêndio de 12/2008



Fonte: Montatanher e Fragal, 2011.

Na conclusão de seu trabalho, Montatanher e Fragal (2011) perceberam que este índice de vegetação apresentou melhores resultados de análise quando comparado com o NDVI na análise da evolução da vegetação após um incêndio florestal.

Com isso, percebe-se que o estudo das imagens orbitais para caracterização da vegetação é uma excelente ferramenta para analisar a distribuição do combustível sobre uma superfície, corroborando assim a ideia de sua utilização nas investigações de incêndio.

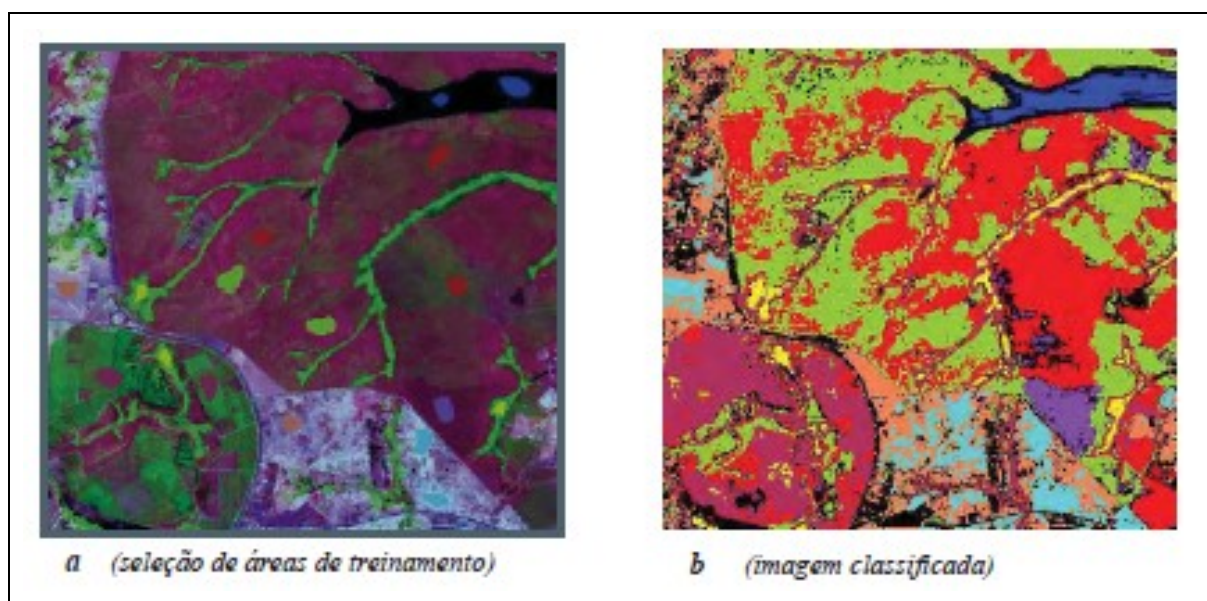
É importante salientar que a construção dos índices acima é realizada através da operação com imagens matriciais descritas nos tópicos deste trabalho. Portanto, fica evidenciado que a escolha do método fica a cargo do analista, que deverá se adequar a cada tipo de evento e de informações e que tem disponível.

2.1.9.2 Classificação de Combustível

Visto a importância de se qualificar o tipo de combustível presente em uma determinada região, pode-se utilizar os procedimentos de classificação elencados no tópico 2.1.5.4 deste trabalho.

Tem-se abaixo uma imagem processada da plataforma Landsat-7, que apresenta o resultado de uma classificação supervisionada após a coleta de regiões de treinamento.

Figura 50 – Cobertura do solo classificada



Fonte: Menezes e Almeida, 2012.

Os resultados acima foram categorizados com base na resposta espectral de reflectância dos alvos em: agricultura, água, área construída, formação campestre, formação florestal, formação savânica, mineração, reflorestamento, sistema viário, e solo exposto. (MENEZES, ALMEIDA, 2020).

O método utilizado para o desenvolvimento do produto acima foi o de Classificação Supervisionada, porém é possível realizar utilizando outros métodos. Ao fim o analista deve escolher a opção mais eficiente e qualificada.

De posse das informações geradas pelo SR, é possível, antes mesmo de visitar a área sinistrada, obter informações personalizadas sobre o terreno, auxiliando assim o processo de investigação da dinâmica do IF.

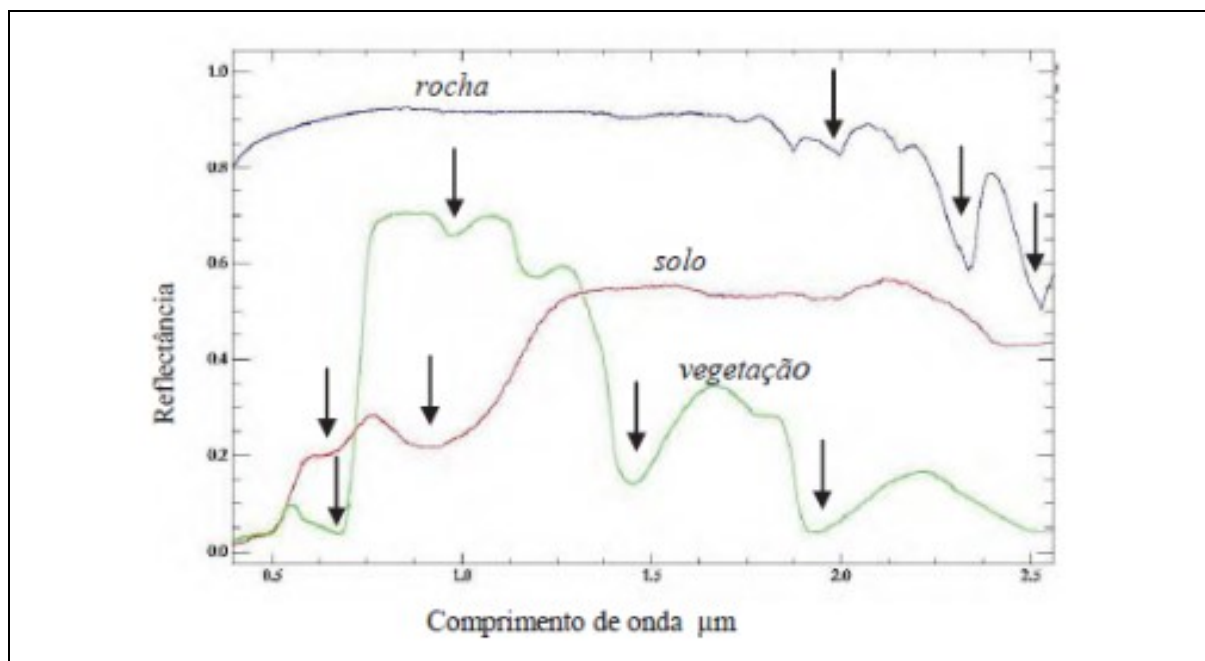
2.1.9.3 Análise de reflectância

Conforme definido anteriormente, a análise de uma imagem adquirida pelos sensores remotos é como uma assinatura de alvos estudados. “Os espectros de reflectância são fundamentais para guiar o intérprete na seleção das bandas do sensor para a interpretação das imagens.” (MENEZES, ALMEIDA, 2012, p.45).

Ainda segundo os autores, conforme o conhecimento prévio da área, o analista pode plotar espectros de reflectância dos alvos existentes na área, em conjunto com as bandas espectrais das imagens do sensor que estiver usando. “Com isso, ele poderá determinar quais as bandas do sensor têm a capacidade de discriminar os alvos, que é na prática, o que interessa em sensoriamento remoto” (MENEZES, ALMEIDA, 2012, p.45)

A figura abaixo exemplifica espectros de reflectância de vegetação, rocha carbonática e solo com óxido de ferro, com indicação dos comprimentos de onda de absorção dos seus principais constituintes.

Figura 51 – Análise espectral de alvos



Fonte: Menezes, Almeida. 2012, p. 46.

Assim, o investigador pode usar as assinaturas espectrais de reflectância para ajustar a identificação de alvos de interesse no seu processo de estudo.

2.1.10 Topografia

De acordo com CBMMT (2020), as características do terreno onde o incêndio florestal ocorre, em particular a posição e a inclinação, influenciam a dinâmica do fogo. O quadro abaixo ilustra as características mais evidentes na determinação da dinâmica de um incêndio florestal sob o aspecto topográfico.

Figura 14 – Quadro de adequação escala e resolução espacial

EXPOSIÇÃO (abaixo do equador)	INCLINAÇÃO	SENTIDO DE PROPAGAÇÃO
➤ Norte (mais quente); ➤ Oeste; ➤ Leste; ➤ Sul (não recebe insolação direta).	➤ A inclinação do terreno influencia diretamente a propagação do IF.	➤ Morro acima (active); ➤ Morro abaixo (declive).

Fonte: CBMMT (2020)

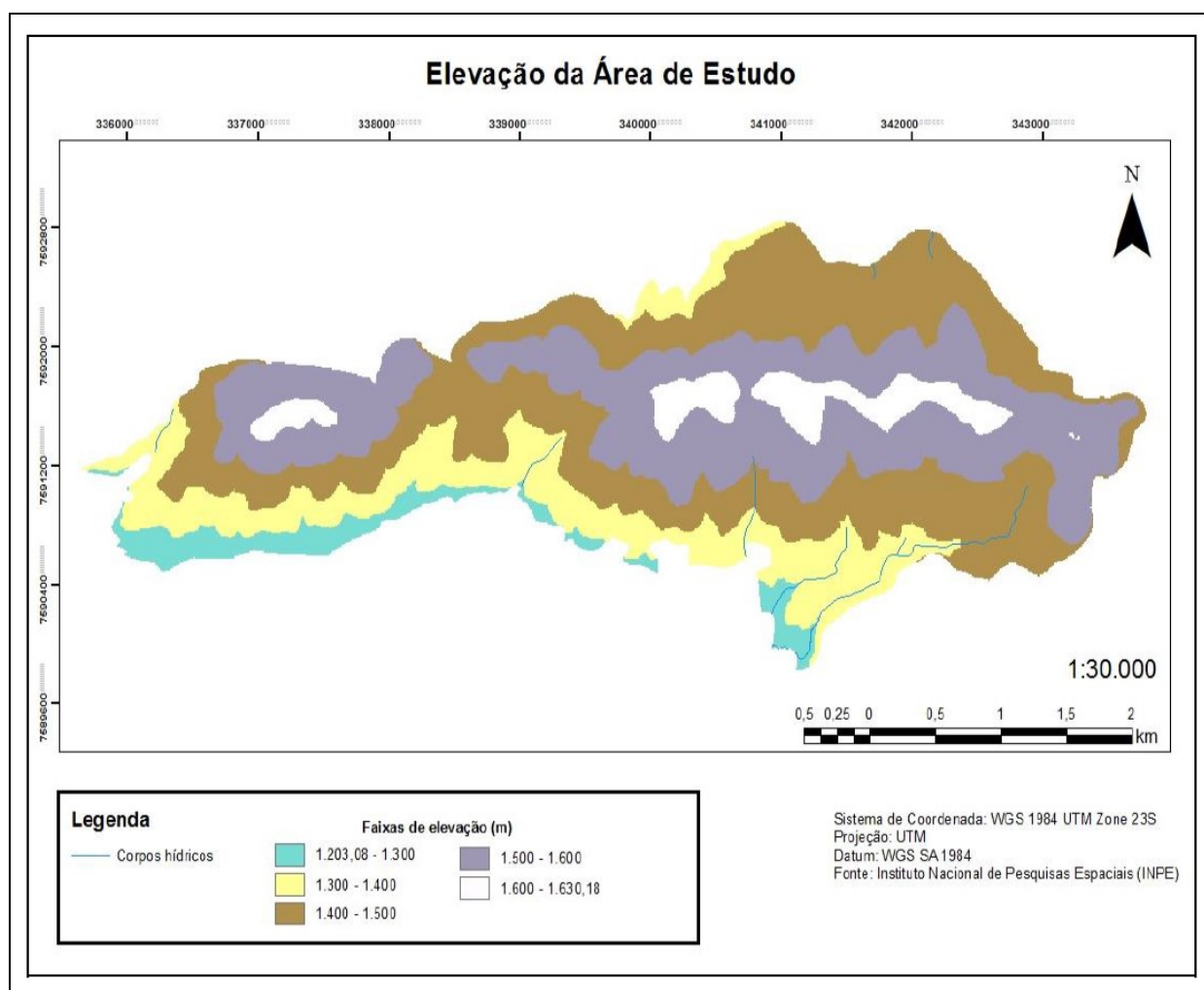
A informações relativas à exposição e inclinação de um terreno são objetos que podem ser produzidos com o auxílio do SR, e nos itens a seguir serão exploradas com mais detalhes.

2.1.10.1 Modelo Digital de Terreno

Se devidamente georreferenciados, dados vetoriais tais como curvas de níveis podem possibilitar ao investigador a construção de modelos digitais de terreno, com o intuito de identificar regiões de aclives e declives, que como já mencionado, interferem diretamente na propagação dos incêndios florestais.

Abaixo segue uma representação de um MDT gerado para analisar as regiões com cotas de altitude mais altas em relação às mais baixas.

Figura 52 – Exemplo de MDT



Fonte: Santos, 2018

Para complementar os dados extraídos do MDT, é possível aplicar uma paleta de cores que evidenciem a área de estudo conforme a necessidade do investigador.

2.1.10.2 Declividade

Para Castro, *et al.*, (2003) observa-se que quanto mais inclinado um terreno, maior a velocidade de propagação do incêndio. Ele ainda elenca que o efeito de chaminé se agrava em vales mais apertados (vales em garganta) com acentuada inclinação. A imagem abaixo ilustra o fenômeno citado.

Figura 53 – Incêndio em vales

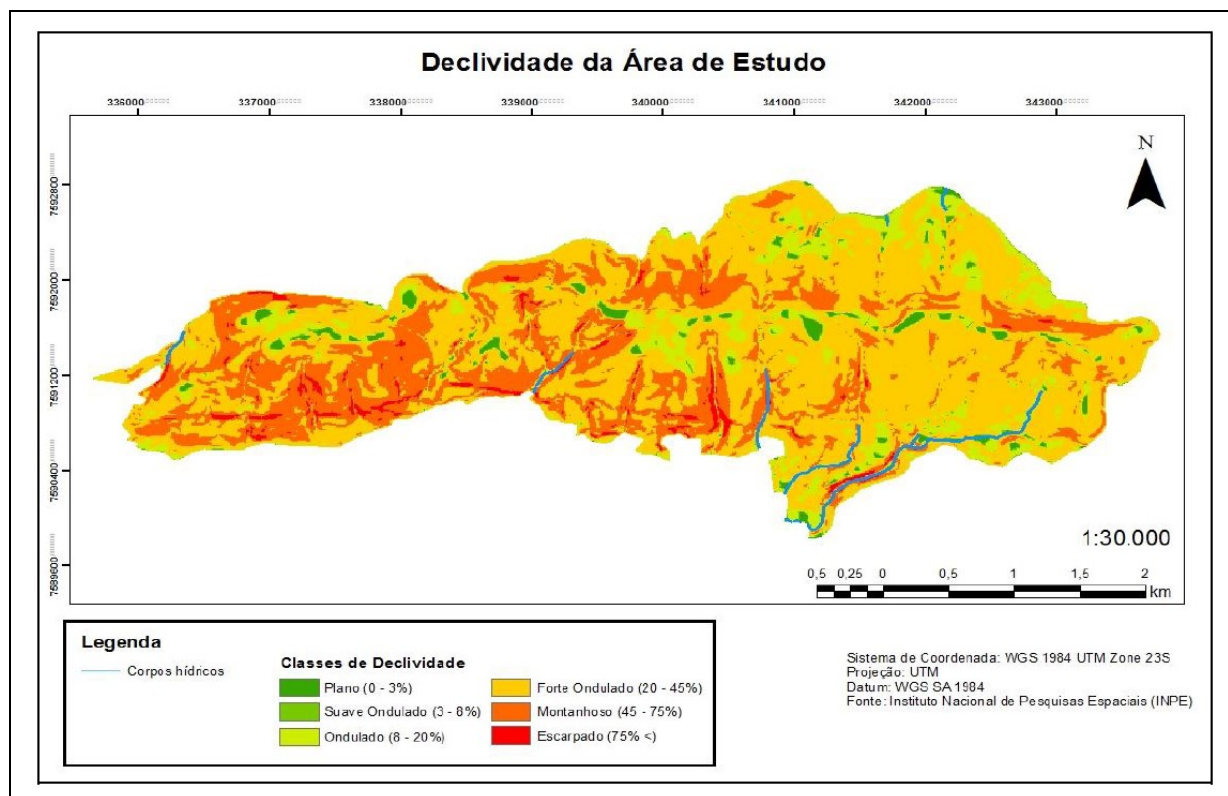


Fonte: Castro (2003).

Identificar estas regiões antes do trabalho de campo é possível com o auxílio do sensoriamento remoto, em que são utilizadas as técnicas de processamento, tais como a construção de mapas de declividade.

Em seu trabalho *Desenvolvimento de um Modelo de Propagação de Incêndio Florestal*, Santos (2018) confeccionou um mapa de declividade da região de estudo, Serra de São Domingos em Minas Gerais, e foi obtido o seguinte resultado.

Figura 54 – Mapa temático de declividade



Fonte: Santos (2018).

Segundo Santos (2018), de posse do Modelo Digital de Terreno (MDT) disponibilizado no banco de dados do INPE, e com auxílio de ferramentas de SIG, foi selecionada apenas a área de interesse, e obteve-se um mapa de declividade (Figura 12), sendo utilizadas como parâmetros de inclinação informações propostas pela EMPRAPA em 1979. A tabela é descrita abaixo:

Tabela 1 – Classe de declividade – Bacia hidrográfica Rio Sesmaria

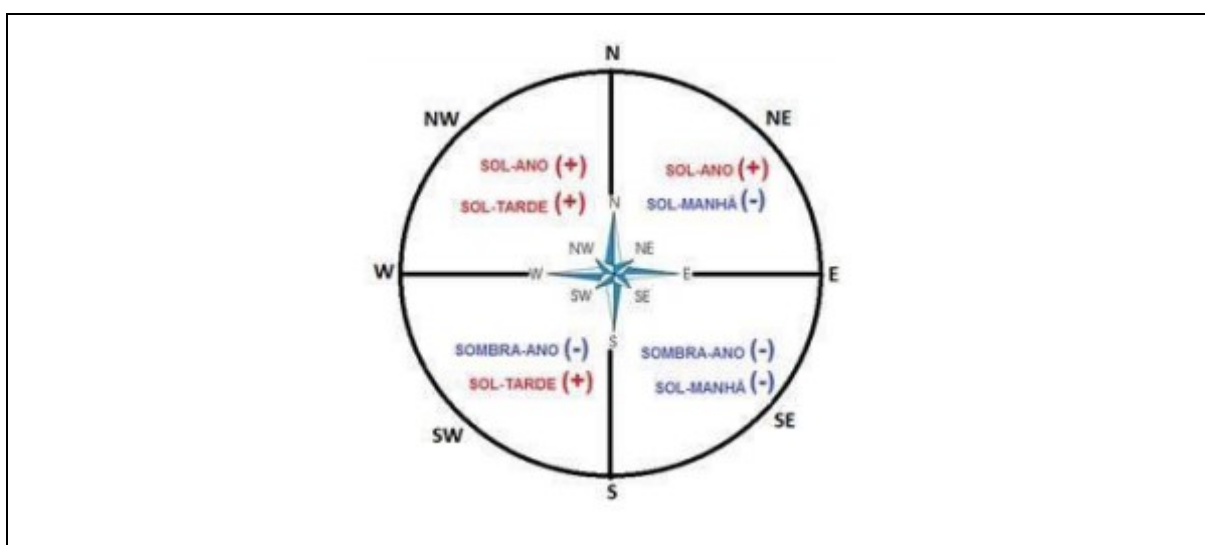
Declividade (%)	Relevo	Área (km ²)	%
0-3	Suave	7,27	4,87
3-8	Suave-ondulado	10,30	6,90
8-20	Ondulado	24,72	16,56
20-45	Forte-ondulado	59,37	39,77
45-75	Montanhoso	31,54	21,13
>75	Forte-montanhoso	16,06	10,76
TOTAL		149,27	100

Fonte: EMBRAPA, (1979).

2.1.10.3 Vertente

De acordo com CBMMT (2020), a exposição de determinadas regiões à radiação solar faz com que a superfície terrestre receba diferentes incidências de energia ao longo do dia. Este fato afeta os incêndios florestais, pois a temperatura é um dos fatores que influenciam sua dinâmica. A imagem abaixo demonstra de forma qualitativa o fluxo de energia absorvido em uma determinada vertente da superfície terrestre no hemisfério sul.

Figura 55 – Qualificação de insolação na superfície terrestre no hemisfério sul

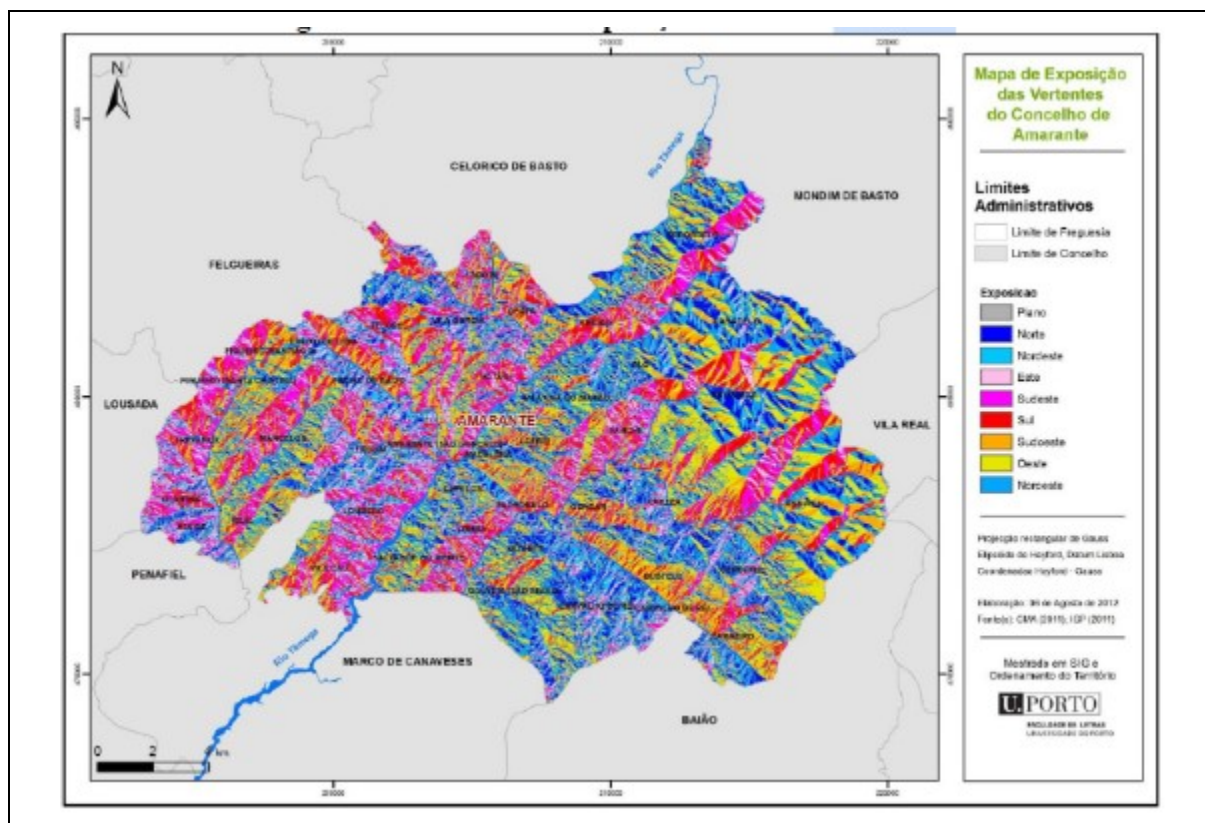


Fonte: CBMMT, 2020.

A exposição constitui um fator muito importante na capacidade de propagação dos incêndios, já que influi decisivamente no desenvolvimento e no estado fisiológico dos combustíveis. Geralmente, as vertentes viradas a sul são as mais soalheiras, pelo que apresentam condições de menor humidade e maior insolação. Possuem, portanto, menos combustível e são mais secas, ao contrário das vertentes sombrias. Estas apresentam condições climáticas e um mosaico de vegetação favorável à rápida inflamação e propagação do fogo. (MATOS, 2012)

A seguir, um mapa temático de vertente confeccionado a partir de um MDT da região analisada de Amarante em Portugal.

Figura 56 – Mapa temático de Vertente



Fonte: Alves (2012)

O trabalho acima pode ser realizado com ferramentas de SIG, com base de dados vetoriais e matriciais provindos do sensoriamento remoto.

2.1.11 Meteorologia

De acordo com Matos (2012), a ignição e a propagação dos incêndios florestais são influenciadas ativamente pelos fatores meteorológicos. Para ele, esses fatores regulam o início das temporadas mais propícias ao desenvolvimento de IFs.

Os fatores meteorológicos classificam-se em dois grupos: os fatores condicionantes, a saber, a precipitação, a temperatura do ar, a humidade relativa do ar, a nebulosidade e as trovoadas, e os fatores determinantes, designadamente, a velocidade do vento, o rumo do vento, a intensidade de turbulência e a estabilidade atmosférica (VIEGAS *et al.*, 2011)

Para o autor, o primeiro grupo condiciona a ocorrência dos incêndios florestais, além do desenvolvimento da vegetação e desidratação dos combustíveis. O segundo grupo influencia os processos de transmissão de energia, transporte de gases, além

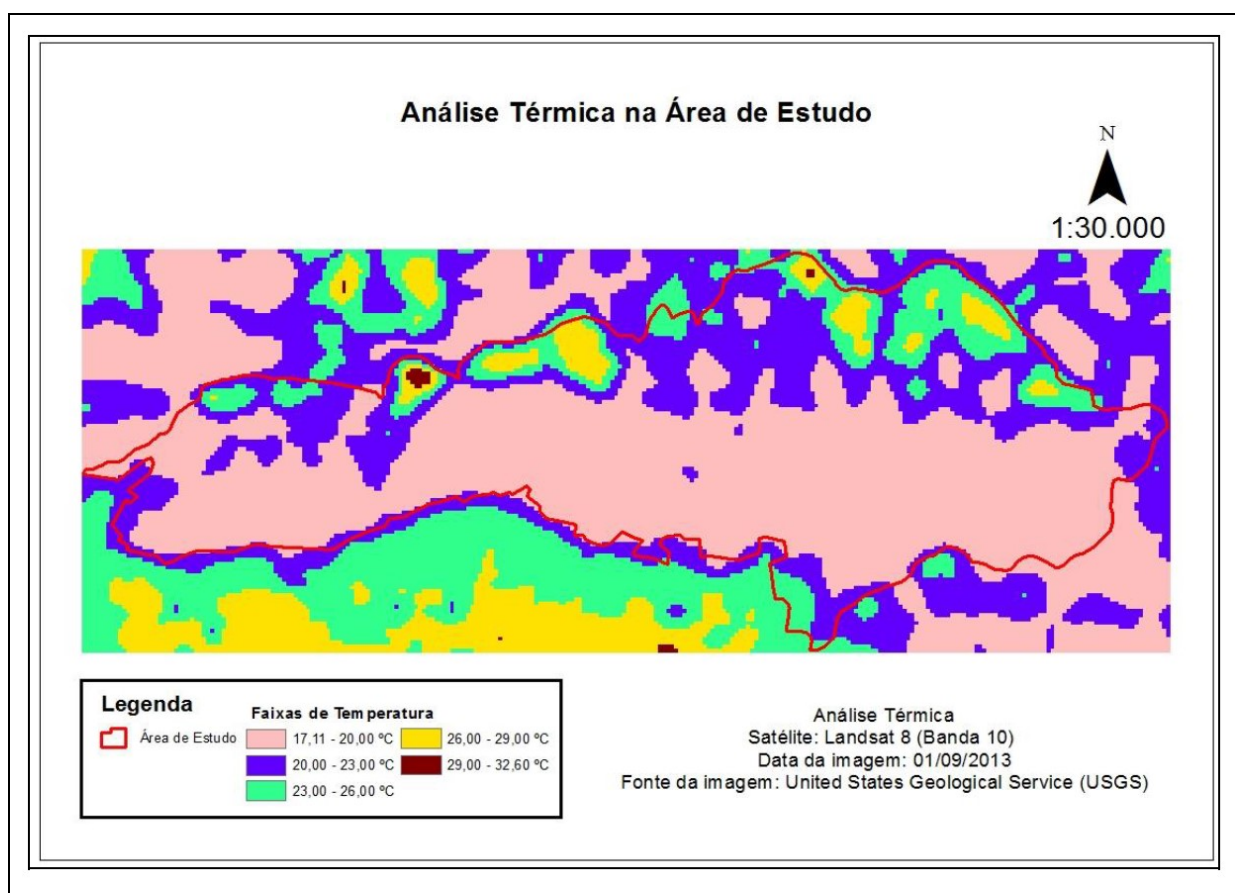
da temperatura do incêndio, condições determinantes para a dinâmica de propagação de um IF.

2.1.11.1 Temperatura do ar e da superfície

Apesar da temperatura da superfície terrestre não ser um parâmetro meteorológico, tem-se que esta informação pode ser extraída pelas imagens espectrais frutíferas do sensoriamento remoto.

Santos (2018) utilizou as operações entres bandas (tópico 2.1.3.3), com base em fórmulas disponíveis pela USGS, para realizar a conversão de imagens digitais para índices de irradiância, que por sua vez torna possível a extração da temperatura superficial para cada pixel da imagem. O resultado é ilustrado abaixo.

Figura 57 – Estimativa da temperatura da superfície com base no SR



Fonte: Santos (2018).

Santos (2018) utilizou uma imagem de satélite do dia seguinte ao sinistro de incêndio, corroborando o previsto por Benali *et al.* (2016), que afirma que após 72 horas após um IF, há uma perda considerável de informações.

A análise da temperatura do ar na região também pode ser ilustrada pixel a pixel na região de estudo. A ferramenta de SIG utilizada neste processo é a descrita no tópico 2.1.5.6 deste trabalho, e é exemplificada pela Figura 18. Ela ilustra a interpolação de temperaturas com base nos dados de estações meteorológicas da África do Sul.

Os dados para a realização de uma interpolação podem ser encontrados ao consultar o site do INMET (<https://portal.inmet.gov.br/>), procurando por estações meteorológicas.

2.1.11.2 Umidade relativa do ar, precipitação e vento

A umidade relativa do ar, a precipitação e as características dos ventos são fatores que influenciam os incêndios florestais, conforme descrito no tópico XX deste trabalho. Segundo o site do INMET:

“A rede de estações meteorológicas automáticas utiliza o que há de mais moderno internacionalmente. Os dados coletados por essa rede são disseminados, de forma democrática e gratuita, em tempo real, na página <http://www.inmet.gov.br>, e têm aplicação em todos os setores da economia, de modo especial no agropecuário e em apoio à Defesa Civil”

As estações meteorológicas exibem normalmente uma posição georreferenciada e sensores que disponibilizam dados, como umidade relativa do ar, altitude, temperatura de orvalho, temperatura do ar, velocidade e direção do vento, velocidades das rajadas de vento e dados de precipitação. Os valores são atualizados de forma diária e até a cada hora (INMET, 2020).

Miranda *et al.* (2017) realizaram um estudo estatístico aplicando dez métodos (algoritmos) em ferramentas de SIG para interpolar as variáveis de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, volumes de precipitação e radiação solar.

Observou-se no seu trabalho que a interpolação de valores de temperatura obteve o melhor resultado, seguido da umidade relativa, velocidade do vento, radiação e precipitação.

Entende-se que estas variáveis, associadas ao trabalho de geoprocessamento, podem estimar a temperatura pixel a pixel de uma área de estudo nas investigações das condições meteorológicas antes e durante a um incêndio florestal.

2.4 Atividade de investigação de incêndio florestal

No âmbito do CBMDF, a perícia de incêndio florestal é normalizada pela Lei nº 8.255, de 20 de novembro de 1991, que traz no art 2º inciso III a seguinte redação: “realizar perícias de incêndio relacionadas com sua competência”.

Para Bastos e Silva (2010), um dos crimes contra flora é o desmatamento, que implica na descontinuidade da vegetação original, reduz o habitat disponível aos organismos silvestres e acrescenta bordas a uma paisagem até então contínua. Ainda segundo os autores, as queimadas e os incêndios florestais figuram em fatos importantes que resultam na supressão da vegetação.

Conforme Caldas (2009), o aumento do interesse da população pelas causas relativas a proteção ambiental tem implicado em uma alavancagem da demanda dos serviços relacionados a perícia de incêndios em vegetação, usos indevidos de áreas de preservação permanente e de reserva legal, danos à fauna, danos em unidades de conservação, poluição, erosão, avaliação de áreas de mineração, constatação de reparação de dano ambiental, entre outros.

De acordo com o CBMDF (2019), os processos realizados ao investigar as causas de um incêndio em vegetação requerem do investigador diversas habilidades, dentre elas a capacidade de identificar a dinâmica do incêndio, com foco na regressão ao ponto de origem do sinistro. Ainda conforme a referência, o conhecimento sobre o comportamento das condições ambientais é essencial para a leitura de indicadores que permitam delimitar um ponto de origem.

O apoio das ferramentas de SIG nos dias atuais é primordial na atividade de investigação de incêndio em vegetação. O SR é um “aliado à utilização de dados

cartográficos, e permite que sejam feitos levantamentos prévios de informações relativas à área a ser periciada” (CALDAS, 2020).

Em seguida, serão caracterizados os principais conceitos relacionados à investigação de incêndio florestal e dos procedimentos esperados a serem realizados pelo investigador nestes tipos de sinistros.

2.1.12 Zona de confusão

De acordo com o CBMGO (2018), a Zona de Confusão é a delimitação da área entre a frente e a retaguarda de um incêndio, onde o mesmo está em sua fase inicial, desenvolvendo uma reação em cadeia para formar a dinâmica do incêndio.

Na zona de confusão está localizada a zona de origem que é o “local da ignição que causou o incêndio florestal” (CBMGO,2020).

Conforme traduz o CBDMF (2019), quando um investigador em uma análise em campo encontrar uma região onde a coleta de vestígios indica uma queima branda e incompleta em todas direções, é porque há grande possibilidade de ter encontrado a zona de confusão.

As observações realizadas dentro de aeronaves de combate possuem valiosas informações podem ajudar a reduzir a área de atuação do investigador em campo (CBMDF, 2019).

Conforme o manual do CBMDF, a doutrina da instituição se difere da prática, na busca do objeto causador de um incêndio florestal, pois tem como mais importante a menor delimitação da zona de origem possível.

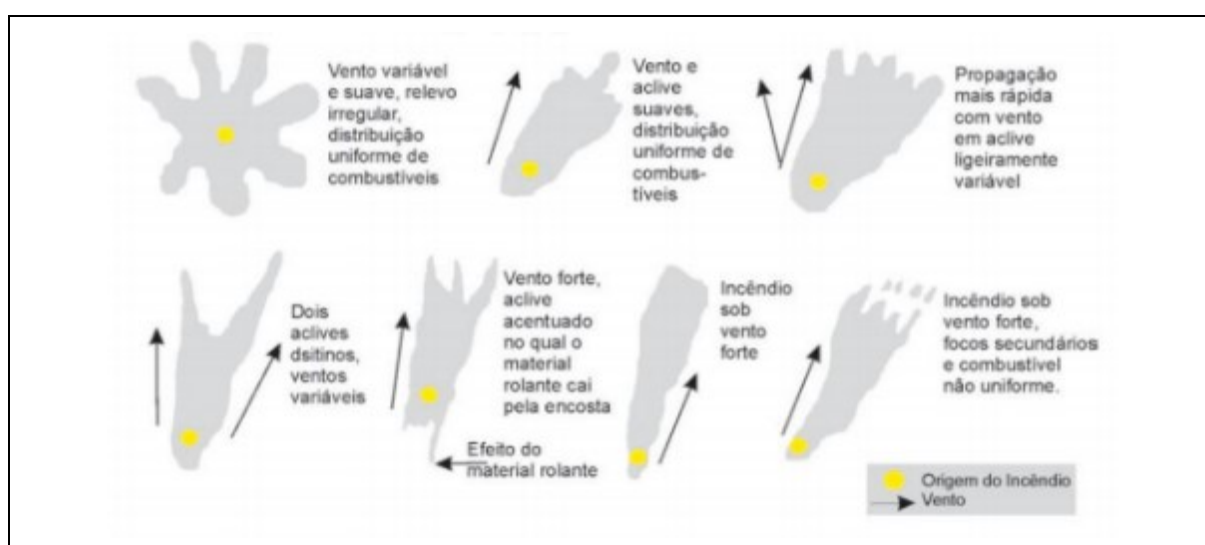
2.1.13 Geometria de um Incêndio Florestal

A superfície afetada pela propagação do incêndio tem formas geométricas distintas em função dos fatores que interferem na propagação do fogo. Em uma área incendiada muito extensa um voo em grande altitude possibilitará definir a geometria do incêndio florestal, reduzindo o trabalho de investigação a uma área menor (CBMGO, 2017).

Nos incêndios em áreas planas, com combustíveis uniformes e contínuos, a propagação tenderá a uma forma circular que, sob a ação do vento, terá uma expansão alongada e irregular conforme condições de vento, relevo e vegetação (CBMGO, 2017).

A imagem abaixo, extraída no manual de investigação de incêndio florestal do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) elenca algumas características de cicatrizes de queima sob influências da topografia, combustível e do vento.

Figura 58 – Modelos geométricos de propagação dos IF's



Fonte: IBAMA, 2010.

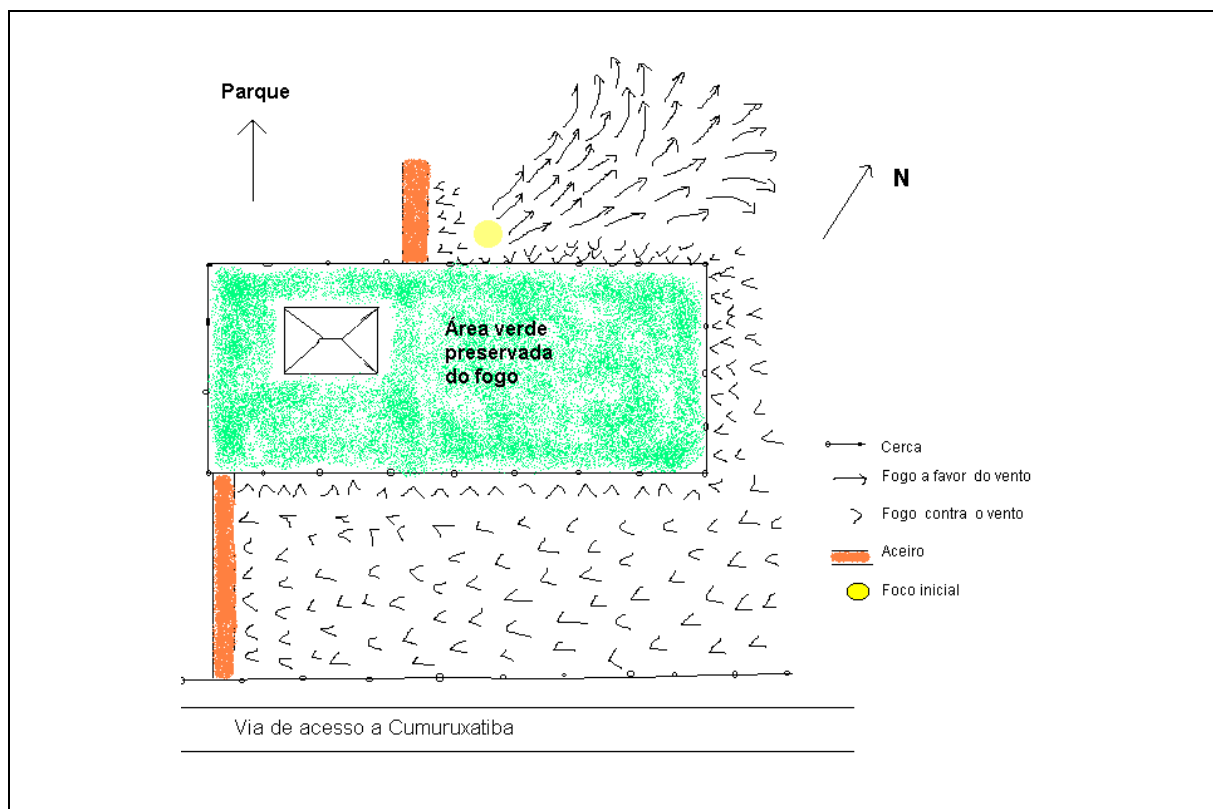
Dependendo da área do incêndio, o CBMGO (2017) sugere a utilização de aeronave para delimitação de coordenadas da área provável do incêndio com o intuito de restringir sua área de investigação em campo.

2.1.14 Confecção de croqui

Conforme as regras propostas no manual do CBMDF, a confecção do croqui de um incêndio florestal deve ser claro, objetivo, e feito em escala compatível com a área.

Um exemplo de croqui retirado do manual de investigação do IBAMA é demonstrado abaixo, onde são vistos os dois principais símbolos do fogo a favor e contra o vento e algumas referências físicas.

Figura 59 - Modelo de croqui de um incêndio florestal



Fonte: CBMDF, 2019.

Deve se atentar que ao confeccionar um croqui deve-se preferencialmente realizar um georreferenciamento, utilizando *softwares* de SIG, bem como utilizar imagens de SR para elaborar o mapa temático, incluindo a classe de forma estatística de cada tipo de vegetação perdida (CBMDF, 2019).

Para uma boa descrição dos resultados obtidos pela coleta em campo e pelas análises realizadas em laboratório pelo analista é necessária a confecção de um memorial descritivo, onde são contidas as seguintes informações:

A área total do incêndio, data, hora, fatores meteorológicos (como umidade, temperatura, velocidade e direção do vento, índice de inflamabilidade), área de cada tipo de vegetação queimada e danos indiretos, técnica usada no tratamento das imagens e a origem da imagem usada (CBMDF, 2019).

2.1.15 Orientação na atividade de campo

Para Gutierrez (2010), esta etapa é uma das mais importantes do processo de investigação, pois a partir da ida até o local do sinistro é possível realizar um diagnóstico mais aprofundado, bem como comprovar as informações catalogadas

previamente a respeito de documentação cartográfica, imagens de satélite, fotografias aéreas.

Em incêndios florestais de grande dimensão, em que somente é possível ter uma visão do todo com a utilização de aeronaves, é necessário delimitar a área provável da origem do incêndio para restrição da área de atuação em campo, devendo-se avançar no sentido que os indicadores de queima vão o conduzindo a uma zona de origem (CBMGO, 2020).

Almeida *et al.* (2000) sugere que alguns procedimentos são essenciais de serem realizados nesta etapa pelo analista, tais como: caracterização da área do entorno, observação detalhada dos aspectos fisiográficos da área, registro fotográfico e descrição das atividades desenvolvidas no local.

3 METODOLOGIA

Este trabalho visou aplicar os sistemas de informação geográficas em conjunto com os dados gerados pelo sensoriamento remoto para a descrição de procedimentos que visam tornar mais eficiente a atividade de investigação de incêndios florestais

Diante desta abordagem, Thiollent (1998) afirma que a pesquisa aplicada se preocupa com a identificação de problemas buscando soluções para os mesmos. A presente pesquisa se enquadra como aplicada, devido à busca de uma solução específica para uma determinada atividade finalística, que é a identificação de uma zona de origem mais qualificada e delimitada de um incêndio florestal, bem como uma descrição mais detalhada da dinâmica destes tipos de desastre.

Assim, procurou-se classificar esta pesquisa quanto ao método, quanto aos objetivos, quanto a abordagem e quantos procedimentos empregados.

3.1 Quanto ao método

A pesquisa estudou incêndios reais ocorridos no passado no território brasileiro, aplicando técnicas de geoprocessamento e de PDI referenciadas pela revisão de literatura, objetivando a discussão das técnicas utilizadas na abordagem, vislumbrando a descrição das ferramentas de análise a serem adotada pelos investigadores de incêndios florestais.

Grandes incêndios foram analisados através de ferramentas disponíveis no ambiente do SIG, e com aplicação de técnicas de análise para dedução de observações padronizadas que possam ser usadas pelos investigadores em casos futuros na descrição das dinâmicas dos incêndios e nas de exclusão de áreas a serem visitadas em campo, concentrando o trabalho do perito nas regiões mais prováveis de origem e possibilitando assim uma maior assertividade na identificação das causas dos incêndios florestais.

Desta forma, foram tratados nesta pesquisa casos históricos de incêndios florestais, e a partir de leis e teorias abordadas na bibliografia, por meio de uma conexão de raciocínio descendente, partiu-se do geral para o particular, visando a um

uma análise peculiar dos incêndios, que foram transformadas em técnicas sugeridas a serem adotadas pelos investigadores de incêndios florestais.

De acordo com Lakatos e Marconi (2007), este método de pesquisa se qualifica como dedutivo, e é o que mais se adequou às condições inerentes ao presente trabalho.

3.2 Quanto aos objetivos

Este estudo visou investigar os incêndios florestais sob uma nova perspectiva dentro do CBMDF. Foram exploradas as variáveis ambientais com a utilização dos sistemas de informações geográficas, e com os insumos gerados pelos sensores remotos orbitais, objetivou-se delinear a proposição de métodos que auxiliem o perito de IF a descrever a realidade do sinistro de forma mais qualificada.

Foram explorados incêndios de grandes proporções (acima de 100 hectares), que por sua natureza, naturalmente demandam grande esforço no trabalho de campo para seu estudo, com necessidade de grande apoio logístico como o uso de aeronaves, drones e viaturas.

Este trabalho buscou explorar as variáveis relacionadas aos incêndios florestais, tais como as influências dos padrões meteorológicos, topográficos e de combustíveis, utilizando dados originados pelo sensoriamento remoto para a descrição das influências destas variáveis no comportamento destes fenômenos.

Segundo Prodanov e Freitas (2013, p. 52) a pesquisa exploratória permite o estudo do tema sob diversos aspectos, tais como o levantamento bibliográfico, interação com indivíduos que tiveram experiência com o tema pesquisado e o estímulo de exemplos para facilitar a compreensão.

Portanto, a pesquisa analisou diversos exemplos de incêndios florestais reais, utilizando uma grande gama de bibliografias para a descrição e processamentos das variáveis de IF, contando ainda com a aplicação de um questionário para explorar a experiência e interação dos investigadores de incêndios florestais com produtos disponíveis obtidos pelo sensoriamento remoto.

3.3 Quanto a abordagem

A abordagem desta pesquisa teve um foco qualitativo, que, no entanto, não dispensou análises de dados quantitativos para a investigação do objeto estudado. A opção por uma pesquisa qualitativa deu-se por essa abordagem possuir um foco de interesse amplo, na qual o pesquisador procura entender os fenômenos segundo a perspectiva dos participantes da situação estudada, e a partir daí, estabelecer sua interpretação. Segundo Neves (1996, p. 1) esta abordagem tem por objetivo traduzir e expressar o sentido dos fenômenos do mundo social.

Ademais, ao analisar a bibliografia utilizada neste trabalho verificou-se a necessidade de uma extensiva análise de dados quantitativos, devido a variáveis como a influência do combustível, da topografia e de fatores meteorológicos na dinâmica do IF, que requerem processamentos por *softwares* e desenvolvimento de métricas para a indução de generalidades na aplicação de um modelo padrão de análise de IF.

3.4 Quanto aos procedimentos aplicados

No presente trabalho, realizou-se o processamento digital de imagens com auxílio dos SIG para a investigação e produção de informações a serem utilizadas pelos peritos. Os dados utilizados foram extraídos de acervos gratuitos de bancos de dados de imagens de satélites disponíveis na Internet. A partir das informações geradas, foram analisados casos de grandes incêndios florestais no Distrito Federal e no território brasileiro, utilizando as geotecnologias e o sensoriamento remoto.

Assim, quanto aos procedimentos técnicos, esta pesquisa é caracterizada como documental pois, de acordo com Gil (1991, p. 51) a “pesquisa documental vale-se de materiais que não receberam ainda um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa”.

Foram obtidas imagens de satélites nos bancos de dados da NASA através do site Worldview pelos sensores a bordo dos satélites Aqua e Terra de baixa resolução espacial, para análise temporal de incêndios na capital federal e no estado de Goiás. O foco da obtenção destas imagens não foi a melhor delimitação da origem dos incêndios e sim o descarte de áreas possivelmente elegíveis a delimitação de origem

do incêndio, além de observação através da análise histórica dos incêndios da dinâmica e do comportamento destes eventos, que também foram alvos dos estudos.

Acessou-se também o banco de dados do INPE, para acesso aos dados históricos dos focos de calor obtidos pelos satélites disponíveis na plataforma. Buscou-se pela interpretação destes dados a identificação do surgimento focos de calor, para refinar a localização e momento de início de um incêndio florestal.

As imagens de média resolução espacial captadas pelos sensores a bordo dos satélites, Landsat 8, Sentinel 2, CBERS 4A e Resourcesat 2, foram obtidas nos bancos de dados do INPE, USGS e ESA. Estas imagens tiveram como premissa delimitar com mais acurácia as zonas de origem dos incêndios, bem como realizar o levantamento do uso e ocupação do solo, para a quantificação de fitofisionomias degradadas pelos incêndios florestais, além de possibilitar a interpretação da dinâmica dos incidentes.

Adicionalmente, foi aplicado um questionário aos peritos da ativa do CBMDF, com objetivo de identificar a interação dos peritos com as informações geradas pelo sensoriamento remotos em um incêndio florestal ocorrido em outubro de 2020 nas proximidades da Chapada dos Veadeiros ao norte do estado de Goiás.

De acordo com Gil (2008) o questionário apresenta grandes vantagens em uma pesquisa como menores gastos com pessoal, além de garantir o anonimato das respostas e ainda permite que as pessoas respondam no momento mais conveniente.

O questionário foi composto por questões fechadas, pois conforme a referência acima citada, esta configuração confere maior uniformidade às respostas, e podem ser facilmente processadas.

Buscou-se através deste questionário coletar informações quantitativas a respeito da identificação de localidades próximas a zona de origem do incêndio florestal em estudo, sob os aspectos da geometria resultante do incêndio, da ocupação do solo da área atingida, da topografia e dos fatores meteorológicos registrados à época do incêndio.

O questionário apresentou a evolução histórica dos focos de calor e das imagens obtidas pelos satélites Aqua e Terra, sendo solicitado ao colaborador valorar

a importância destas informações no processo de investigação dos incêndios florestais.

Buscou-se identificar neste questionário a distribuição estatística das regiões escolhidas pelos colaboradores como pontos mais próximos à origem do incêndio, sob o aspecto das variáveis acima mencionadas.

Por fim, objetivou-se qualificar a importância dada pelo respondedor em analisar um incêndio florestal em atividades extra campo com auxílio informações geradas pelas plataformas orbitais.

A aplicação do questionário teve como universo peritos de incêndio da ativa do CBMDF que regularmente no ano de 2020 concorreram a escala de serviço relacionado a atividade de investigação. O universo da amostra foi quantificado através de uma pesquisa no sistema escalador da instituição e a lista segue nos apêndices.

O valor quantificado foram de 34 peritos e obteve como contribuidores do questionário 18 investigadores.

$$n = \frac{N \cdot \sigma^2 \cdot \left(\frac{Z_{\alpha}}{2}\right)^2}{(N-1) \cdot E^2 + \sigma^2 \cdot \left(\frac{Z_{\alpha}}{2}\right)^2} \quad (2)$$

Onde (n) representa o tamanho da amostra, com base na estimativas da média populacional, (E) a margem de erro, $(Z_{\alpha/2})$ o valor crítico que corresponde ao grau de confiança aplicado, (σ) o desvio-padrão populacional e (N) o tamanho da população.

Aplicando a equação acima, extraída da obra de Levine (2020), foi evidenciado que os 19 respondedores representaram um grau de confiança de 85% com uma margem de erro de 10% para as respostas apresentadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar pesquisas nos bancos de dados dos SIG disponíveis gratuitamente pela internet, foram encontrados imagens e dados do Distrito Federal que foram acometidos por incêndios florestais. Estas informações serão expostas e analisadas aqui nesta seção para a demonstração das potencialidades acerca dos usos destes dados na investigação dos incêndios florestais bem como na descrição de seu desenvolvimento e sua dinâmica.

Para a organização do estudo, os dados catalogados de diversos incêndios no Distrito Federal serão apresentados para análise em seis grandes eixos, sendo eles: análise de focos de calor, análise de cobertura do solo, análise topográfica, análise meteorológica, aplicações cartográficas de orientação e análise de imagens multiespectrais.

Em seguida será trazida a percepção dos peritos atuantes na escala do serviço de investigação CBMDF, observada por meio da aplicação do questionário, com foco na importância da utilização de informação geradas pelo sensoriamento remoto para uma melhor compreensão da dinâmica de um incêndio florestal, bem com a maior eficiência na delimitação e restrição de regiões elegíveis para possíveis zonas de origens dos IF.

4.1 Análise das variáveis de IF e suas geotecnologias

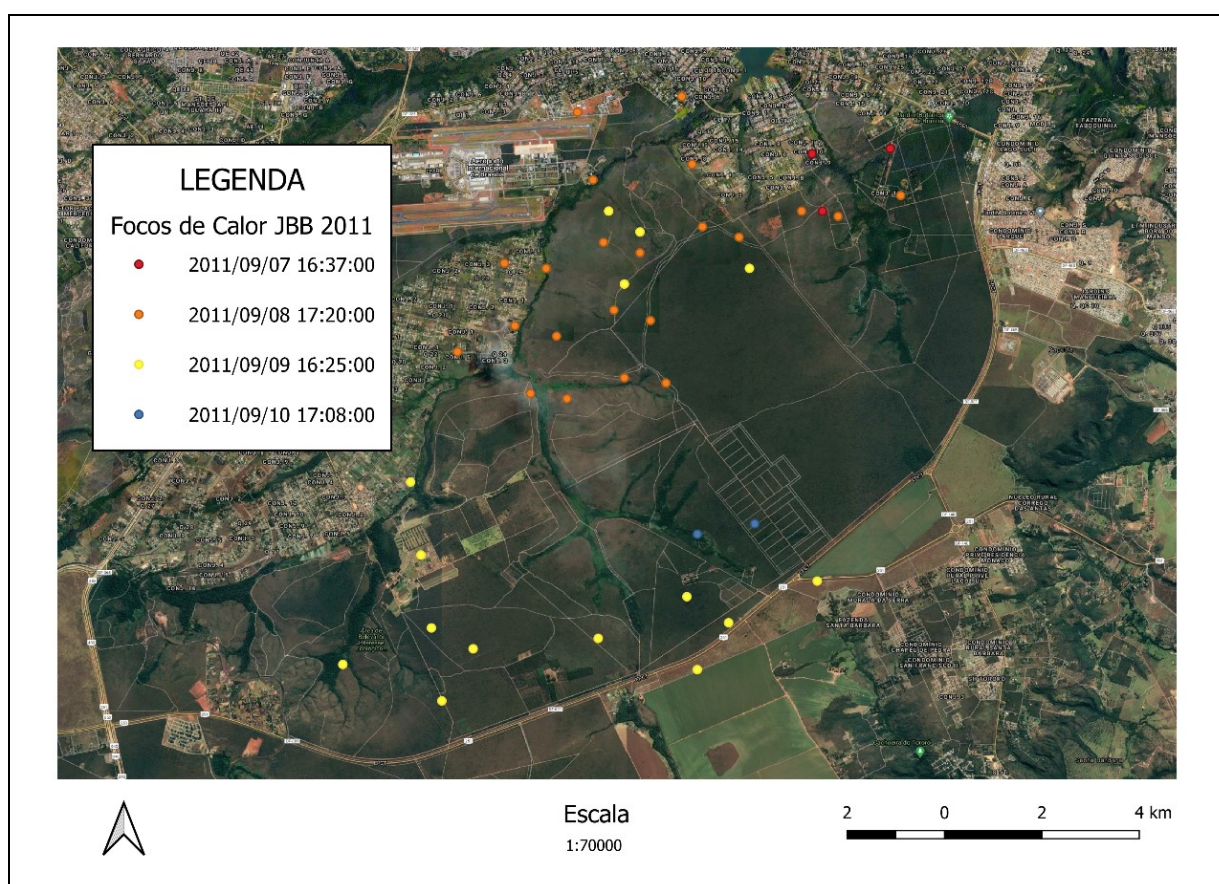
4.1.1 Análise dos focos de calor

Para a verificação das potencialidades da consulta dos focos de calor obtidos pelo INPE, foram consultados os focos em um intervalo de 4 dias entre os dias 07/09/2011 e 10/09/2011 relacionados a um incêndio que atingiu a Estação Ecológica Jardim Botânico de Brasília em setembro de 2011.

Este sinistro mereceu destaque na época, pois além de grande logística montada pelo CBMDF, IBRAM e demais instituições da capital, foi ainda mobilizada a União com a utilização de aviões da Força Aérea brasileira (FAB) para disponibilização de água.

Na consulta ao INPE, foram registrados 42 focos de calor entre o 1º foco e o último registrado durante o incidente. Os focos foram plotados sobre uma imagem obtida pela empresa Google, no *software* QGIS, em uma sequência de datas, das mais recentes para as mais antigas, e podem ser visualizadas na imagem abaixo.

Figura 60 – Distribuição de focos de calor no Mosaico

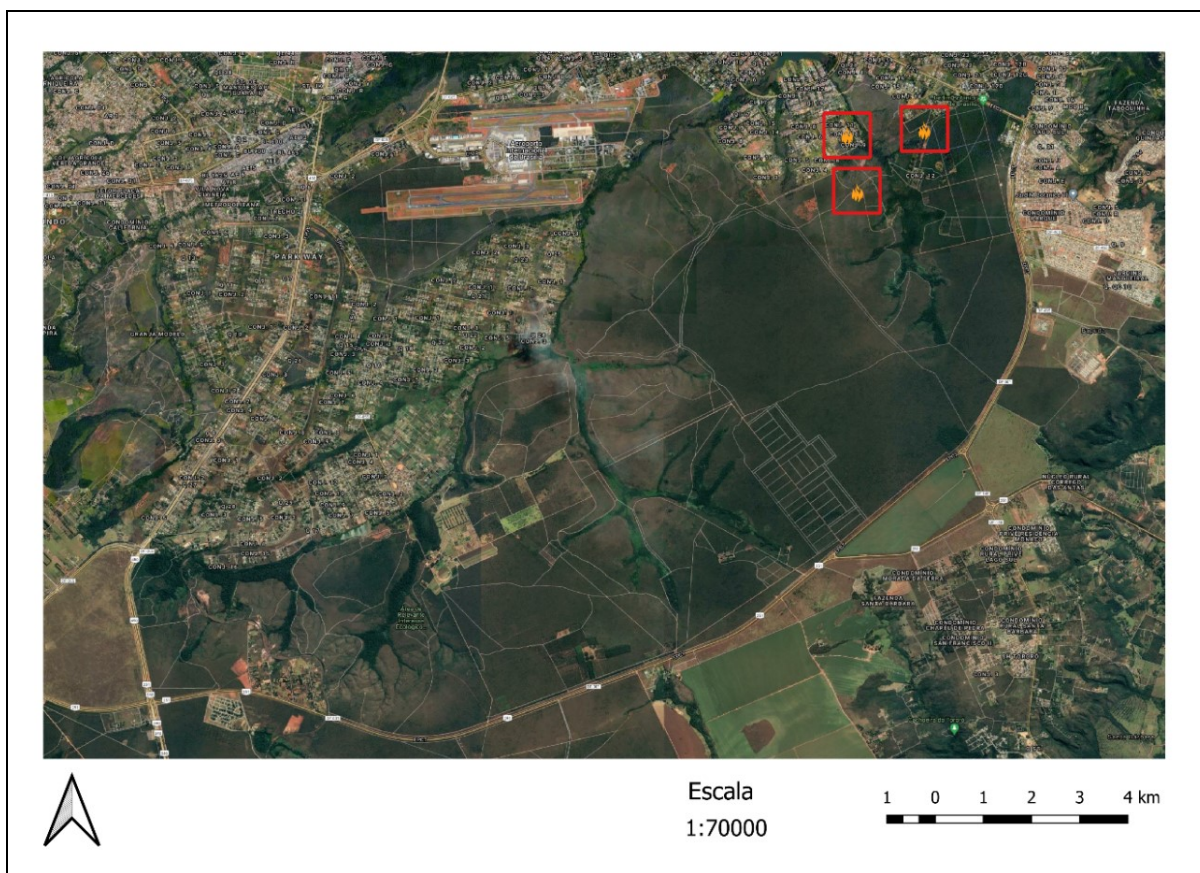


Fonte: o autor.

De acordo com a imagem acima, é possível perceber a evolução temporal dos focos de calor, que iniciaram próximo à sede do JBB (focos em vermelho) e terminam próximos a DF-001 (focos em azul).

Ainda seguindo a análise os focos identificados nos primeiros dias, foi aplicado um *buffer* de forma quadrada de 1 km de lado, para representar a região provável de localização do foco sensibilizado pelo satélite que os identificou.

Figura 61 – Focos iniciais com buffer de 1000 metros



Fonte: o autor.

Com o resultado acima, chegamos a um resultado ainda não conclusivo, porém com descarte de áreas improváveis de serem habilitadas como origem do incêndio. Percebe-se pelo trabalho acima realizado, que os primeiros focos de calor detectados possuem grande probabilidade de estar delimitados dentro do polígono em vermelho, representado na figura 60.

A delimitação quadrática do *buffer* de 1 km deve-se à consulta feita nas bases do INPE, que indica que os sensores que são sensibilizados e que geram os focos de calor estudados possuem uma resolução espacial que pode variar entre 250 m e 1 km. Assim, foi delimitado pela maior resolução.

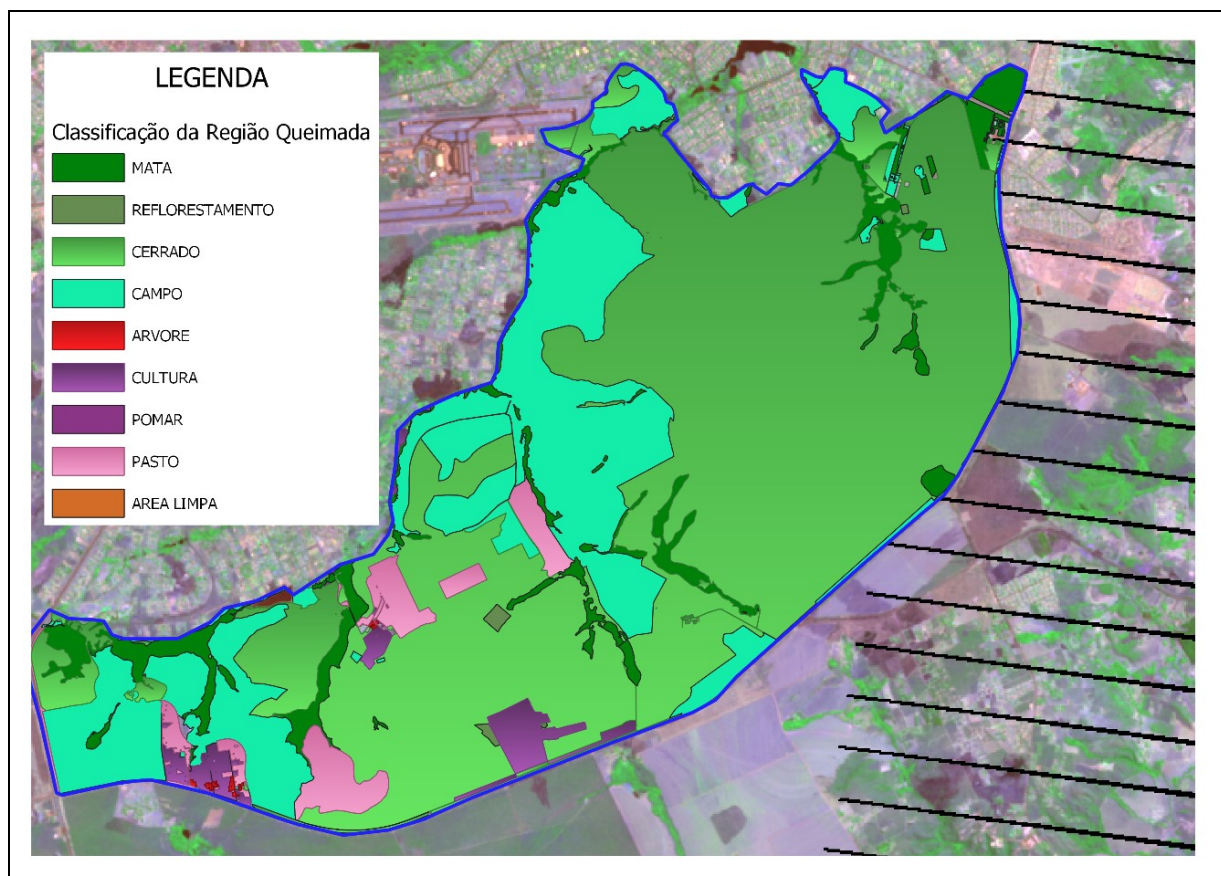
4.1.2 Análise da cobertura do solo

Para analisar a cobertura do solo, foram realizados dois estudos. O primeiro foi a classificação dos combustíveis em uma região sinistrada pelo incêndio florestal, o segundo foi a aplicação de um índice baseado em operações aritméticas entre bandas

espectrais das imagens coletadas do satélite Landsat 7, que possui uma resolução espacial de 30 metros, classificada como de média resolução.

De acordo com a classificação dos combustíveis, é possível diferenciar as particularidades dos elementos que constituem a cobertura do solo da região sinistrada entre os seguintes elementos: vegetação cerrado, vegetação florestal, vegetação campestre, água, área construída e solo exposto. O resultado foi processado através do plugin *Semi-Automatic Classification*, disponível no QGIS, utilizando o método não supervisionado. O resultado é observado na imagem abaixo:

Figura 62 – Classificação de combustível no Mosaico

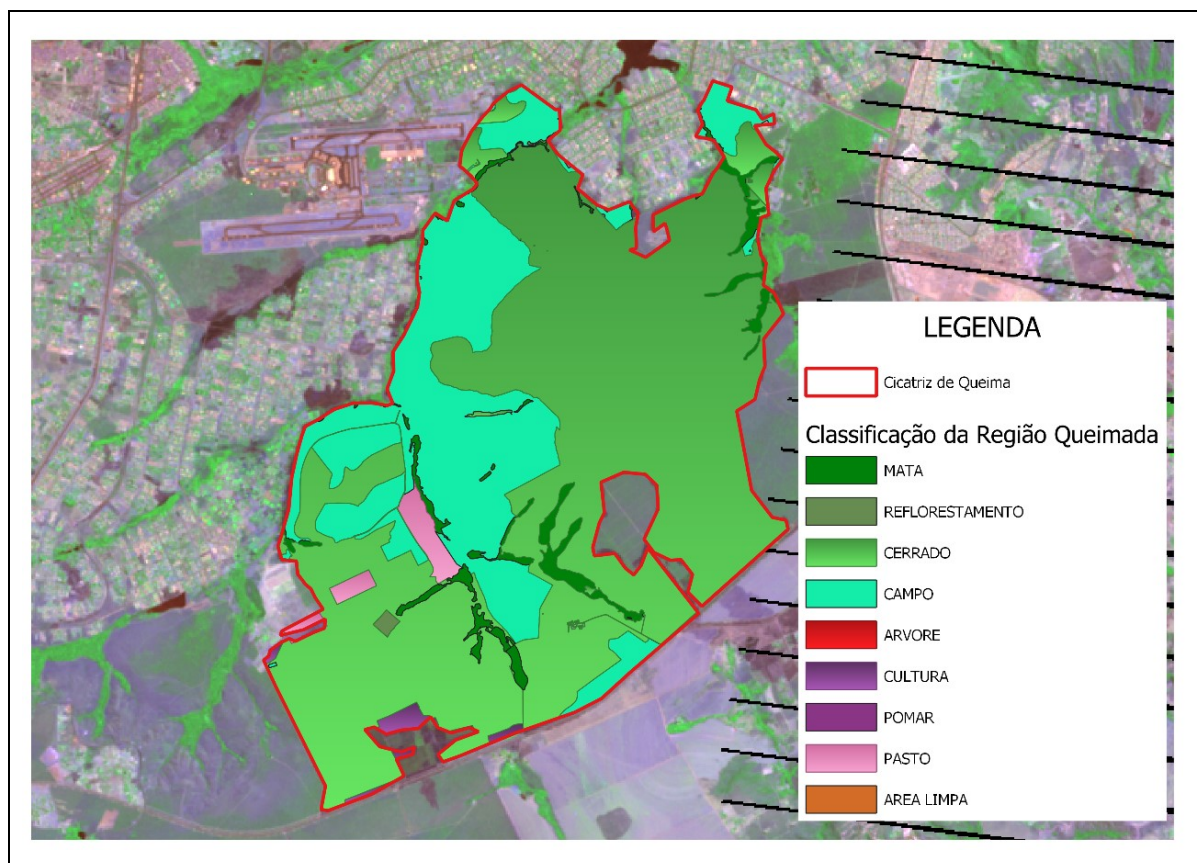


Fonte: o autor.

De acordo com a imagem acima, torna-se possível mensurar os tamanhos das regiões com cada tipo de classificação. Este procedimento permite sobrepor uma camada vetorial resultante da cicatriz de queima do IF, e assim, gerar dados estatísticos a respeito dos percentuais de combustíveis que foram degradados pelo fogo de forma classificada.

Para o incêndio no Mosaico, foram aplicadas ferramentas de intersecção dentro do *software* QGIS, para elencar as porcentagens das áreas consumidas pelo fogo, conforme o tipo de vegetação. O resultado é mostrado logo abaixo.

Figura 63 – Classificação da vegetação queimada



Fonte: o autor.

Com base no resultado acima, chegou-se aos seguintes dados, exibidos na tabela abaixo.

Tabela 1 – Quantitativo de vegetação degradado pelo fogo

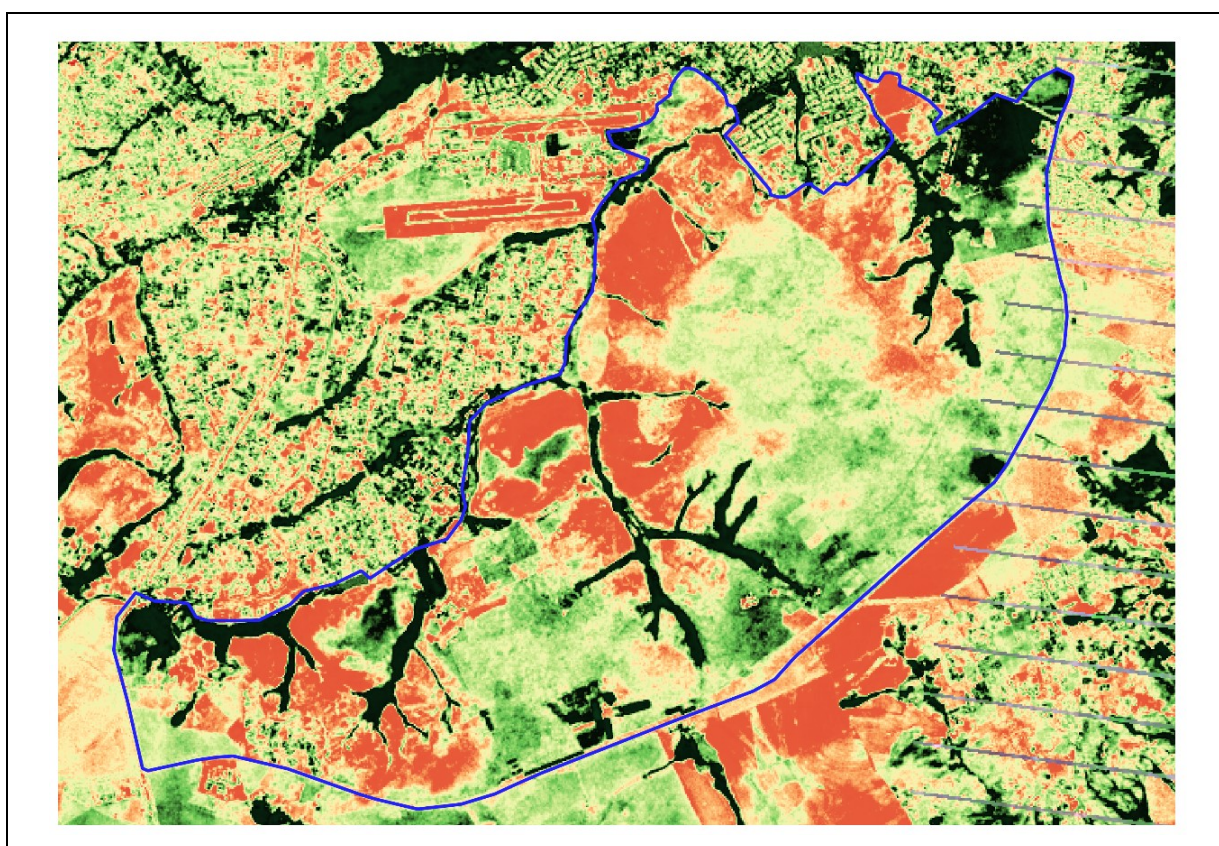
Tipos de vegetação	Área total (m²)	Total queimado (m²)	Total queimado (%)	Total queimado Mosaico (%)
Campo	37.339.856,95	23.228.530,92	62,21%	12,83%
Cerrado	120.602.115,03	77.699.028,41	64,43%	42,92%
Cultura	4.057.301,06	1.786.713,11	44,04%	0,99%
Mata	9.806.587,12	4.930.076,77	50,27%	2,72%
Pasto	8.747.445,90	2.133.994,51	24,40%	1,18%
Reflorestamento	243.458,25	208.655,87	85,70%	0,12%

Fonte: o autor.

Percebe-se que no incêndio de 2011, a maior parte consumida pelo fogo foi de vegetação típica do cerrado, seguida de regiões campestres e formações florestais (matas).

Para analisar a qualidade do combustível quanto a sua resposta fotossintética, foi aplicado o índice NDVI para região antes do acometimento do incêndio, com base em uma imagem do satélite Landsat-7, com resolução espacial de 30 metros. O resultado encontrado é apresentado abaixo.

Figura 64 - NDVI no Mosaico antes do IF

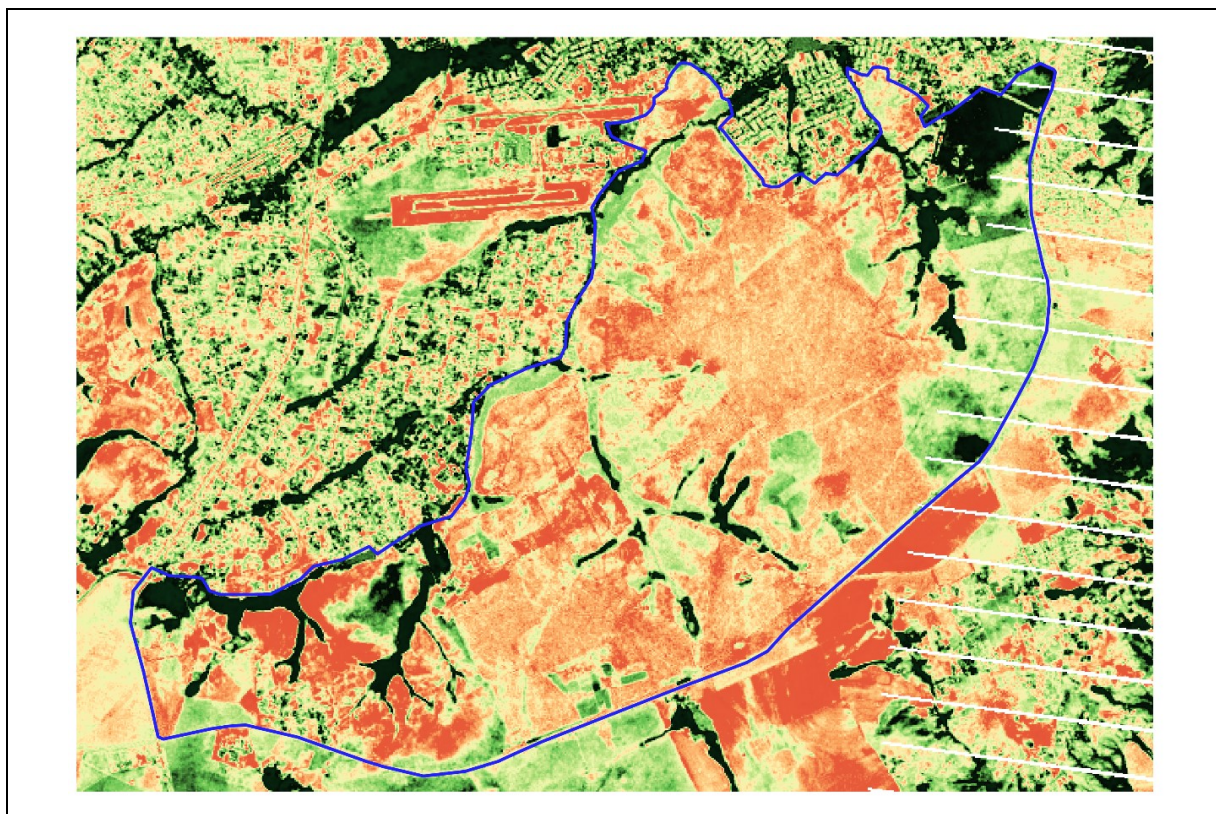


Fonte: o autor.

De acordo com a imagem acima, percebe-se os locais onde há menor quantidade de material fotossintetizante, indicando presença de combustível mais leve ou até a ausência de vegetação. Estas informações podem auxiliar em uma análise da dinâmica do incêndio, quando aplicadas antes do incêndio, e na análise da profundidade da queima, quando aplicado após o sinistro.

A imagem abaixo representa a geração do NDVI da região após o incêndio. Seguindo a mesma análise anterior, tem-se que as regiões com coloração mais próximas do vermelho indicam menor presença de combustíveis fotossintetizantes.

Figura 65 – NDVI Mosaico depois do IF



Fonte: o autor.

De acordo com a imagem acima, tomando como base a orientação a respeito da cicatriz de queima apresentada na Figura 61, percebe-se que mesmo dentro de uma região queimada ainda há a presença de material fotossintetizante, o que indica onde a queima foi mais severa ou não. Assim, será objeto de análise pelo investigador na identificação do túnel de calor, região preconizado no Manual de Perícia do CBMDF como região de incêndio totalmente desenvolvido, podendo ser descartada com zona de origem com importância para avaliação da dinâmica do IF.

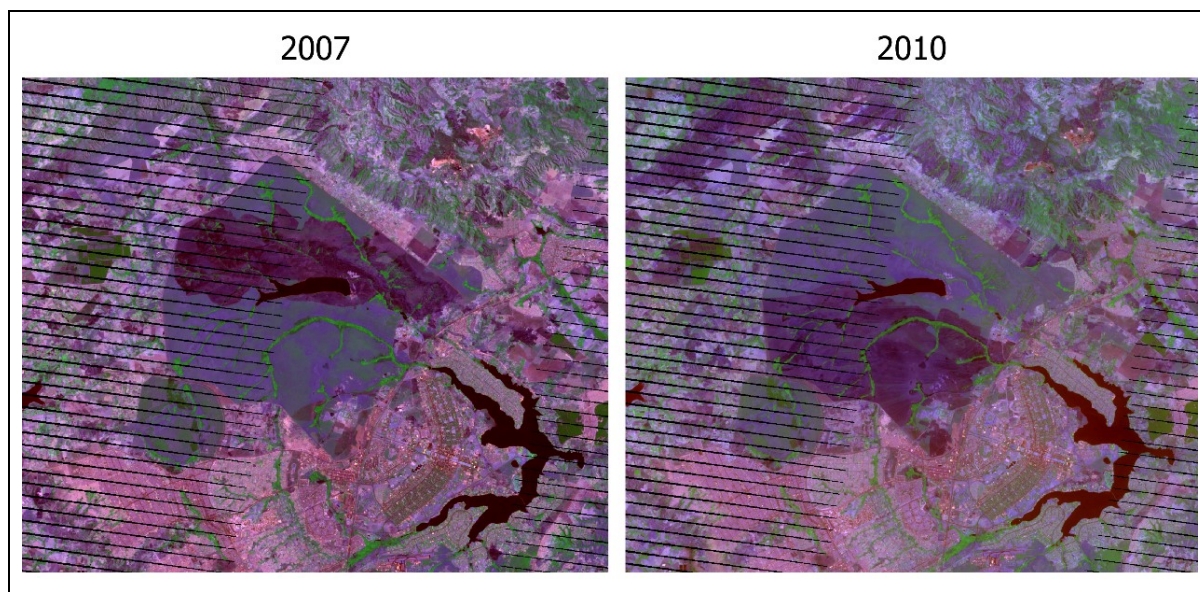
Regiões representadas pelas matas de galeria ainda tiveram respostas fotossintetizantes indicando que nestas regiões a propagação do IF se deu de forma superficial ou subterrânea.

Outras situações podem ser estudadas pela análise da aplicação do NDVI. Incêndios futuros podem ser influenciados por incêndios passados. É o caso de dois incêndios registrados no Parque Nacional de Brasília nos anos de 2007 e 2010 e também nos anos de 2016 e 2017, respectivamente.

Nos dois primeiros eventos 2007/2010, o PNB teve seus dois maiores incêndios da história, sendo consumida quase que a totalidade do parque pelo fogo no acumulado destes dois anos. Em 2007, a metade superior norte do parque foi consumida pelas chamas em um grande incêndio, com vários dias de atuação do CBMDF.

Três anos depois, um incêndio com as mesmas dimensões acometeu a porção sul do parque. A imagem gerada pelo satélite Landsat – 7 ilustra as cicatrizes de queima destes eventos.

Figura 66 – IFs no PNB nos anos de 2007 e 2010



Fonte: o autor.

Nota-se que o incêndio de 2007 se encaixa quase como um quebra-cabeça com o incêndio de 2010, demonstrado assim a influência entre um incêndio ao outro, onde regiões queimadas em uma época no passado influenciam queimas no futuro, quanto a possibilidade de não queimar com a mesma severidade ou tornar o combate e controle facilitado.

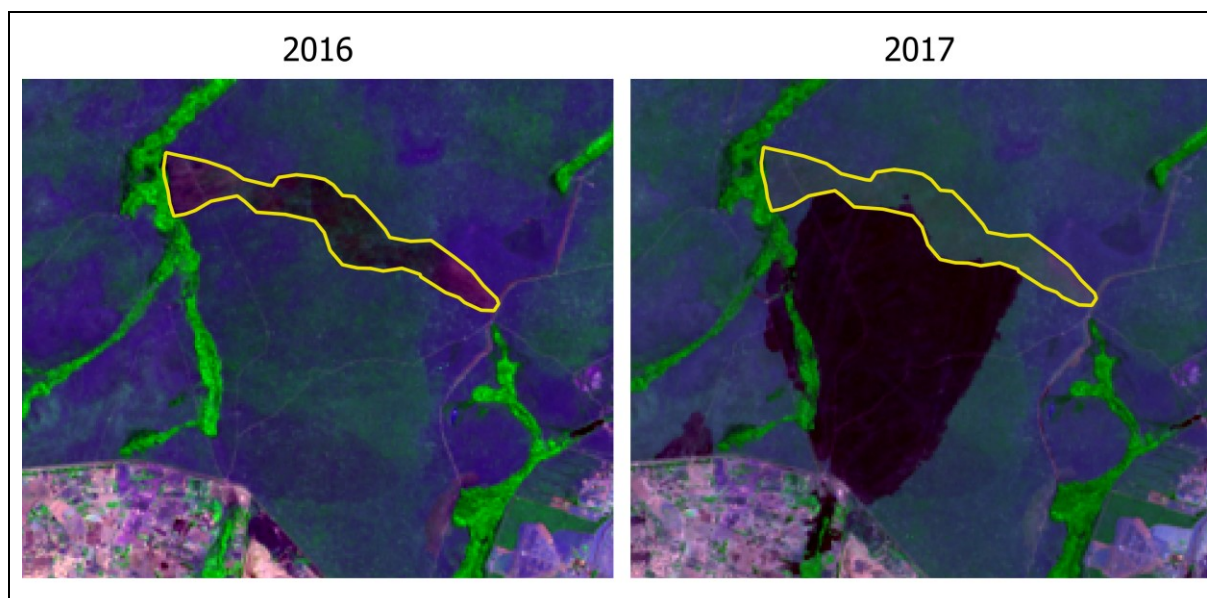
A forma exata, as quais os incêndios acima mencionados, se influenciaram, não é objeto de estudo deste trabalho, porém buscou-se tornar nítido que de alguma forma a cicatriz de queima do incêndio de 2010 manteve alguma relação visual em relação à de 2007.

Outro caso que merece destaque foi o de dois incêndios no PNB nos anos de 2016 e 2017 respectivamente. Durante a confecção de um aceiro negro em uma das estradas que cortam o parque, brigadistas perderam o controle do fogo e consequentemente deram origem a um grande incêndio.

No ano seguinte um incêndio iniciado nas proximidades da cidade satélite Estrutural-DF, propagou-se em direção a região queimada no ano anterior.

Após o controle e extinção do incêndio em 2017 foi possível analisar a cicatriz de queima final e mais uma vez foi nítido a percepção do encaixe quase que perfeito entre as duas cicatrizes de queima. As imagens dos dois incêndios são mostradas abaixo.

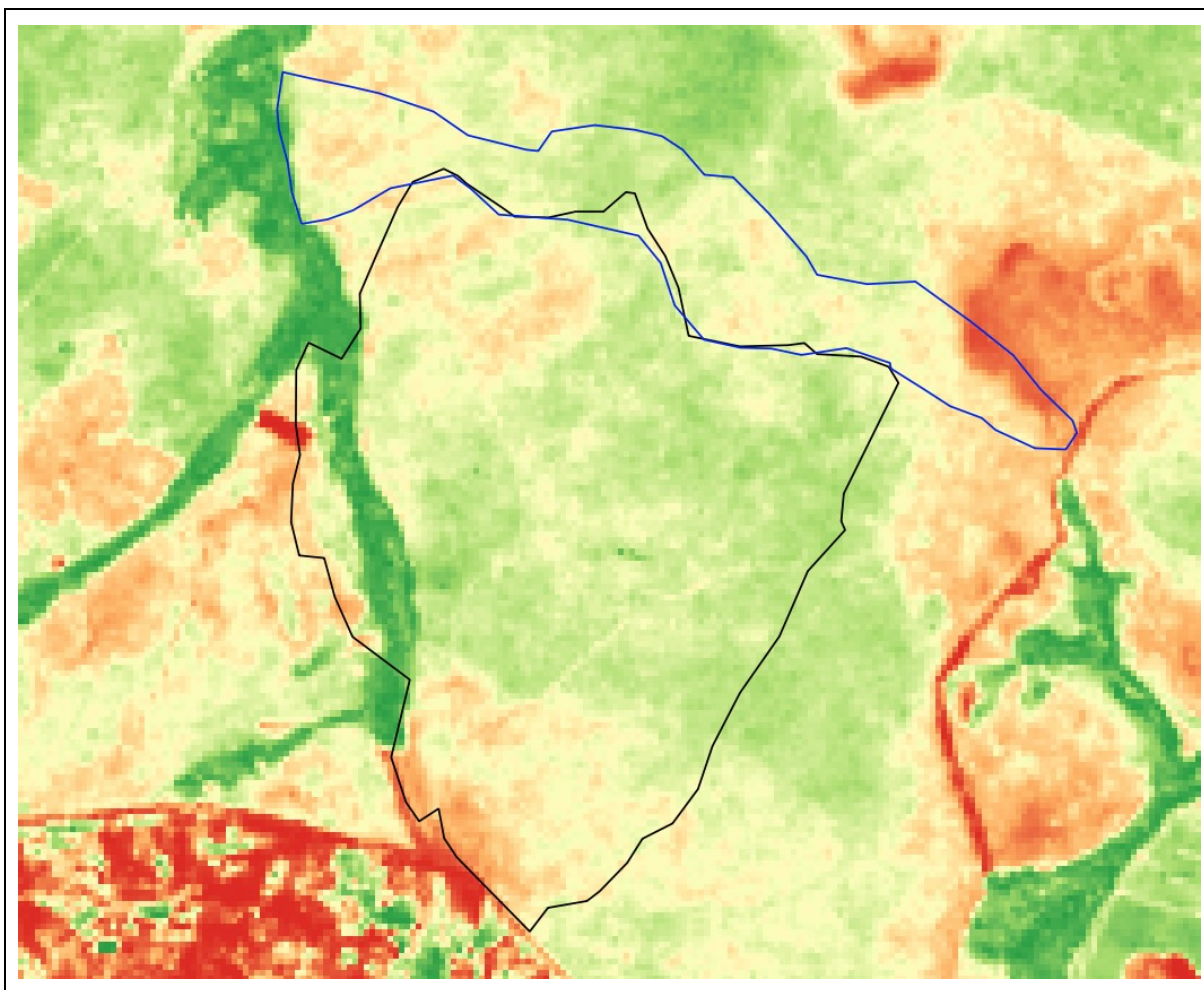
Figura 67 – IF no PNB nos anos de 2016 e 2017



Fonte: o autor.

As imagens acima foram obtidas pelo satélite orbital Landsat-8, e a partir das imagens acima, foi aplicado o índice NDVI de forma pretérita ao incêndio ocorrido em 2017. O resultado é apresentado abaixo.

Figura 68 – NDVI do PNB em 2017 antes do incêndio



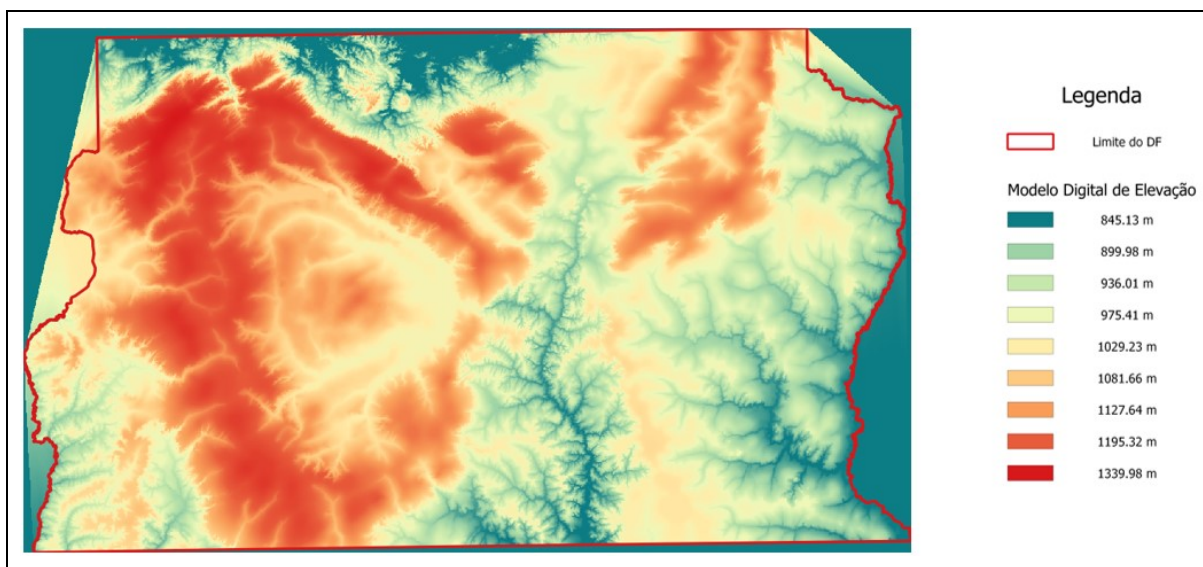
Fonte: o autor.

Nota-se pelo resultado acima que a região sinistrada em 2016 contém menor quantidade de material fotossintetizante justamente na região onde ocorreu o incêndio, podendo assim ter facilitado o combate às chamas em 2017.

4.1.3 Análise topográfica

A construção de Modelos Digitais de Terreno permite analisar a topografia dos locais sinistrados de forma mais didática com efeitos de cores. O estudo dos perfis topográficos é de grande valia para analisar o comportamento do fogo em regiões com topografia acidentada. A imagem abaixo foi modelada a partir das curvas de níveis disponíveis na SEDUH do Governo do Distrito Federal, e assim gerado o MDT do Distrito Federal.

Figura 69 – Modelo Digital de Terreno do DF



Fonte: o autor.

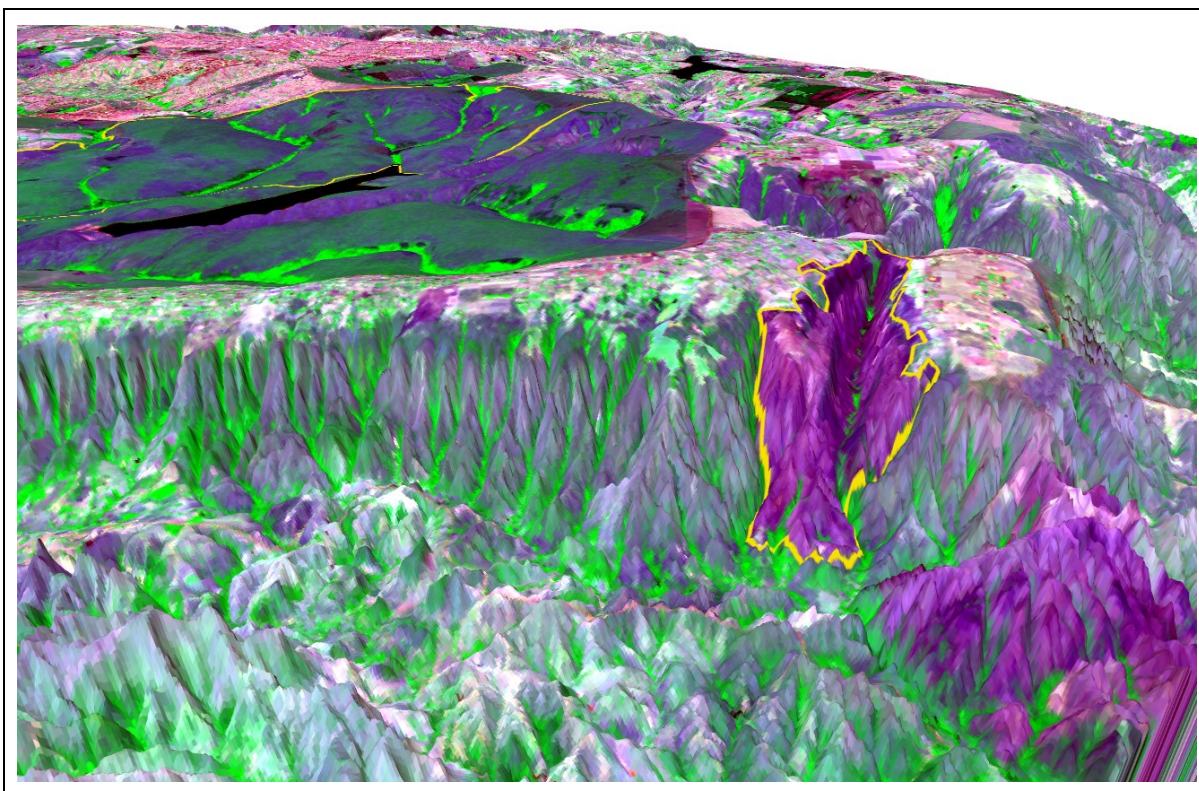
Com a aplicação da paleta de cores entre o azul ao vermelho, através do *software* QGIS foi possível simbolizar as regiões mais altas do DF (mais próximas ao vermelho) e as regiões mais baixa (mais próximas ao azul).

A análise topográfica de uma região acometida pelo fogo merece destaque quando se estuda o comportamento do fogo, no sentido limitante ou contributivo para o desenvolvimento dos incêndios.

Em 2020, um incêndio iniciado na base do acidente topográfico próximo ao Lago Oeste propagou-se de forma muito rápida ao platô da região. Apenas com análise de cicatrizes, o estudo da dinâmica do incêndio se torna imprecisa, porém com a identificação de pontos alto e baixo é possível analisar as influências que estes parâmetros produziram na geometria do incêndio.

A imagem abaixo é uma perspectiva em três dimensões produzida no *software* QGIS após a construção do MDT do terreno do DF.

Figura 70 – Perspectiva tridimensional de IF no Lago Oeste - DF



Fonte: o autor.

No MDT foi projetada uma composição entre o infravermelho próximo e os canais vermelho e verde de uma cena captada pelo satélite Landsat 8, no mês de setembro de 2020. Nela é possível observar que a cicatriz do incêndio ocorrido no Lago Oeste – DF, que foi delimitado pela topografia do local ficando o mesmo confinada na região indicada pelo perímetro amarelo indicado na figura acima.

4.1.4 Análise de fatores meteorológicos

Direção e velocidade do vento, temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica são algumas das variáveis que podem ser extraídas das estações atmosféricas mantidas pelo INMET ao longo do território nacional. As estações ficam localizadas em locais pontuais e grande quantidade delas possuem conexão automática com a base de dados do instituto.

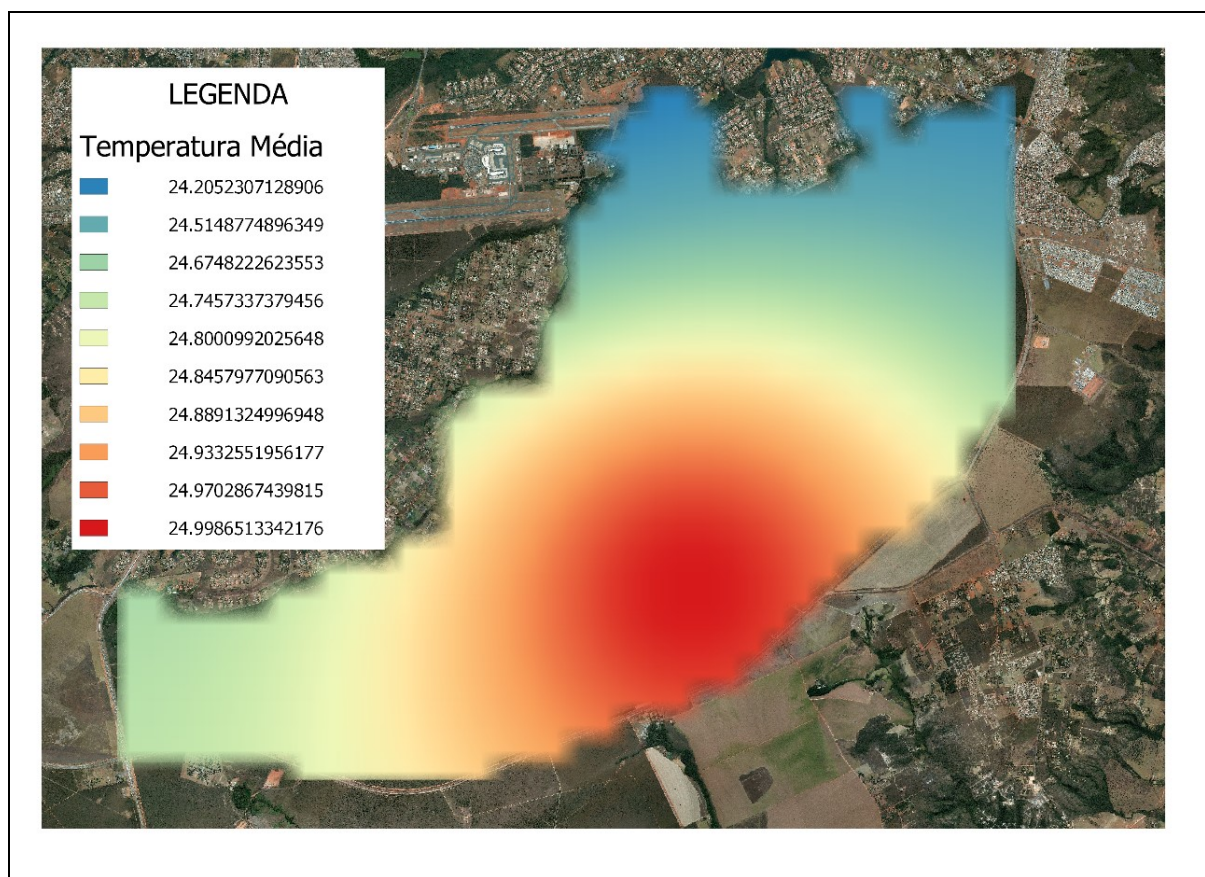
Assim, a consulta das variáveis se torna eficiente e ainda georreferenciada, o que permite a aplicação de alguns modelos de interpolação para criar no território pontos contínuos das variáveis meteorológicas.

Um bom exemplo da aplicação desta interpolação, é relativa à variável temperatura, pois para obter os valores de toda a região do DF seriam necessários milhares de sensores ao longo da superfície.

Já com a técnica de interpolação, é possível inferir de forma estatística valores para toda a superfície de forma satisfatória. Informação esta, que pode gerar esclarecimentos ao investigador das condições térmicas na região do incêndio.

Abaixo segue uma interpolação feita utilizando o método Inverso do Quadrado da Distância (IDW), através do interpolador do QGIS, na qual em seguida foi aplicada uma escala de cores para uma apresentação mais didática dos resultados.

Figura 71 – Interpolação de temperatura média no Mosaico



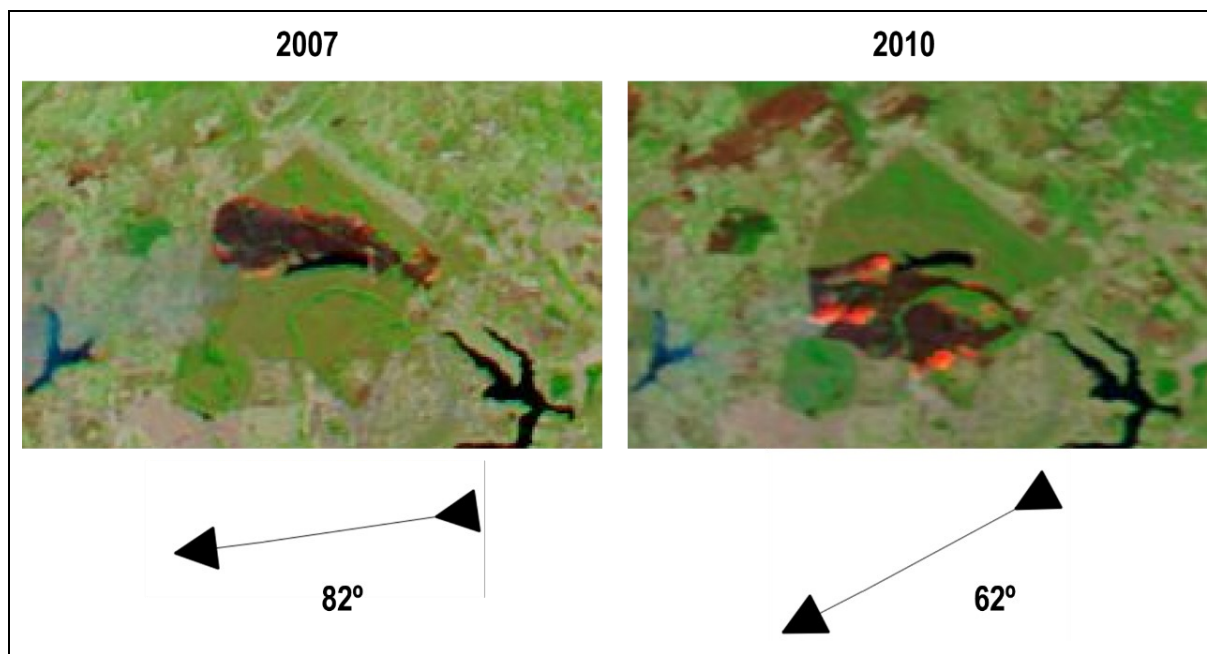
Fonte: o autor.

Regiões mais próximas do vermelho representam regiões mais quentes, e mais próximas do azul mais frias. De acordo com a imagem acima, tem-se que a temperatura média no dia do incêndio no JBB era de estava entre 24,2°C a 25°C aproximadamente.

A direção e a velocidade do vento também podem ser consultadas pela estação meteorológica mais próxima do incêndio, a partir da base de dados no INMET. Nos incêndios registrados nos anos de 2007 e 2010 no PNB, as velocidades de vento registradas nos primeiros dias de incêndio foram de 4,3 e 4,6 metros por segundo respectivamente. Quanto à direção do vento, os valores obtidos foram de 82° e 62° respectivamente.

Os valores registrados acima, a respeito da direção do vento, corroboram com a análise da imagem obtida pelo satélite AQUA ilustrada abaixo.

Figura 72 – Direção do vento em IF's no PNB



Fonte: o autor.

A imagem acima evidencia de forma aproximada o dado de direção de vento registrado pela estação meteorológica. Nela é possível observar o deslocamento da fumaça do incêndio em valores próximos aos ventos nordestes registrados na estação meteorológica.

A análise e a interpolação realizada para a temperatura também podem ser estendidas para a umidade relativa do ar e para a pressão atmosférica. Isto possibilita às equipes de resposta e de investigadores traçar modelos preditivos de comportamento do fogo, sendo que o vento surge justamente da diferença de pressão

atmosférica de uma região, que por sua vez está associada à variável de umidade relativa do ar.

4.1.5 Análise de imagens multiespectrais

Nesta etapa, foram analisados incêndios com auxílio de imagens multiespectrais em dois nichos: imagens de baixa resolução espacial (250 metros ou superior) e imagens de média resolução (10 metros a 250 metros de resolução espacial).

De forma geral, quando se analisam imagens providas de sensores com alta resolução espacial, obtemos uma periodicidade maior de informações, já imagens com maiores resoluções geram a necessidade de se utilizar uma maior gama de sensores, pois a periodicidade fica comprometida.

Portanto, existem dois tipos de análise a serem feitas com tais imagens. A primeira é a utilização de imagens de baixa resolução temporal para a identificação dos momentos iniciais de um incêndio florestal e de sua dinâmica ao longo do tempo. A segunda é a análise de imagens de média resolução para a descrição mais precisa do local sinistrado afim de extrair dados mais qualificados de área queimada e combustíveis atingidos.

Devido à grande disponibilidade de sensores orbitais disponíveis gratuitamente nas bases de dados dos SIG, é possível, em algumas situações, analisarmos o desenvolvimento de incêndios ativos por vários dias, e com sorte, de forma diária.

Em algumas situações, imagens de média resolução coincidentemente podem registrar o princípio de incêndio em uma resolução espacial altamente acurada. A imagem é um exemplo deste fato.

Figura 73 – Origem de IF no Altiplano Leste - DF



Fonte: o autor.

A imagem acima foi obtida pelo satélite Landsat-8, nela foi possível identificar o momento inicial de um incêndio da região do Altiplano Leste em 2017 com a resolução espacial de 30 metros.

Estas informações podem ser sobrepostas em uma imagem de alta resolução tal como a disponível no Geoportal do GDF para dar clareza da região onde se iniciou o incêndio, e assim, tornar a investigação do sinistro mais assertiva e eficiente. A imagem abaixo ilustra este processo.

Figura 74 – Zona de origem IF Altiplano Leste com alta definição

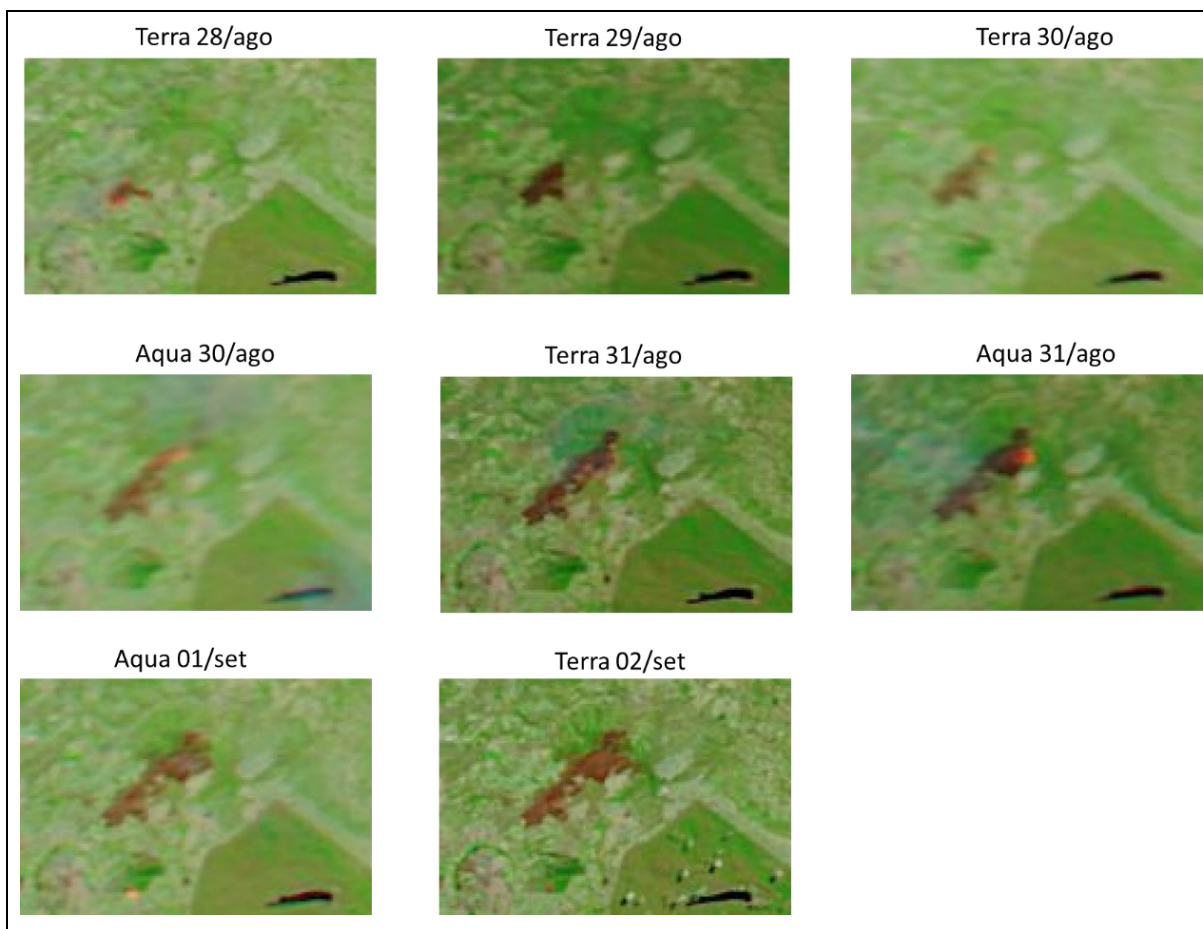


Fonte: o autor.

Nem sempre as imagens de média resolução trarão estes tipos de elucidações, porém a probabilidade destes registros em imagens de baixa resolução espacial é maior, devido a sua periodicidade de revisitas ser maior.

De posse das imagens geradas pelo sensor MODIS a bordo dos satélites AQUA e TERRA, foi possível registrar o início, meio e fim de grande incêndio no DF. Segue abaixo a evolução temporal um incêndio na Chapada Imperial no DF no ano de 2017.

Figura 75 – Histórico de imagens AQUA e TERRA de IF na Chapada Imperial-DF

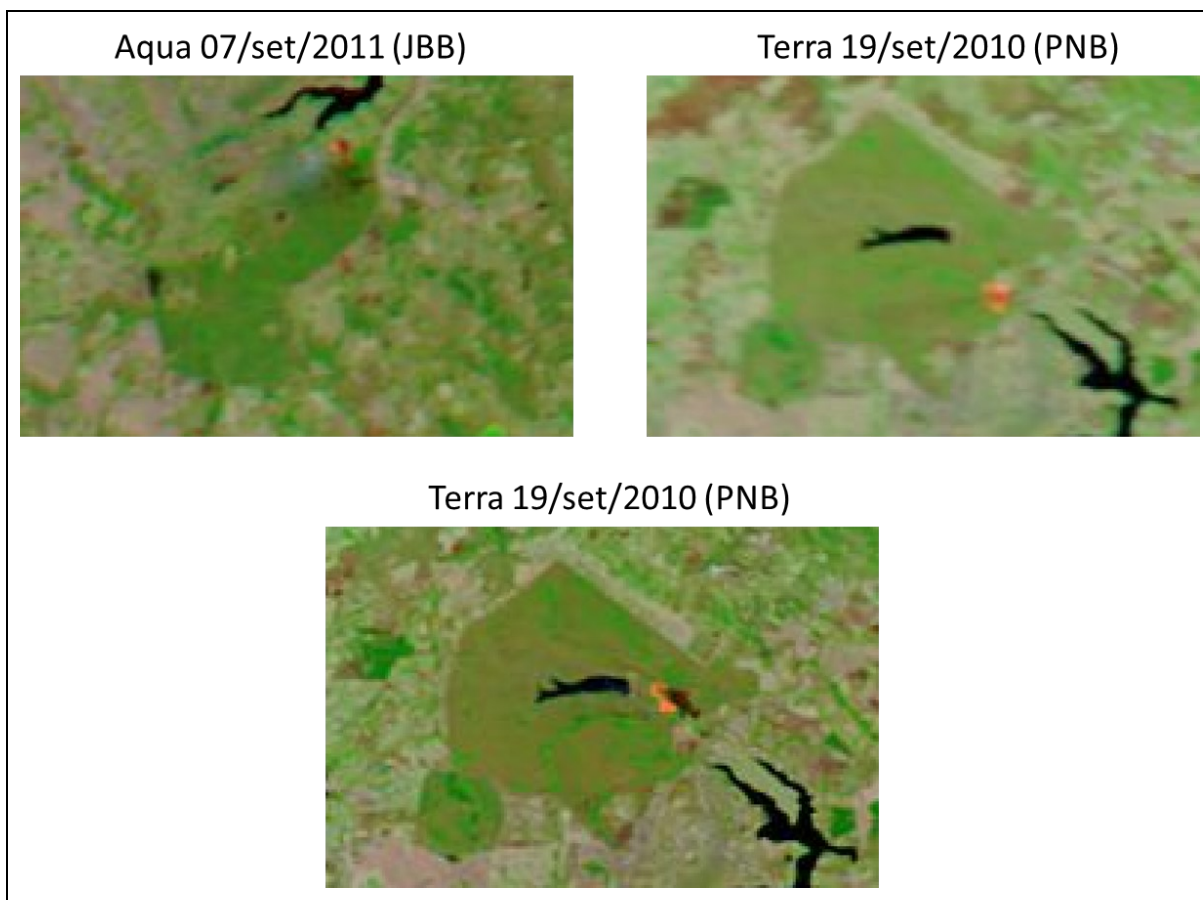


Fonte: o autor.

Imagem do dia 29 de agosto aponta para uma primeira delimitação da origem do incêndio na região de Brazlândia-DF, que teve uma duração aproximada de 7 dias.

Os incêndios comentados no início desta seção também podem ser analisados com base nestas imagens. Abaixo, seguem os incêndios no PNB em 2007 e 2010, seguido do incêndio no JBB em 2011.

Figura 76 – Momentos iniciais de IF's registrados pelas plataformas AQUA e TERRA

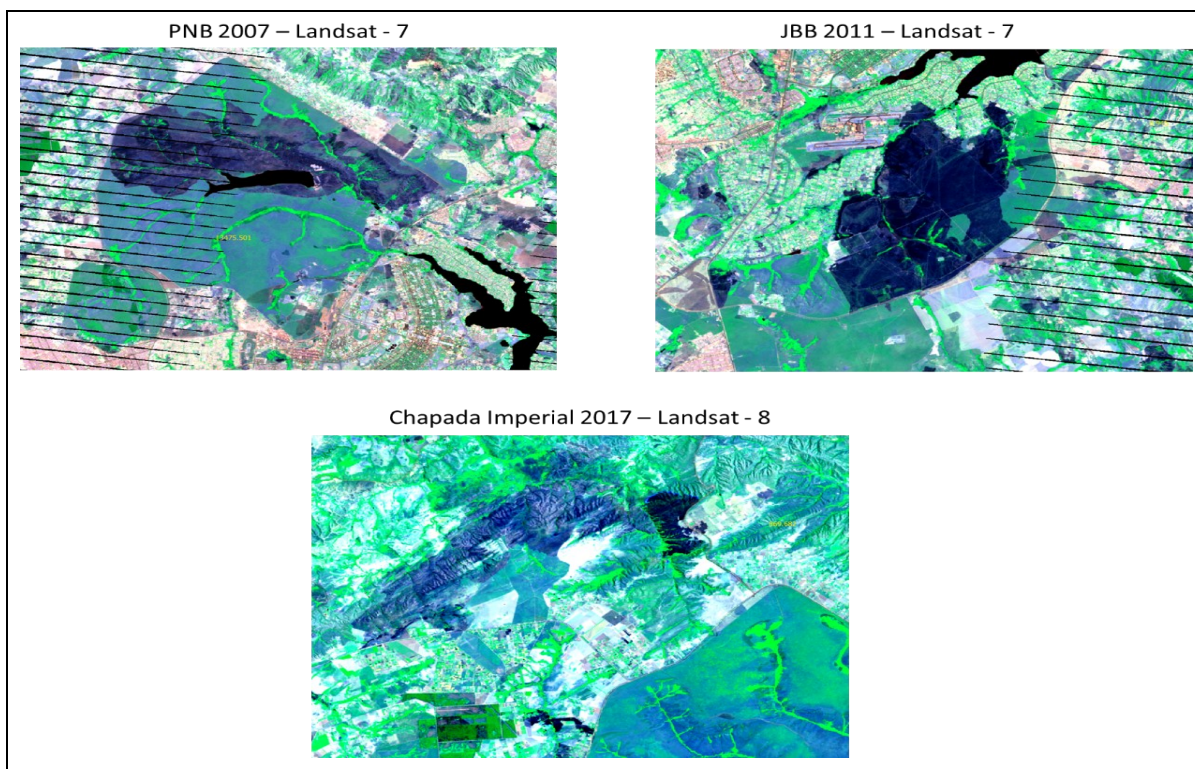


Fonte: o autor.

Nota-se que as imagens acima são esclarecedoras para restringir o trabalho do investigador, porém ineficientes para a quantificação de área queimada, por exemplo. É neste sentido que se faz uso das imagens de médias resoluções.

Seguem abaixo as cicatrizes de queima dos incêndios mencionados acima com a utilização das imagens das plataformas Landsat 7 e Landsat 8.

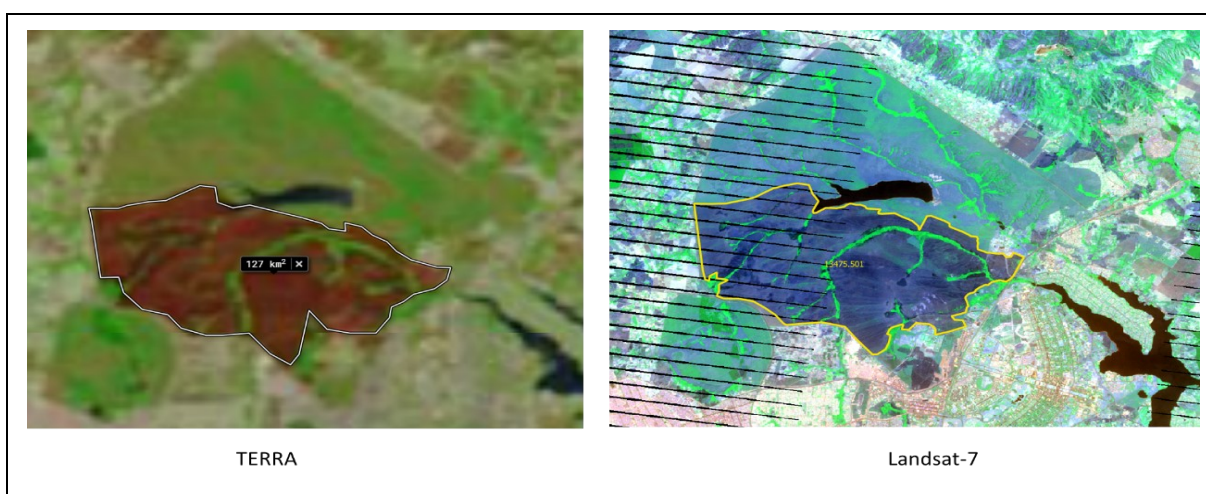
Figura 77 – Cicatrizes de queima de IF no PNB, JBB e Chapada Imperial



Fonte: o autor.

Para a elucidação da discrepância entre o registro de área queimada através de uma imagem de média resolução espacial e de alta foi criada duas camadas vetoriais para a delimitação da área no incêndio ocorrido no PNB em 2010. O resultado é apresentado abaixo.

Figura 78 – Estimativa de área queimada plataforma TERRA e Landsat - 7



Fonte: o autor.

A tabela abaixo elenca a diferença entre o estudo feito a partir das duas bases de dados:

Tabela 2 – Estimativa de área queimada TERRA/Landsat - 7

Satélite	Terra	Landsat 7
Resolução Espacial	250 metros	30 metros
Área Aferida (hectares)	12.700,00	13.475,50

Fonte: o autor.

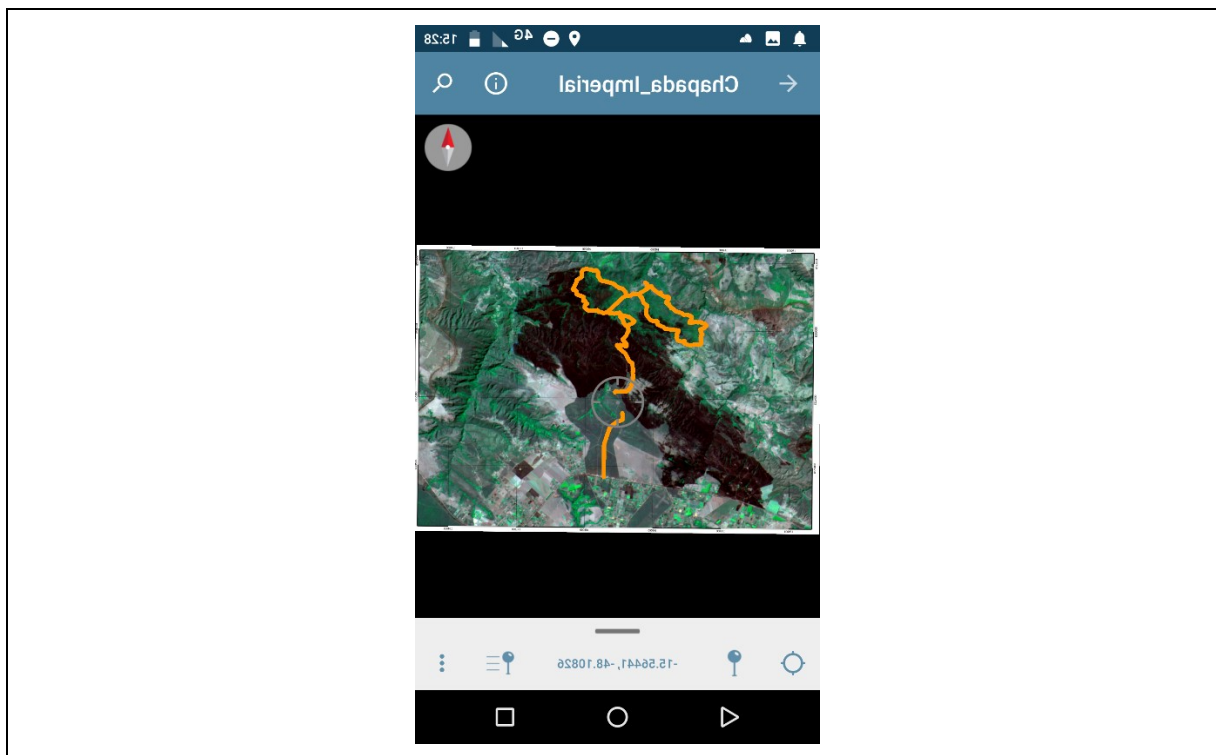
De acordo com a tabela acima, fica exposto o motivo de dar a preferência, quando possível, ao registo de área queimada com auxílio de imagens de média resolução para alta, considerando que esta informação é altamente importante para registo de custos ambientais e responsabilizações.

4.1.6 Georreferenciamento e navegação

Outra possibilidade que o uso das ferramentas de SIG traz ao trabalho do investigador é a possibilidade de realizar o georreferenciamento de todos os estudos prévios à visita de campo, gerando assim um instrumento importantíssimo de orientação para estudo em loco da área sinistrada.

A título de exemplo, a imagem obtida pelo satélite Resoucesat-2 foi georreferenciada no *software* QGIS, e assim gerado um arquivo no formato PDF, para a utilização no aplicativo Avenza Maps, durante uma atividade de campo ao longo de um incêndio ocorrido em 2016 na Chapada Imperial próximo ao PNB.

Figura 79 – Exemplo de utilização de dados georreferenciados no aplicativo Avenza Maps.



Fonte: o autor.

O georreferenciamento de imagens é um processo realizado de forma simples e rápida no SIG, e tem o intuito de substituir a utilização de cartas e mapas em papel, trazendo uma agilidade ao investigador, já que a navegação em uma imagem georreferenciada não necessita de internet, apenas de um aparelho que contenha a função de localização ativada.

4.2 Padronização da metodologia aplicada

Conforme a experiência adquirida por este autor durante este estudo, chegou-se a um rito processual para a utilização de tais informações, sob a perspectiva de fazer com que os próprios fenômenos observados revelem as origens e as dinâmicas dos incêndios florestais.

Desta forma, foi elencada uma sequência de quatro processos ordinários a serem realizados pelo investigador, com o intuito de chegar a um resultado satisfatório na atividade de investigação de incêndio, se utilizando das informações provindas do

sensoriamento remoto. A sequência padronizada de análises de dados é apresentada nas subseções seguintes.

4.2.1 Informações da região investigada

Esta é a primeira etapa de análise que o investigador deve trilhar. Nela, as variáveis topográficas que incluem o estudo de valores de altitude na perspectiva de modelos digitais ou de curvas de níveis devem ser investigadas.

Quando se trata, por exemplo, de uma região de topografia bastante acidentada, o estudo das vertentes é de grande valia, pois sabe-se que regiões expostas ao norte e leste no hemisfério sul recebem maior radiação provida do sol quando comparado às vertentes sul e oeste. Este fenômeno resulta em uma pré-disposição da região à florescência de uma maior quantidade de material vegetativo.

A cobertura do solo é outro aspecto a ser observado nesta etapa, pois o completo conhecimento a respeito dos componentes da cobertura do solo, tais como construções, rodovias de asfalto ou não, presença de rios e lagos, fitofisionomias das vegetações presentes no local sinistrado dentre outras, são de grande valia para entender a dinâmica dos incêndios florestais.

Esta análise da cobertura do solo pode aclarar a visão do perito de regiões limitantes ao desenvolvimento do fogo, ou de regiões favoráveis para a sua continuidade.

4.2.2 Análise das condições meteorológicas

As condições meteorológicas darão ao investigador uma visão macro dos deslocamentos de massa de ar no local, que pode ser complementada com as informações a respeito das pressões atmosféricas, que estão intimamente ligadas com a formação da direcionalidade dos ventos.

A temperatura local, em conjunto com os valores de umidade relativa do ar, vai mostrar ao perito o grau de severidade no local, sendo estas variáveis intimamente ligadas a dificuldade de controle do fogo.

4.2.3 Análise dos focos de calor

Após a análise dos dois primeiros quesitos anteriores, o perito está pronto para partir para a análise dos focos de calor. O que se busca nesta etapa é localizar os focos em uma linha do tempo mais próximo ao momento de início do incêndio, e em seguida, limitar uma região provável de suas posições.

É importante lembrar que, como foi discutido no referencial teórico, estes focos possuem uma localização referente ao centroide gerado pela resolução espacial do sensor que fez a detecção. Portanto, a localização destes focos não representa a posição exata em que eles foram detectados.

Porém, mesmo com esta imprecisão, a análise de seu surgimento dá ao perito uma importante estimativa da dinâmica do incêndio, em que devem ser estudados do primeiro ao último foco detectados na região estudada.

4.2.4 Análise de imagens de baixa resolução

No contexto da análise das imagens de satélites, as de baixa resolução cumprem um papel de destaque, pois elas são de acesso rápido pelas plataformas existentes, além de possuírem pequeno tamanho, o que favorece a realização de *download* de forma ágil.

Esta acessibilidade permite ao perito examinar rapidamente a evolução histórica do incêndio, além de ser uma ferramenta de prova real para a análise feita com os focos de calor.

4.2.5 Análise de imagens de média e alta resoluções

É utilizada para análise criteriosa dos locais onde se busca informações mais precisas, buscando uma melhoria nas delimitações de possíveis zonas de origem, cálculos de área, classificação de combustíveis, geração de índices de vegetação dentre outras possibilidades já mencionadas aqui neste trabalho.

É importante entender que como suas resoluções espaciais são mais altas, em geral, seu tempo de revisita é maior, o que torna necessário o perito trabalhar com mais de uma fonte de dados de imagem de média e alta resolução.

Algumas plataformas de uso não gratuito fornecem o acesso a uma constelação de satélite e sensores, que se estiver disponível ao perito, alavancará de forma muito significativa a qualidade das investigações do perito, pois o mesmo terá acesso a dados de alta resolução espacial e baixo período de revisita, gerando assim a condição ideal para a aplicação do sensoriamento remoto.

4.2.6 Georreferenciamento

Após o esgotamento das análises feitas através dos Sistemas de Informação Geográficas com os dados gerados pelo sensoriamento remoto, chega o momento de georreferenciar as informações produzidas de forma remota para iluminar a atividade de campo do investigador.

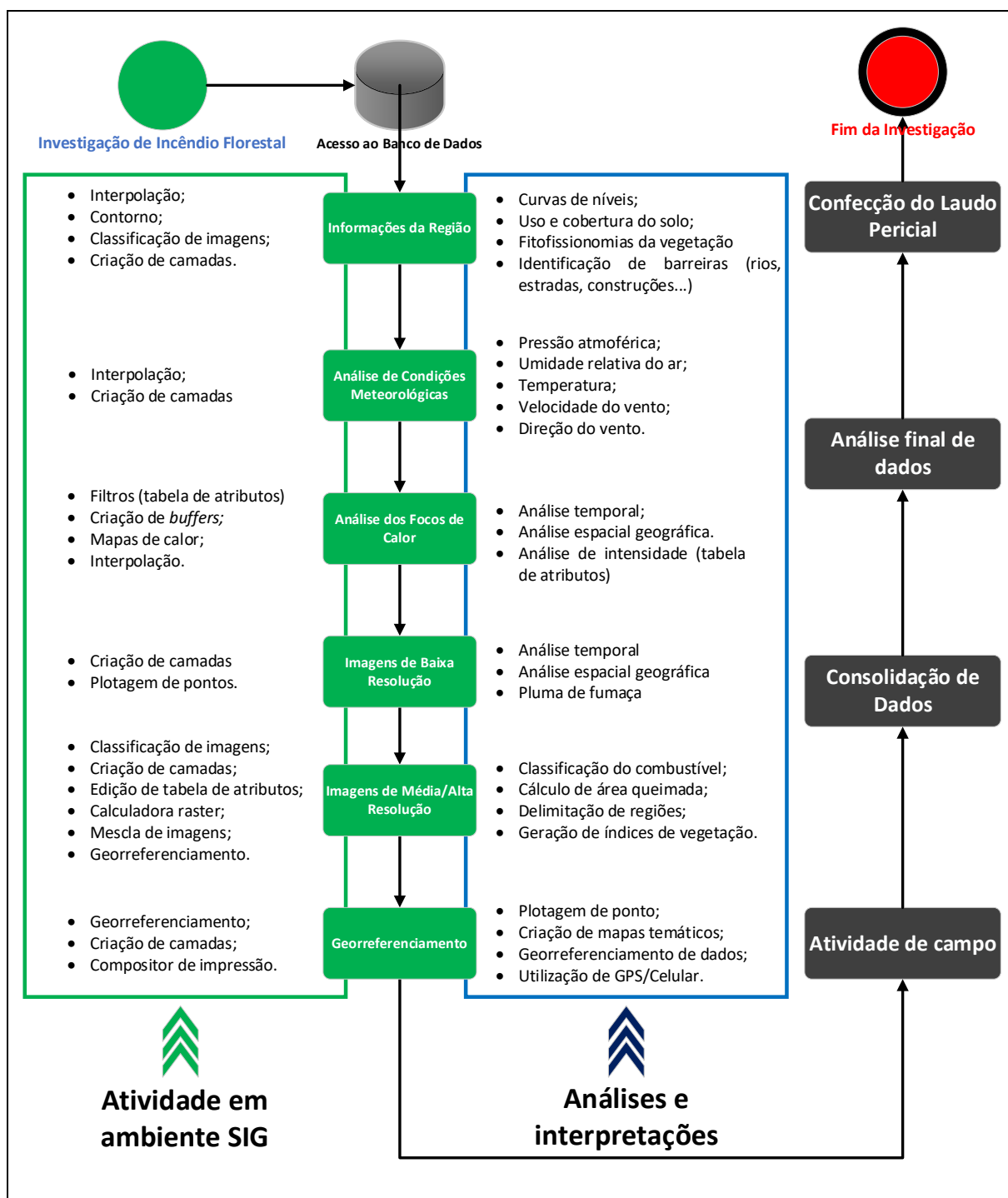
Técnicas de reprojeção e georreferenciamento são bastante utilizadas nesta etapa. O produto que deve ser gerado com esses procedimentos deve estar alinhado com a orientação do investigador no trabalho de campo.

Para este fim, podem ser criados mapas temáticos de vegetação, cicatriz de queima, delimitações de divisa e propriedade, pontos de acessos, focos de calor, perfis topográficos, dentre outros.

A partir do momento em que se crie estes mapas, os mesmos podem ser usados pelo perito para navegação em loco, seja por instrumentos manuais analógicos, ou digitais, como celulares ou um Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS).

Para concatenar as sete etapas descritas anteriormente foi criado o fluxograma abaixo para a organização didática da atividade do investigador de incêndio florestal na utilização do SIG e do sensoriamento remoto.

Figura 80 - Fluxograma da utilização do SR na Investigação de IF



Fonte: O autor.

O fluxograma acima sintetiza de forma didática as atividades propostas a serem seguidas pelo investigador de incêndio florestal, quando for necessária a utilização de dados providos do sensoriamento remoto.

4.3 Análise do questionário aplicado

A aplicação do questionário aos investigadores de incêndio teve como premissa avaliar o comportamento dos respondedores quanto a avaliação de possíveis zonas de origens, de acordo como as informações disponíveis providas do sensoriamento remoto, e está disponível no Apêndice B.

Inicialmente, foi apresentado apenas a cicatriz de um incêndio ocorrido nas Chapada dos Veadeiros – GO, no ano de 2020. Em seguida, a mesma análise foi feita com o incremento de informações topográficas e da cobertura do solo. Ademais, a evolução histórica dos focos de calor e das imagens dos satélites AQUA e TERRA.

Por fim, foi registrada a percepção dos entrevistados quanto à avaliação das ferramentas disponíveis para as análises.

O universo pesquisado foi baseado nos peritos do CBMDF que concorreram a escala de serviço no ano de 2020. Ao total foram identificados 29 peritos.

O questionário foi disponibilizado aos peritos do CBMDF através de um link compartilhado em aplicativos de mídia social e contabilizou como amostra 18 respondedores.

Aplicando a análise estatística preconizada na metodologia deste trabalho, chegou-se a uma confiabilidade de resultados de 85% com uma margem de erro de 10%.

Para análise dos resultados obtidos, nas primeiras quatro perguntas, para cada ponto de controle selecionado foi atribuído um valor de 5 unidades. Após a catalogação dos resultados, evidentemente foi observado que alguns pontos de controle ficaram sem valores atribuídos.

Desta forma, para evitar valores nulos nos pontos de controle, e mitigar erros no trabalho do algoritmo de interpolação do QGIS na execução da tarefa. A interpolação com o método IDW foi escolhido para esta análise justamente por este procedimento atribuir valores no espaço baseado em processos estatísticos.

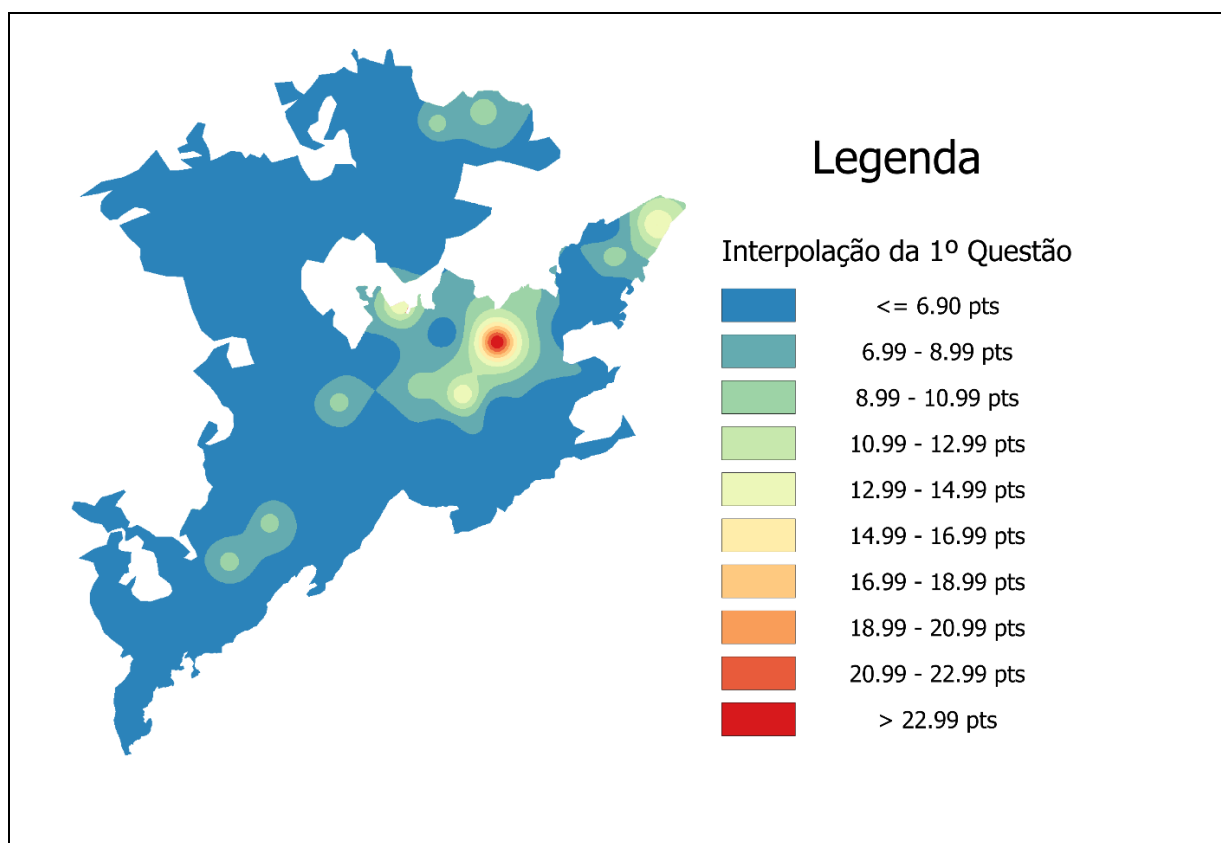
Assim, pontos de controle selecionados pelos respondedores com mais frequências receberam maior pontuação, e conseqüentemente, influenciaram com mais peso o espaço ao seu redor.

A intenção do trabalho não é delimitar a origem em um ponto específico, mas seguindo a etimologia da palavra, a delimitação de uma “zona” de origem.

O modelo do questionário está disponível no Apêndice B, e a seguir apresentam-se os resultados obtidos.

No primeiro questionamento, os respondedores selecionaram pontos de controle que indicavam regiões próximas a zona de origem do incêndio baseado apenas na cicatriz de queima do incêndio. O resultado foi interpolado e chegou ao seguinte resultado ilustrado abaixo.

Figura 81 – Interpolação dos resultados da 1ª questão



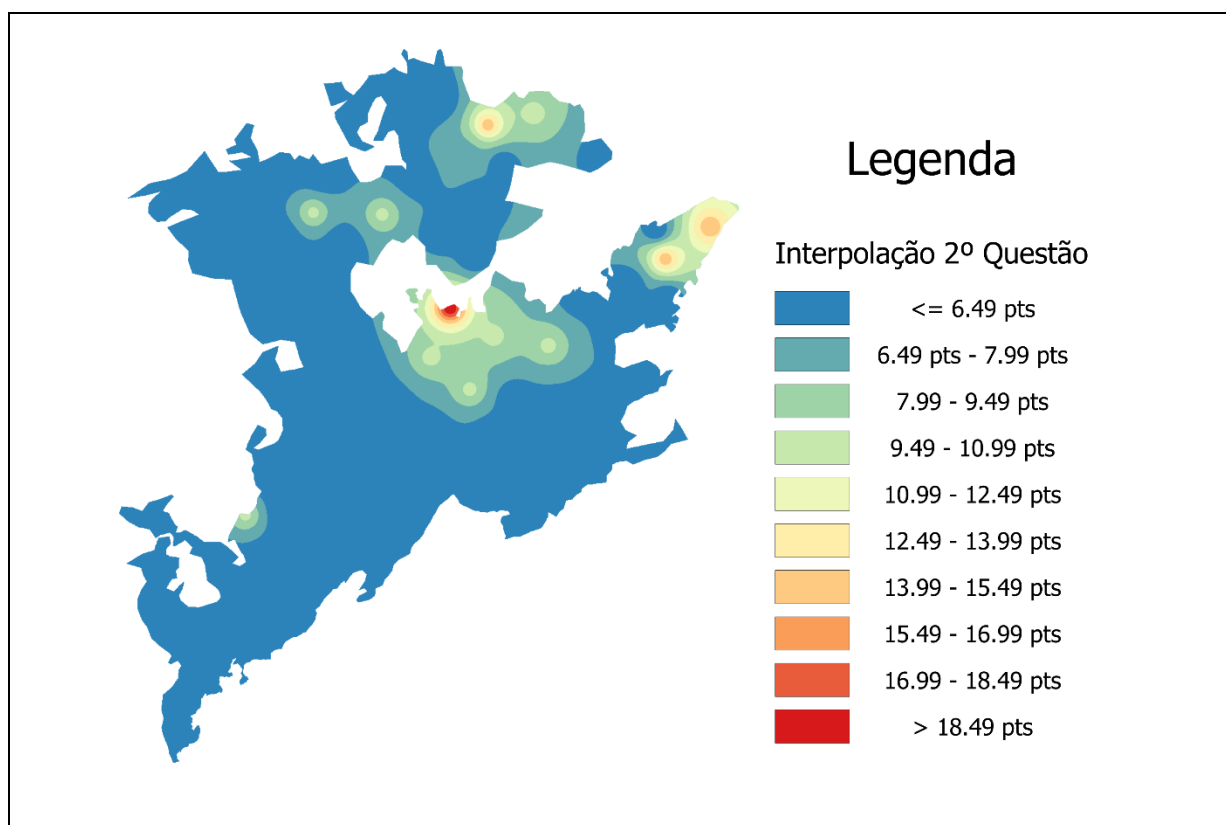
Fonte: o autor.

A região em vermelho indica que com base apenas na cicatriz de incêndio, os respondedores, em maior frequência, elegeram tal região como mais provável de ter sido iniciado o incêndio.

Em grande parte dos incêndios florestais, ao realizar sobrevoos, a única informação que se tem inicialmente é justamente a cicatriz de queima observada por meio da aeronave, e partir deste fato, inicia-se o processo de coleta de vestígio para uma análise mais acurada.

Na segunda questão, as informações do uso da cobertura do solo foram incrementadas com a cicatriz de queima, e assim, dada a oportunidade ao investigador de eleger uma nova possível zona de origem do sinistro.

Figura 82 - Interpolação dos resultados da 2ª questão

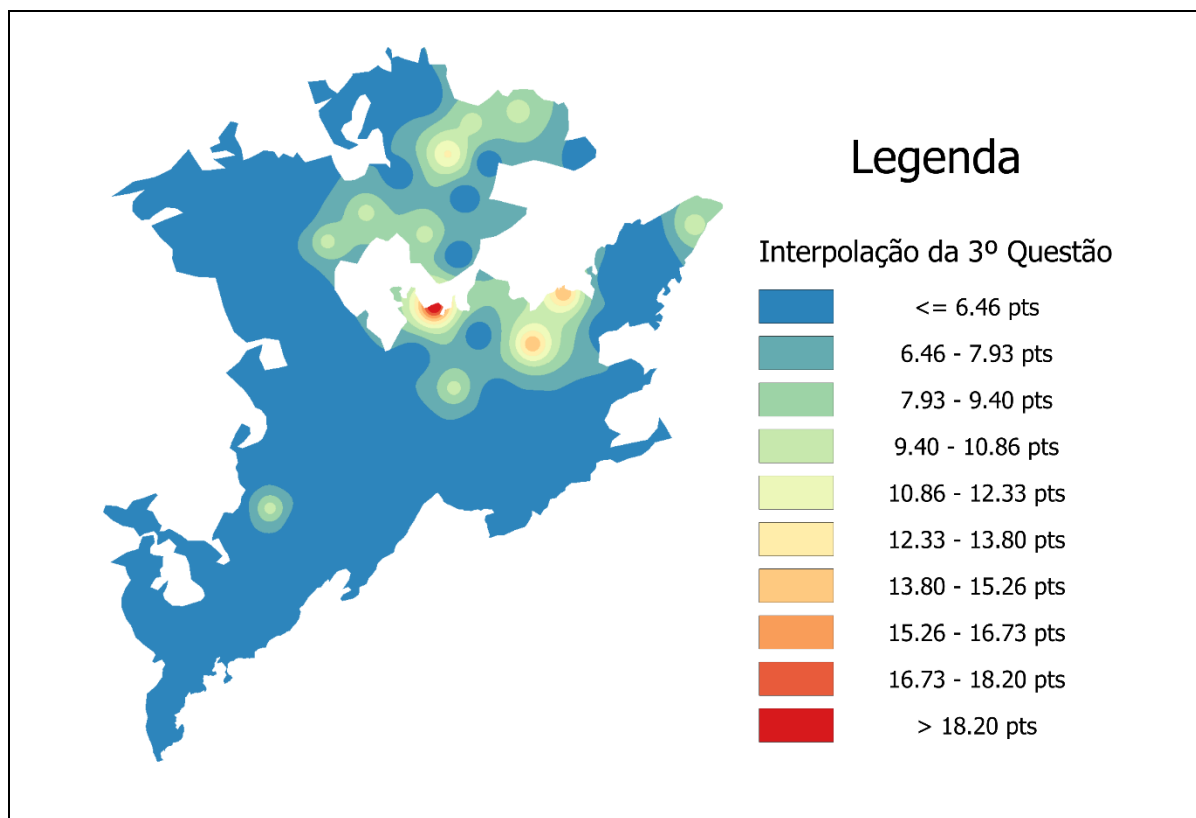


Fonte: o autor.

A partir das informações do uso do solo observou-se a região com maiores valores de pontuação deslocou-se para o centro da cicatriz de queima região próxima à plantação de soja.

Em seguida, a variável topográfica foi incluída no modelo, através das curvas de nível adquiridas na plataforma do Serviço Geológico Americano – USGS. O resultado é apresentado na imagem a seguir.

Figura 83 - Interpolação dos resultados da 3ª questão



Fonte: o autor.

Percebeu-se que pouca diferença em relação a questão anterior indicando que os respondedores mantiveram de forma aproximada as mesmas eleições de zonas de origem.

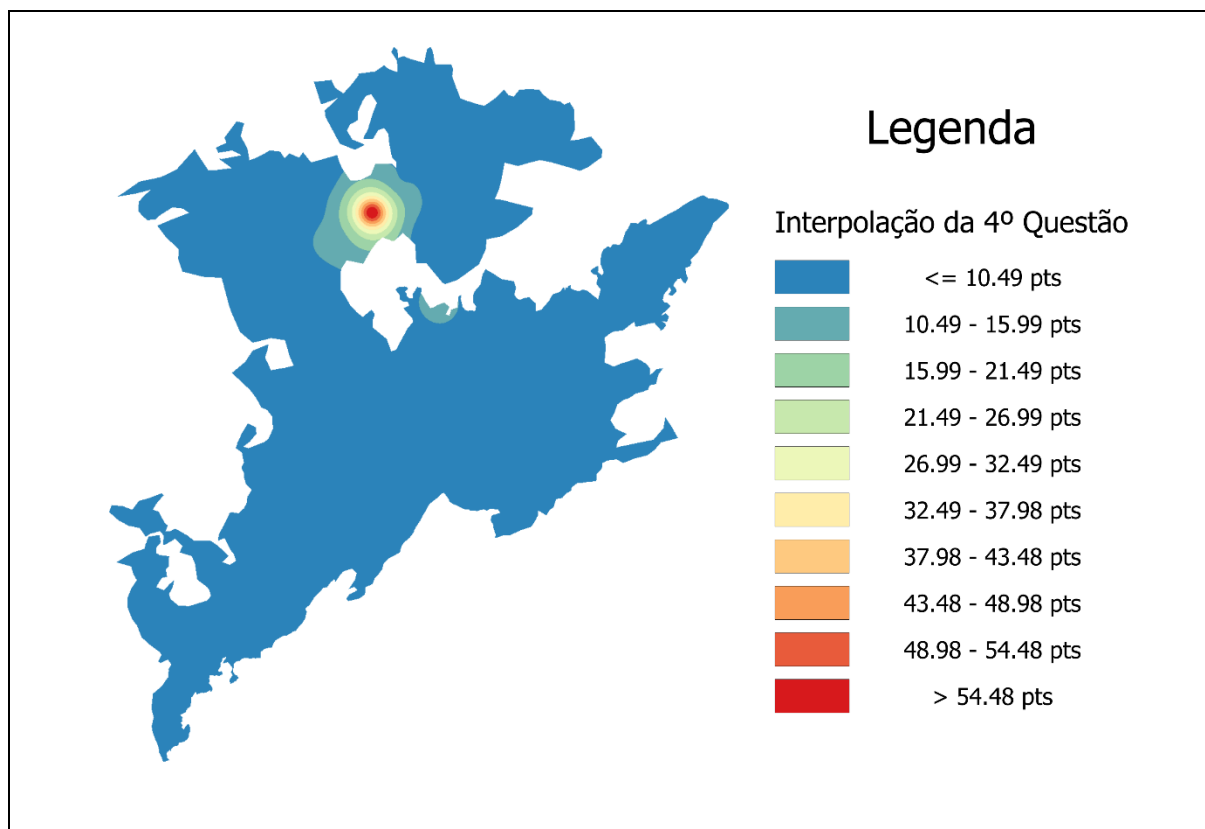
De fato, as variáveis de cobertura do solo e topográfica não são grandes influenciadores de zonas de origem, porém são essenciais e realizam grande influência no comportamento da dinâmica do incêndio florestal.

Acredita-se que devido a este fato as interpolações apresentaram resultados semelhantes.

A questão quatro trouxe uma animação em sequência de imagens que continha a evolução temporal dos focos de calor detectados por satélites e adquiridos através do banco de dados do INPE.

Pelo fato de a imagem ser animada no formato *Graphics Interchange Format* – GIF, foi dada uma maior clareza ao entrevistado a respeito da dinâmica do incêndio analisado. O resultado pode ser observado na imagem a seguir.

Figura 84 - Interpolação dos resultados da 4ª questão



Fonte: o autor.

Ao analisar os dados obtidos nesta questão verificou-se que 11 dos 18 respondedores indicaram o mesmo ponto de controle para a determinação da zona de origem do incêndio estudado.

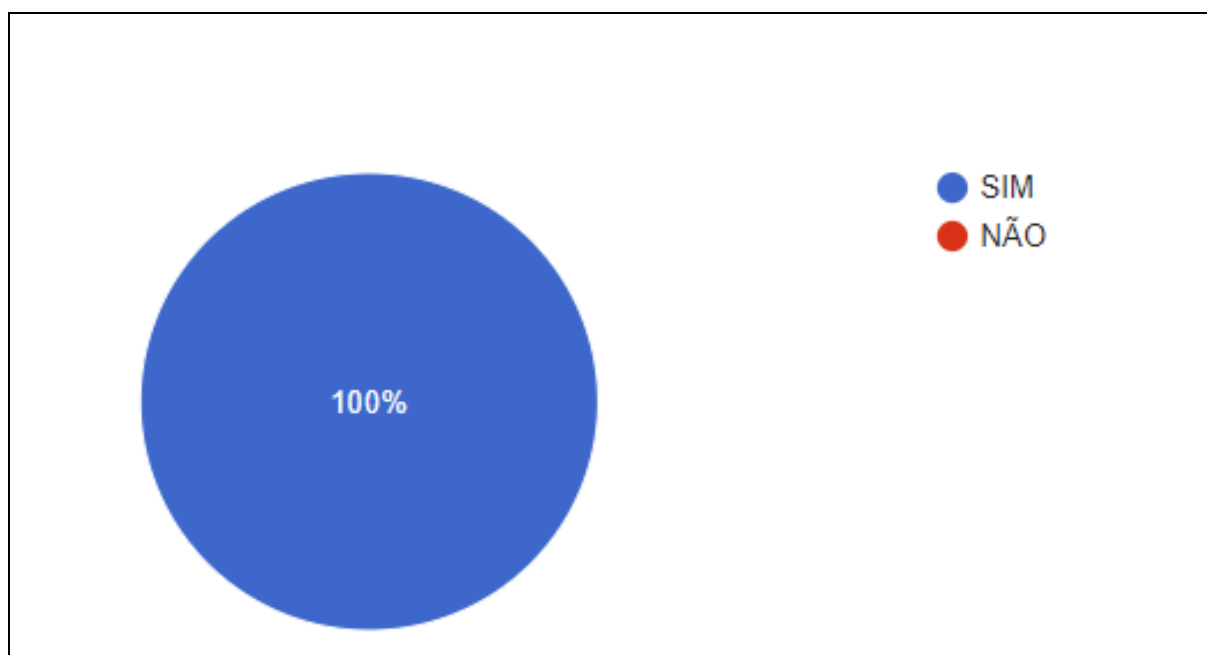
Este fato resultou em uma alta concentração na distribuição dos valores da interpolação na região mais vermelha da figura, indicando um consenso entre a amostra pesquisada, pois as outras regiões praticamente não foram eleitas como possíveis zonas de origem.

Neste caso, devido a essa mudança de comportamento da amostra, pode-se inferir que a análise dos focos de calor representa uma ferramenta bastante elucidativa na investigação de incêndio florestal.

No item cinco do questionário, também foi apresentado um GIF, porém com a evolução temporal das imagens dos satélites AQUA e TERRA da região sinistrada.

A imagem animada foi esclarecedora para os respondedores. Foi questionado a importância das mesmas para a delimitação de uma zona de origem do incêndio. O resultado foi uma avaliação positiva unânime, que foi representada no gráfico abaixo:

Figura 85 – Gráfico do resultado da 5ª questão



Fonte: O autor.

Foi ainda mensurada, através do questionário, na 6ª questão, a opinião dos colaboradores sobre qual o grau de importância que a análise das informações provindas do sensoriamento remoto nos temas abordados nas questões anteriores traz para a investigação de um incêndio florestal. O resultado obtido está expresso na tabela abaixo.

Tabela 3 – Resultado da questão 6 do questionário

Frequência	(%)	Importância (0 á 10)
15	79%	10
1	5,5%	8
2	10%	9
1	5,5%	6
19	100%	-

Fonte: o autor.

Percebeu-se que 79% dos respondedores avaliaram com nota máxima de importância resultando em uma média aritmética de 9,6.

Na sequência, foi questionado quais das variáveis apresentadas do questionário mais contribuiu de forma elucidativa na eleição de pontos próximos das zonas de origem de um incêndio florestal.

As variáveis colocadas para mensuração de importância foram: cicatriz de queima, cobertura do solo (vegetação), curvas de níveis (topografia), focos de calor e imagens de satélites. O resultado aferido é expresso na tabela a seguir.

Tabela 4 – Resultado da questão 7 do questionário

Variáveis	Somatório	Média (1 a 5)
Cicatriz de Queima	48	2,53
Cobertura do Solo	61	3,18
Análise Topográfica	65	3,40
Análise focos de calor	76	4,02
Análise Histórica de Imagens	90	4,73

Fonte: o autor.

Verificou-se que, de fato, a análise de imagens são os maiores esclarecedores no processo de análise e investigação de um incêndio florestal na primeira delimitação de zona de origem.

Porém, é importante salientar que o uso deste recurso pode estar limitado a algumas variáveis, tais como condições climáticas desfavoráveis, como a produção de muitas nuvens que impeçam a visibilidade da cobertura do solo, de incêndios iniciados abaixo de extensas coberturas de fitofisionomia florestal. Estes casos impedem a visibilidade no comprimento de onda visível e infravermelho.

As mesmas considerações devem ser feitas quanto a análise da evolução dos focos de calor, porém os focos são detectados 24 horas por dia mantendo assim sua frequência de atualização quase que em tempo real, não necessitando assim da luz provida do sol para a observação de alterações na cobertura do solo, em especial nas alterações energéticas.

Por fim, considerando todo este arcabouço de conhecimento apresentado nesta seção, deve-se estabelecer uma metodologia para a utilização destes dados,

tendo em vista não gerar uma contaminação intelectual e analítica no investigador de incêndio florestal, pois dependendo da forma com que sejam usados os dados provindos do sensoriamento remoto, o perito pode começar sua análise de forma determinística já de pronto, ou enviesada, a partir de determinada variável analisada inicialmente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados e discussões explorados na seção anterior, pode se observar o ganho de qualidade na investigação de incêndios florestais quando se opta por utilizar dados adquiridos pelas plataformas orbitais disponíveis atualmente.

As cicatrizes de queima, quando mensuradas por imagens de média a alta resolução, fornecem meios mais acurados, quando comparados aos realizados por aeronaves. Além da precisão, o método de aferição em ambiente SIG se mostra bem mais econômico, pois se utiliza de dados disponíveis gratuitamente.

Além da possibilidade de realizar delimitações de regiões de forma altamente precisa, o ambiente de SIG permite a catalogação das características dos combustíveis degradados pelo fogo. Essas informações (além de sua catalogação ser prevista no manual de investigação de incêndio do CBMDF) são cada dia mais importantes para a prestação de contas aos órgãos de controle, bem como a produção estatística de informações relacionados à preservação do meio ambiente.

A liberdade que o investigador adquire ao construir um mapa temático com suas zonas de interesse para uma atividade de campo é uma das principais contribuições que o SIG fornece ao perito, pois desta forma o trabalho em campo além de orientado se torna mais eficiente e menos dispendioso.

Foi possível perceber que os trabalhos realizados por meio do SIG exigem do manipulador de dados grande conhecimento dos métodos e técnicas de geoprocessamento e de processamento de imagens. Este fato requer treinamento e pesquisa ao manipulador para que possa realizar com sucesso o aproveitamento os resultados apresentados neste trabalho.

Nesse sentido, o presente estudo não teve o foco de explorar de forma exata e técnica a construção destes resultados, e sim apenas apresentá-lo em conjunto com suas interpretações, sendo que o detalhamento técnico levaria a uma extensa produção literária que por sua vez ofuscaria o foco da parte prática do trabalho, que é a ilustração das contribuições do sensoriamento remoto na investigação de incêndio florestal.

5.1 Recomendações

A utilização de imagens de satélites com revisitas diárias se mostraram bastante elucidativas na observação do surgimento e no acompanhamento da evolução dos incêndios florestais estudados.

Porém, a análise solitária deste tipo de dado, sem o processamento das outras informações tais como a cobertura do solo, os focos de calor, as características topográficas e meteorológicas, podem enviesar o investigador a uma interpretação do incêndio florestal de forma parcial e equivocada.

Neste sentido, este trabalho traz como recomendação que o investigador, ao decidir trabalhar com o sensoriamento remoto na interpretação dos incêndios florestais, siga uma lógica metodológica padronizada.

A utilização destes dados sempre passará por dois processos. Um é a interpretação e análise para a construção de informações, e a outra refere-se à parte técnica de manipulação e realização de atividades em ambiente SIG.

O emprego eficiente destes dois processos dá ao perito a possibilidade do uso de uma ferramenta poderosíssima no trabalho de qualidade de investigação de incêndio florestal.

Recomenda ainda que o perito esteja em constante pesquisa pois a evolução tecnológica no âmbito do SIG é muito dinâmica. A dez anos atrás por exemplo existiam poucos *softwares* dedicados a análise de dados geográficos, hoje existe uma gama bem alta e grande parte deles de código livre e com diferentes potencialidades.

Com a mesma dinâmica é a atualização nos bancos de dados mencionados neste trabalho que estão em constante desenvolvimento e atualização sendo disponibilizado novos produtos a medida que novas plataformas orbitais vão sendo lançadas.

Porém os conceitos para a escolha dos dados a serem utilizados passaram sempre pelos que foram explorados nesse estudo, quanto as questões das resoluções e características matriciais ou vetoriais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **2º Seminário do Sistema GGT – Gestão Geoespacializada da transmissão**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/2-seminario-do-sistema-ggt>. Acesso em 10 dez. 2020.

ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; Oliveira, Simone Gomes de; Panno, Márcia. **Perícia Ambiental**. Rio de Janeiro: Thex, 2000.

ALVES, Pedro Miguel de Castro. **Probabilidade de Ignição e Suscetibilidade de Incêndio Florestais**. Universidade do Porto, 2012.

ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: DL Publications, 1989.

BARBOSA, Claudio C.F.; Evelyn M.L.M.; Novo, Vitor S. Martins. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos**: Princípios e aplicações. INPE, São José dos Campos, 2019.

BASTOS, E.K.; SILVA, R.A. **Crimes contra flora e vegetação**. In: TOCCHETTO, D. **Perícia ambiental criminal**. São Paulo: Millennium, 2010.

BEDIA J, HERRERA S, GUTIÉRREZ J, ZAVALA G, URBIETA I, MORENO J. **Sensitivity of Fire Weather Index to different reanalysis products in the Iberian Peninsula**. Nat Hazards Earth Syst Sci, 2012.

BRITO, Jorge Nunes; COELHO, Luiz. **Fotogrametria Digital**. Instituto Militar de Engenharia. 1a Ed. Rio de Janeiro, Brasil: 2002.

BROWN, AA; DAVIS, K.P., **Forest Fire Detection**. In Forest Fire – Control and use, Second Edition (Eds. W.P. Orr, N. Frankel and S. Langman), McGraw-Hill, New Your. 1973.

BRYN, Leonardo Monteiro. **Página dinâmica para aprendizado do sensoriamento remoto** — Dissertação de Mestrado – Porto Alegre – RS, 2008.

BURROUGH, P. A., **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Clarendon Press – Oxford – London. 1986.

CALDAS, Aiga Jucy Fuchshuber da Silva; Giovani Vilnei Rotta; Eduardo Kraemer Góes; José Antonio Schamne. **Sensoriamento remoto na perícia ambiental da Polícia Federal**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30, INPE, p. 3621-3628. Abril, 2009.

CÂMARA G., U. Freitas and M.A. Casanova, **Fields and Objects Algebras for GIS Operations**. Proceedings of III Brazilian Symposium on GIS, 407-424 (1996).

CASTRO, Carlos Ferreira de. Gouveia Serra, José Parola, José Reis, Luciano Lourenço, Sergio Correia. **Combate a incêndios florestais**. Escola Nacional de Bombeiros, Sintra, 2ª edição, 2003.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL - CBMDF 2020. **Mapa temático PNB**. Disponível em:
<https://drive.google.com/file/d/0B85gdqavzeOkQVpfUFduSIVqWEk/view?usp=sharing>
 g. Acesso em: 16 ago. 2020.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL - CBMDF. **Manual de Perícia em Incêndio e Explosões**: Módulo II. Brasília/DF, 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL - CBMDF. **Relatório Final da Operação Verde Vivo**. 2017

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL - CBMDF. **Relatório Final da Operação Verde Vivo**. 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS - CBMGO. **Manual de Combate a Incêndio Florestal**. 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO MATO GROSSO - CBMMT. **Material Didático**. Disponível em: <http://www.cbm.mt.gov.br/artigo.php?id=429>. Acesso em: 22 dez. 2020.

DUGGIN, M. J. **The Physical Principles Controlling the Remote Sensing Process**

EISBERG, Robert e RESNICK, Robert **Física Quântica Átomos Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Editora: Elsevier, 1979.

ELACHI, C. **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing**, New York, Wiley, 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Satélites de Monitoramento**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>. Acesso em: 15 dez. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.. **Manual de Métodos de Análise do Solo**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, 1979. P. 58.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMPRAPA. **Metodologia de Monitoramento de Cobertura Vegetal: Estudo de Caso no Município de Goiânia - GO**, 1º Ed. Campinas, 2012.

ENGESAT. **Soluções em imagens de satélite e geoprocessamento**. Disponível em: www.engesat.com.br/sentine-2. Acesso em: 20 dez. 2020.

FELGUEIRAS, C. A.; **"Análises sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambiente de Sistemas de Informação Geográfica"**. VIII Simpósio Latinoamericano de

Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial. Sesión Poster. Mérida, Venezuela, 2 a 7 de Novembro de 1997.

FIGUEIREDO, D; **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. São Paulo, SP. 2005.

FILHO, Marques, Ogê; NETO, Vieira, Hugo. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

FRAGAL ,Everton Hafemann; MONTANHER, Otávio Cristiano. **Aplicação de dados radiométricos TM5 na análise da vegetação após incêndio em área alagável e relação com a geomorfologia**.

GIL, A. C **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GIL, A. C **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GNU. **Filosofia**. Disponível em: <https://www.gnu.org/philosophy/philosophy.html>. Acesso em: 18 dez. 2020.

GOGGLE EARTH ENGINE – GEE. **Plataform**. Disponível em: <https://earthengine.google.com/platform/>. Acesso em: 23 dez. 2020.

GONSALVES, Elisa Pereira. **Conversas sobre iniciação à pesquisa científica**. Campinas, SP. Editora Alínea, 2001.

GORELICK, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. **Google Earth Engine: Planetary- scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment**. 2017

GUTIERRES , Henrique Elias Pessoa. **Perícia Ambiental**: Aspectos Conceituais, Metodológicos e Técnicos. Monografia apresentada à Universidade Gama Filho como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Licenciamento Ambiental. Universidade Gama Filho. Rio de Janeiro/RJ, 2010.

GVSIG. **Documentação do gvSIG**. Disponível em:

<http://downloads.gvsig.org/download/web/es/build/html/index.html>. Acesso em: 15 dez. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Resolução Presidencial nº 1/2005. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. PREVFOGO. Pereira, A. de M. M. et. al. **Investigação de Incêndio Florestal**. Brasília/DF, 2010.

INSTITUTO BRÁSÍLIA AMBIENTAL – IBRAM. **Incêndios Florestais**: Causas, Consequências e Como Evitar. Disponível em: <http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Cartilha-Inc%C3%AAndios-Florestais-Causas-Consequ%C3%AAncias-e-Como-Evitar.pdf>. Acesso em 28 dez. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 15 dez. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Divisão de Geração de Imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em: 20 dez. 2020a.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Programa Queimadas**. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portalSite>. Acesso em: 12 dez. 2020b.

JENSEN, J.R. **Issues involving the creation of digital elevation models and terrain corrected orthoimagery using soft-copy photogrammetry**. Geocarto International, 1995.

KARNIELI, Qin, Z.; A.; Berliner, P. A. **Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region**. Int. J. Remote Sens. 2001.

KUMAR, L., & MUTANGA, O. **Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential**. Remote Sensing. 2018.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

LEVINE, D. M. / Berenson, M. L. / Stephan, David. **Estatística: Teoria e Aplicações usando Microsoft Excel em Português**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

LIMA, D. P., Ribeiro, G.K., Aranha, S.R. **Comparação Entre os Métodos de Fusão IHS: Principal Components e Gram-Schmidt Aplicados à Imagem do Satélite Landsat 8 Sensor OLI**. Semana de Geografia, Vol.01, Nº01, Ponta Grossa-PR, 2015.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006.

MAPBIOMAS. **O Projeto**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: 19 dez. 2020.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARTINHO, Wilson Anderson Holler. **Metodologia de Monitoramento de Cobertura Vegetal: Estudo de Caso no Município de Goiânia-GO**, 2012.

MATOS, Fátima do Rosário Magalhães. **Estudo comparativo do desempenho de índices de perigosidade de incêndio florestal**. Mestrado de Riscos, Cidades e Ordenamento do Território. Universidade do Porto. 2012.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UNB/CNPq. Brasília/DF. 2012

MIRANDA , Rodrigo de Queiroga, Henrique dos Santos Ferreira, Ygor Cristiano Brito Moraes, Josiclêda Domiciano Galvêncio, Magna Soelma Beserra de Moura. **Avaliação De Dez Métodos Diferentes De Interpolação Sobre Dados Meteorológicos Em Petrolina, Pernambuco**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 2017.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. Disponível em: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>. Acesso em: 10 dez. 2020.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Browser Worldview**, disponível em: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>. Acesso em: 13 nov. 2020.

NEVES, José Luis. **Pesquisa Qualitativa**: características, usos e possibilidades. Caderno de Pesquisas em Administração. São Paulo, V. 01, Nº 03, 2º SEM/1996.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto**: Princípios e Aplicações - Edgard Blucher, 1998.

NOVO, E.M.L. M. **Comportamento espectral da água**. 2001.

NOVO, E.M.L.M; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Instituto Nacional de pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto, 2001.

PEARSON R.L., MILLER L.D. **Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass Prairie.** Proceedings of the 8th International Symposium on Remote Sensing of Environment, ERIM International, pp. 1357-1381. 1972.

PONZONI, F. P.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2007.

PONZONI, Flávio Jorge. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação:** diagnosticando a mata atlântica. São José dos Campos: Parêntese, 2007.

PRODANOV . Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico:** métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico / – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

PYTHON. **Documentação.** Disponível em: <https://docs.python.org/3/faq/general.html#what-is-python>. Acesso em: 18 dez. 2020.

QASTACK. Disponível em: <https://qastack.com.br/gis/>. Acesso em: 10 dez. 2020.

QUANTUM GIS – QGIS. **Documentação para QGIS 3.4.** Disponível https://docs.qgis.org/3.4/pt_BR/docs/manual. Acesso em: 10 dez. 2020.

REZENDE, A.C.P. **Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao Sistema Brasileiro de Previsão de Safras.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

ROUSE, J. W.; Haas, R. H.; Shell, J. A. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation.** College Station: Texas A&M University: Remote Sensing Center, 1974.

SANTOS, A. R.; Peluzio, T. M. O.; Eugenio, F. C.; Ribeiro, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; MOREIRA, M. A.; SANTOS, G. M. A. D. A. **ArcGIS 10.2.2 Passo a passo: Fotointerpretação e Edição de dados espaciais**. Vol. 2.. CAUFES. Alegre/ES 2014.

SANTOS, Alexandre Rosa dos; Peluzio, Telma Machado de Oliveira; Saito, Nathália Suemi. **SPRING 5.1.2 Passo a Passo: Aplicações Práticas**. Alegre/ES, 2010.

SANTOS, Everton dos. **Modelo de propagação de incêndio utilizando autômatos celulares aplicado à serra de são domingos e áreas adjacentes**. Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas/MG, 2018.

SCCON. **Santiago & Cintra Consultoria**. Disponível em: <https://www.sccon.com.br/produtos/imagens-planet/>. Acesso em: 14 dez. 2020.

SCHETSELAAR, E.M. **Fusion by the IHS transform: should we use cylindrical or spherical coordinates**. International Journal of Remote Sensing, Basingstoke, v.19, n.4, p.759-65, 1998.

SCHUMACHER, M. J.; Brun, E. J e Calil, F. N. **Caderno Didático CFL 506 – Proteção Florestal**. Ministro da Educação e Cultura Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Ciências Florestais; Santa Maria, 2005

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E HABITAÇÃO - SEDUH. **Geoportal**. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/>. Acesso em 12 out. 2020.

SILVA Madeira Netto. (org.) **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais**. – Editora UNB, EMBRAPA Cerrados, Brasília, 2001.

SILVA, D.H.S.; Schuler, C.A.B.; Lopes, M.B.L. - **Fusão de Imagens pelo Método IHS Utilizando Imagem do Satélite CBERS 4 sensor MUX e Ortotofoto**. 2017.

SILVA, G. B. S. *et al.* **Procedimento para correção de geométrica de imagens de satélite**. Campinas-SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012.

SOARES, C. P. B. *et al.* **Individual-tree growth and mortality models for a semideciduous Atlantic forest in Brazil**. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, v. 9, n.11, p. 542-552, 2015.

SOARES, R. V. **Incêndios florestais: Controle e uso do fogo**. 2ª Edição. Ed. FUPEF. Curitiba/PR, 1985.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 8. ed. São Paulo: Cortez, 1998.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS – Disponível em: <https://www.usgs.gov/>. Acesso em: 10 dez. 2020.

VIEGAS, D. X., Rossa Carlos, Ribeiro, Luís Mário. Incêndios Florestais. 2011.

WIKIPEDIA. **Bit**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Bit>. Acesso em 19 dez. 2020.

APÊNDICES

APÊNDICE A – LISTA DE PERITOS ATUANTES EM 2020

LISTE DE PERITOS DO CBMDF ATUANTES EM 2020

1	CAP ANA	15	MAJ MARIA
2	CAP BAIGORRI	16	MAJ PALHANO
3	CAP BARBARA	17	MAJ RENATA MOURA
4	CAP BARROS	18	MAJ RODRIGO FREITAS
5	CAP CARLOS	19	MAJ TAVARES
6	CAP FERNANDA SOUSA	20	MAJ FERNANDA
7	CAP GUIMARÃES	21	TC CÉLIO WILSON
8	CAP LAYLLA	22	TC HELEN
9	CAP LUIZ LEITE	23	TC HILDEBETO
10	CAP OLIVEIRA	24	TC MARINA
11	CAP PALMEIRA	25	TC VINÍCIUS ALENCAR
12	CAP ROSSI	27	CAP BARROS
13	CAP DIAS	28	TC IVALDO
14	MAJ GABRIEL	29	TC JOHN
26	TC WENDER		

Fonte: O autor.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO NA PESQUISA

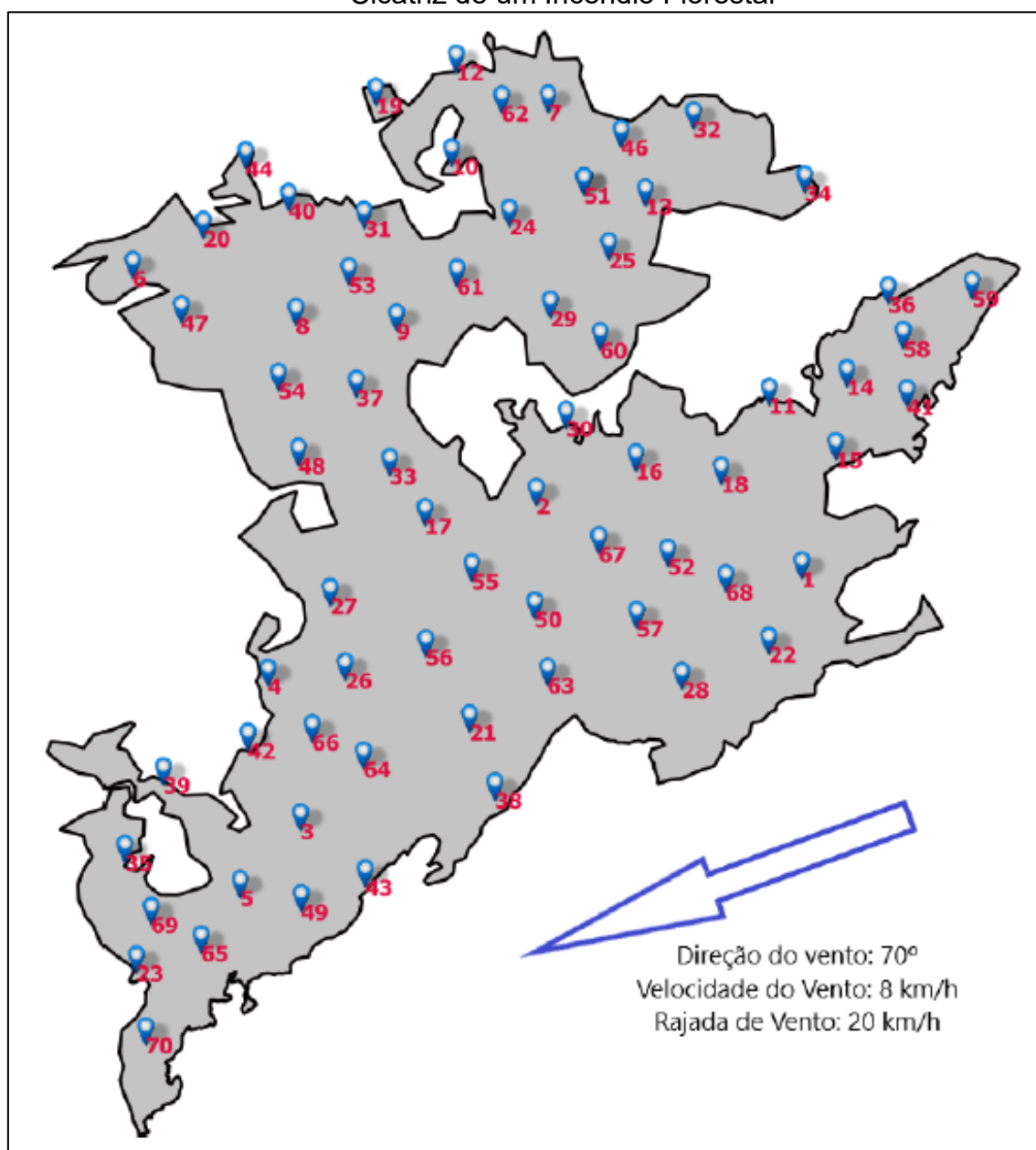
QUESTIONÁRIO

Análise das influências das variáveis dos incêndios Florestais para uma melhor delimitação da zona de origem.

Olá nobre colegas! Se você chegou até este formulário é porque foi convidado a contribuir com meu trabalho de pesquisa do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais do CBMDF cujo tema é: INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS COM ANÁLISE DE COMBUSTÍVEL, TOPOGRAFIA E PADRÕES METEOROLÓGICOS UTILIZANDO O SENSORIAMENTO REMOTO. Este questionário aborda proposições para a identificação através do sensoriamento remoto de pontos próximos a zona de origem de incêndios florestais. Serão apresentadas 5 imagens combinadas com as seguintes temáticas e variáveis: cicatriz de queima, ocupação do solo, topografia, focos de calor e imagens históricas obtidas por satélites. Ao final o colaborador irá mensurar a contribuição que cada variáveis trouxe no processo de identificação de pontos próximos a zona de origem do incêndio.

ANÁLISE PELA GEOMETRIA DA CICATRIZ DE QUEIMA

Cicatriz de um Incêndio Florestal



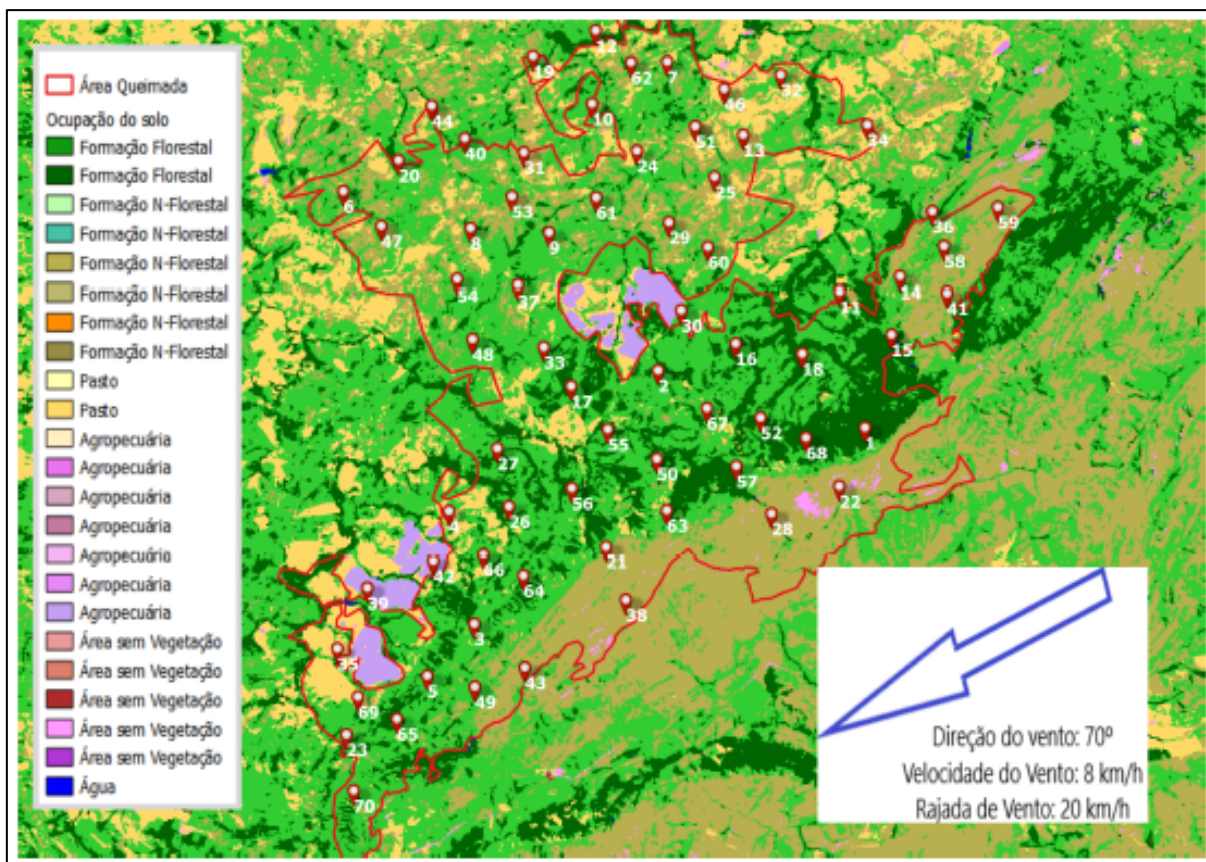
Fonte: o autor

1. Com base na geometria da cicatriz de queima e nos fatores meteorológicos ilustrados acima, qual ponto estaria mais próximo da zona de origem do Incêndio Florestal analisado? (Selecione um número de 1 a 70).

R. _____.

ANÁLISE COBERTURA DO SOLO

Ocupação do Solo da região do Incêndio Flor



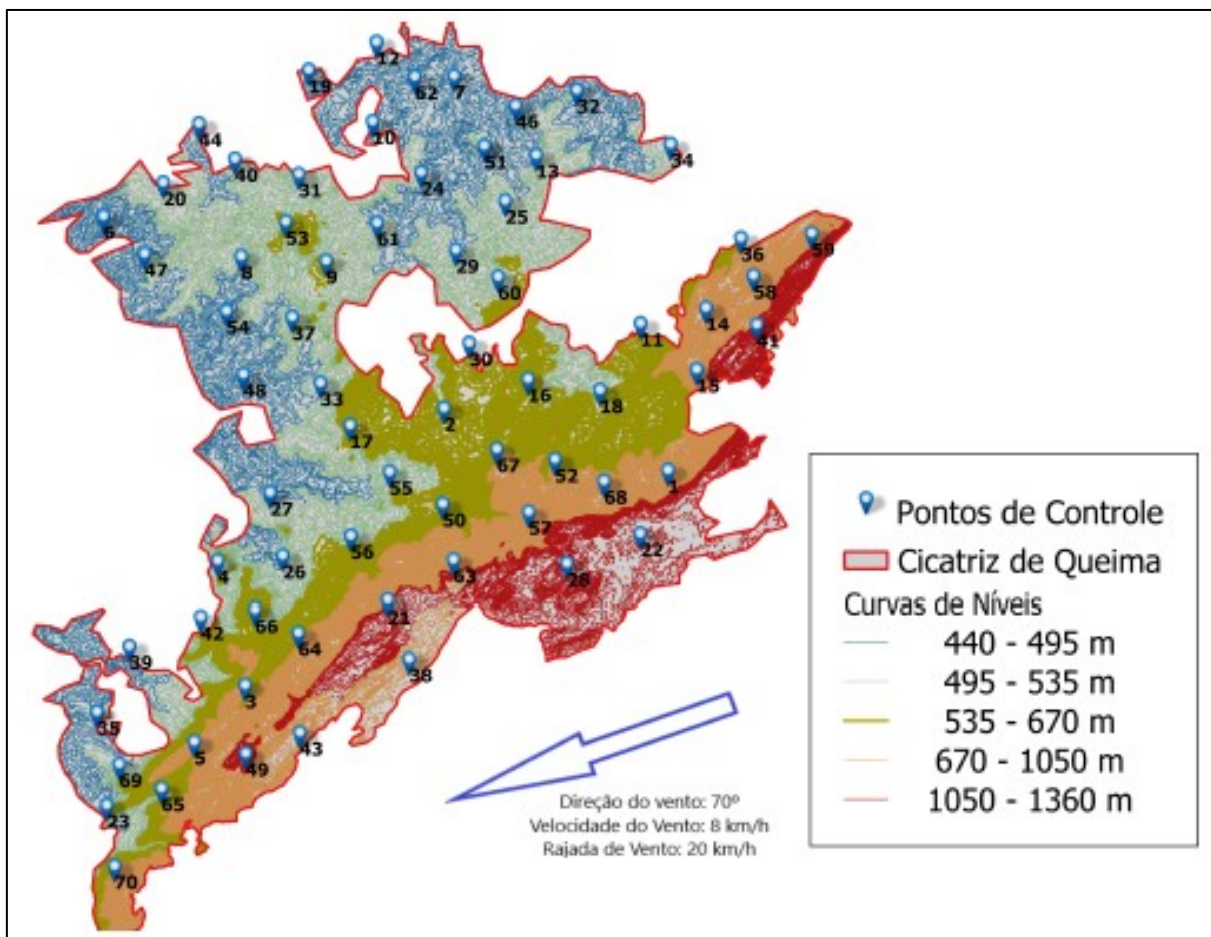
Fonte: o autor

2. Com base na classificação do uso do solo da região sinistrada por um incêndio florestal, qual ponto estaria mais próximo da zona de origem do incêndio? (Selecione um número de 1 a 70).

R. _____.

ANÁLISE DA TOPOGRAFIA

A figura abaixo tem-se a representação das curvas de níveis da região sinistrada



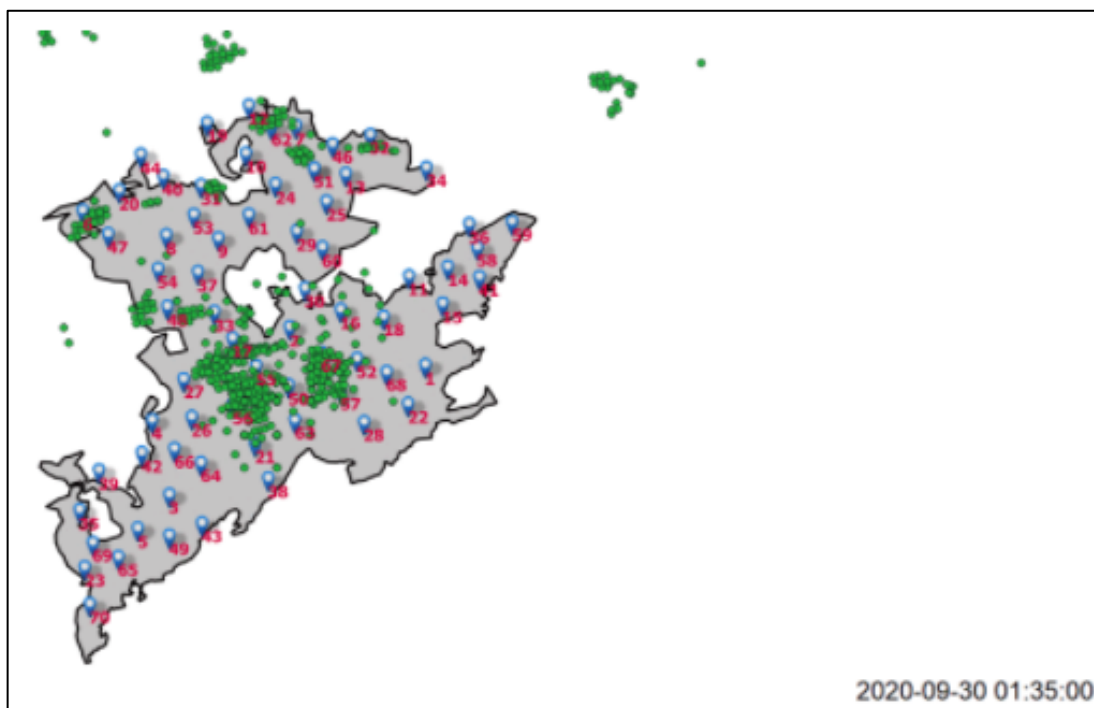
Fonte: o autor

3. Com base nas informações topográficas (curvas de níveis) ilustradas acima de uma região sinistrada por incêndio florestal, qual ponto estaria mais próximo da zona de origem do incêndio analisado? (Selecione um número de 1 a 70).

R. _____.

ANÁLISE DOS FOCOS DE CALOR

Evolução temporal dos focos de calor na região do incêndio florestal (20/09/2020 à 15/10/2020).



Fonte: o autor

4. De acordo com a animação de imagens acima qual ponto de controle você adotaria para representar o ponto mais próximo da zona de origem do incêndio? (Selecione um número de 1 a 70). Atenção a imagem acima é uma animação.

R. _____.

ANÁLISE DE IMAGENS

Histórico de Imagens (Satélite Aqua/Terra - sensor Modis)



Fonte: o autor

5. Após a análise da sequência de imagens abaixo, obtidas pelo sensoriamento remoto responda: As imagens acima são esclarecedoras para delimitação de uma possível região próxima à zona de origem do incêndio? Atenção a imagem acima é uma animação.

() SIM

() NÃO

6. Em sua opinião qual o grau de importância tem as informações geradas pelo sensoriamento remoto (imagem, vegetação, focos de calor e topografia), para a análise de um incêndio florestal?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

7. Qual dos dados apresentados neste questionário você adotaria como mais esclarecedor para a identificação de uma região próxima a zona de origem do incêndio analisado? Marque a sua valoração para cada item nas colunas de 1 a 5. (as colunas de 1 a 5 indicam o grau de esclarecimento).

	1	2	3	4	5
Cicatriz de queima	☐	☐	☐	☐	☐
Cobertura e uso do solo	☐	☐	☐	☐	☐
Análise topográfica do local	☐	☐	☐	☐	☐
Análise temporal dos focos de calor	☐	☐	☐	☐	☐
Análise histórica de imagens	☐	☐	☐	☐	☐

**APÊNDICE C – COMPLEMENTO PARA O MANUAL DE
INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO FLORESTAL**

Manual de Perícia em Incêndios e Explosões

COMPLEMENTO - Incêndio Florestal



Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

Departamento de Segurança Contra Incêndio

Diretoria de Investigação de Incêndio

Sumário

1	CONCEITOS FÍSICOS INICIAIS	3
2	CARACTERÍSTICAS DOS DADOS GEOGRÁFICOS	5
2.1	Processamento de dados matriciais	6
2.1.1	Georreferenciamento	6
2.1.2	Operações com Imagens Matriciais	8
2.1.3	Fusão e composição	8
2.2	Processamento de dados vetoriais	10
2.2.1	Tabela de atributos	11
2.2.2	Calculadora de feições/campo	11
2.2.3	Interface entre dados matriciais e vetoriais	11
2.2.4	Vetorização	12
2.2.5	Rasterização	12
2.2.6	Classificação de imagens	12
2.2.7	Interpolação	14
3	PRINCIPAIS BANCOS DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	15
4	ANÁLISE DA VARIÁVEIS DE IF E SUAS GEOTECNOLOGIAS	18
4.1	Análise dos focos de calor	18
4.2	Análise da cobertura do solo	20
4.3	Análise topográfica	27
4.4	Análise de fatores meteorológicos	29
4.5	Análise de imagens multiespectrais	32
5	RECOMENDAÇÕES	38
	REFERÊNCIAS	41

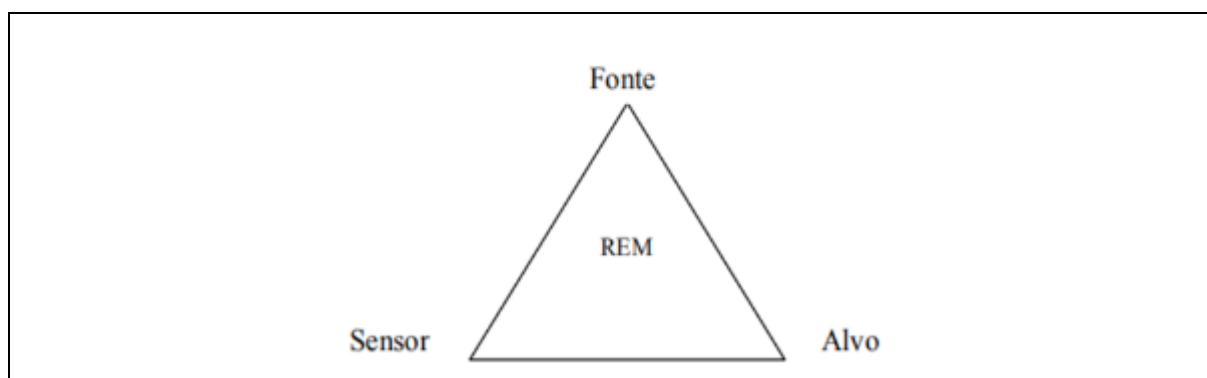
1 CONCEITOS FÍSICOS INICIAIS

Inicialmente, para o desenvolvimento das potencialidades provindas das geotecnologias, é necessária uma familiarização com a variáveis dependentes e independentes inclusas no processo de aquisição de dados oriundos do sensoriamento remoto.

A definição clássica do termo Sensoriamento Remoto (SR) refere-se a um conjunto de técnicas destinado à obtenção de informação sobre objetos, sem que haja contato físico com eles.

Para melhor interpretação das definições acima mencionadas, Novo (2001) traz em sua obra a imagem abaixo contendo a relação entre os elementos fundamentais do sensoriamento remoto.

Figura86- Elementos fundamentais do sensoriamento remoto



Fonte: Novo, 2001.

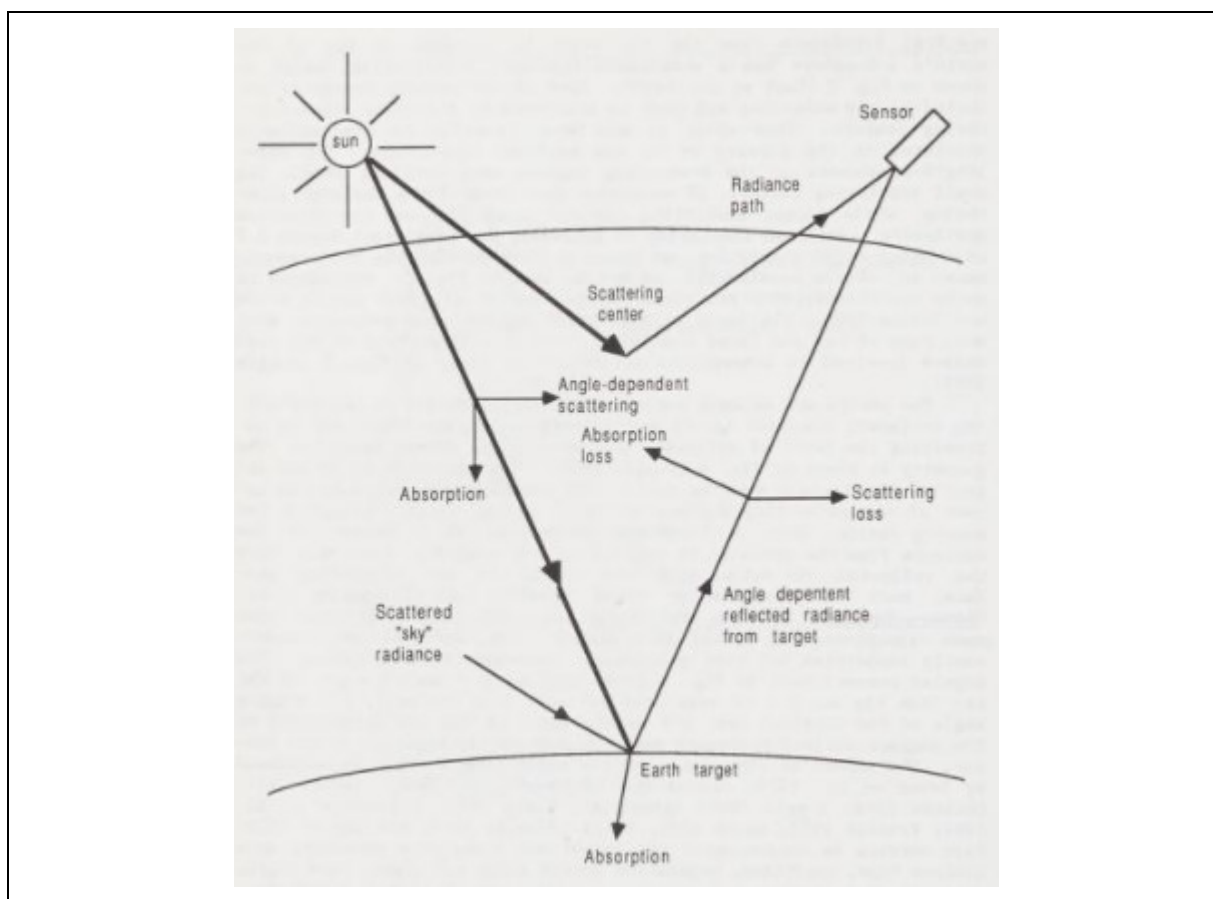
Segundo o autor, no centro do triângulo encontra-se a Radiação Eletromagnética (REM), realizando o papel de ligação entre todos os outros elementos posicionados nos vértices. Em um caso prático, a referência menciona que a REM provinda do Sol interage através dos processos físicos de reflexão, absorção e transmissão com os alvos, objetos a serem estudados e chegam aos sensores responsáveis por coletar e registrar a fração da REM refletida ou emitida pelo determinado alvo.

É neste ponto que o uso dos SIG deve passar obrigatoriamente pela habilidade de ler tais sistemas de informações (MENESES, ALMEIDA, 2012).

Para o leitor, é essencial que, antes do aprofundamento das técnicas propriamente ditas de processamento de imagens, o mesmo deve entender os “fundamentos de sensoriamento remoto e descrições dos tipos de sensores que operam nas faixas espectrais do visível às micro-ondas” (MENESES, ALMEIDA, 2012, n.p).

Desta forma, segundo Ponzonni (2007), no momento da interação de uma REM com um alvo (objeto de estudo), ela sofre três fenômenos: reflexão, transmissão e absorção. A caracterização dos resultados destes fenômenos combinados irá depender das características inerentes de cada alvo. A imagem abaixo ilustra essa interação.

Figura87 - Interação da REM com alvos



Fonte: Duggin, 1986.

2 CARACTERÍSTICAS DOS DADOS GEOGRÁFICOS

No estudo do sensoriamento remoto e suas aplicações, duas questões estão sempre presentes. Uma está relacionada a qual a melhor resolução de imagem para identificar os alvos de interesse, e a outra refere-se a qual escala é a mais adequada para representar o estudo (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

Desta forma, é importante entender os conceitos relacionados às resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais por trás dos dados provindos do sensoriamento remoto.

De acordo com Barbosa et al. (2019), a resolução espacial representa o tamanho da menor área da superfície terrestre representada em uma imagem, que por sua vez pode ser representada pelo tamanho do pixel.

Figura88 – Quadro de resoluções

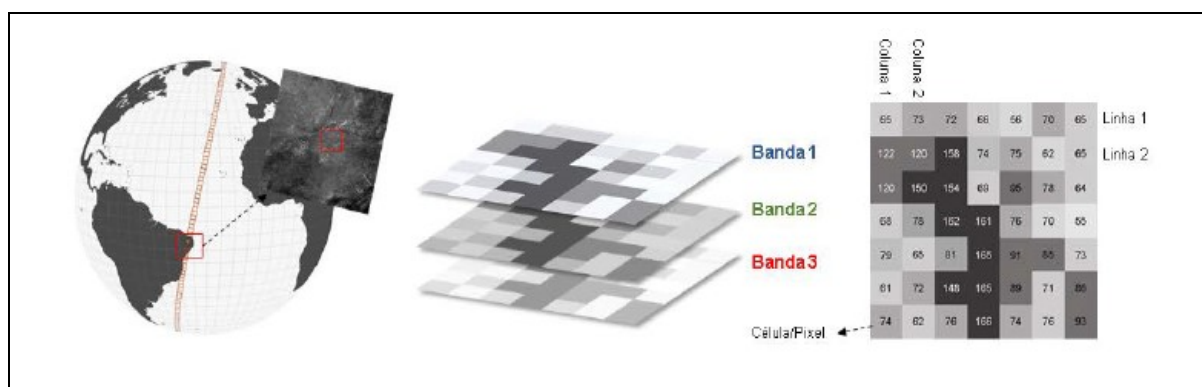
Resolução Geométrica ou Espacial	A resolução espacial está relacionada com a capacidade de cada sensor em detectar os objetos da superfície terrestre. Desta forma, quanto melhor a resolução espacial, menor o objeto distinguível pelo sensor.
Resolução Temporal	Relaciona-se com o intervalo de tempo em que as informações são coletadas. Em sensores orbitais equivale ao intervalo de aquisição das imagens pelo sistema.
Resolução Espectral	A resolução espectral “é definida pelo número e pelo intervalo espectral de bandas em que o sensor opera” (BARBOSA et al., 2019, p.117). Ainda de acordo com autor, quanto maior a resolução espectral, melhor é a possibilidade de identificar pequenos alvos de estudo.
Resolução Radiométrica	Resolução radiométrica, de acordo com Barbosa et al. (2019), está associada à capacidade de um sensor de distinguir determinadas variações de intensidade de energia da REM, sendo expressa de forma quantizada pelo número de bits.

Fonte: O autor.

2.1 Processamento de dados matriciais

Marques Filho e Vieira Neto (1999) afirmam que uma imagem digital monocromática pode ser descrita por uma função matemática cuja variável dependente expressa o resultado de uma intensidade luminosa em tons de cinza distribuída em um espaço cartesiano bidimensional, em que a linha (x) e coluna (y) identificam um ponto na imagem. Uma exemplificação deste modelo é ilustrado abaixo, com a sequência de sensoriamento e registro a imagem, aquisição da imagem em um banco de dados e visualização a imagem com representação matricial em números digitais.

Figura89 – Modelo matricial da imagem



Fonte: Barbosa, 2019, p.124.

A discretização da intensidade luminosa é uma função $f(x,y)$ que pode assumir valores na faixa de 0 a $2^n - 1$, sendo que os valores de n expressam a quantidade de níveis de cinza presentes em uma imagem digital, assim quanto maior o valor de n mais tons de cinza a imagem terá (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999)

2.1.1 Georreferenciamento

Ao se trabalhar com os dados captados pelos sensores orbitais existe a necessidade de realizar transformações matemáticas nos dados para adequá-los à localidade de origem de onde as informações foram registradas.

O georreferenciamento de um dado consiste em “tornar suas coordenadas conhecidas num dado sistema de referência” (MENEZES, ALMEIDA, 2012). Assim, a finalidade deste processamento é inserir um sistema de projeção de coordenadas.

De acordo com o Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, foi atribuído a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia – IBGE, a responsabilidade de estabelecer os referenciais planimétricos e altimétricos no âmbito do território brasileiro, consequência da redação dada pelo Decreto nº 5.334 de 2005.

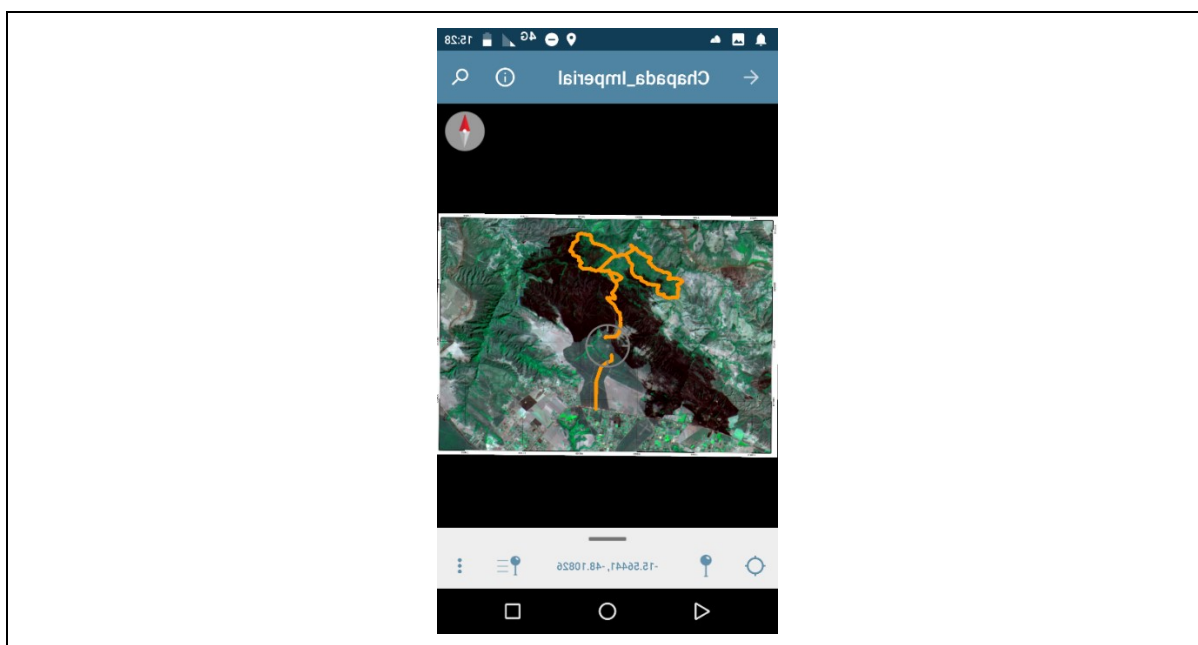
Assim, o IBGE, por meio de uma Resolução Presidencial nº 1/2005, estabeleceu:

Como novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geográfico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS2000). (IBGE, 2005)

Um benefício que o uso das ferramentas de SIG traz ao trabalho do investigador é a possibilidade de realizar o georreferenciamento de todos os estudos prévios à visita de campo, gerando assim uma ferramenta importantíssima de orientação para estudo em loco da área sinistrada.

A título de exemplo, a imagem obtida pelo satélite Resoucesat-2 foi georreferenciada no software QGIS e assim gerado um arquivo no formato PDF, para a utilização no aplicativo Avenza Maps durante uma atividade de campo ao longo de um incêndio ocorrido em 2016 na Chapada Imperial próximo ao PNB.

Figura90 - Exemplo de utilização de dados georreferenciados no aplicativo Avenza Maps.



Fonte: o autor.

O georreferenciamento de imagens é um processo realizado de forma simples e rápida no SIG e tem o intuito de substituir a utilização de cartas e mapas em papel, trazendo assim uma agilidade ao investigador pois a navegação em uma imagem georreferenciada não necessita de internet e apenas um aparelho que contenha a função de localização ativada.

2.1.2 Operações com Imagens Matriciais

O acesso às imagens orbitais é feito, na grande parte das vezes, por meio de imagens matriciais brutas com valores de cada pixel, podendo ser descritas por uma função matemática com variável dependente expressa pelo resultado da energia da intensidade luminosa alocado no espaço bidimensional (Santos et al., 2010).

No âmbito dos estudos realizados nos SIG, existem as operações aritméticas entre imagens digitais. Essas operações são realizadas "pixel" a "pixel", por uma regra matemática definida, tendo como resultado uma nova imagem fruto das originais (Santos et al., 2010).

Todo o campo matemático desenvolvido atualmente pode ser aplicado nestas operações, porém “as operações mais comuns são a soma, subtração, divisão (ou razão entre bandas) e a multiplicação de uma banda por uma constante (realce linear), (Santos et al., 2010).

De acordo com o manual do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de forma geral, as operações têm como objetivo realizar realces entre imagens captadas por sensores diferentes, assim como a identificação de diferentes tipos de vegetação, ou de tipos de solo, desmatamento e concentração urbana, dentre outras análises.

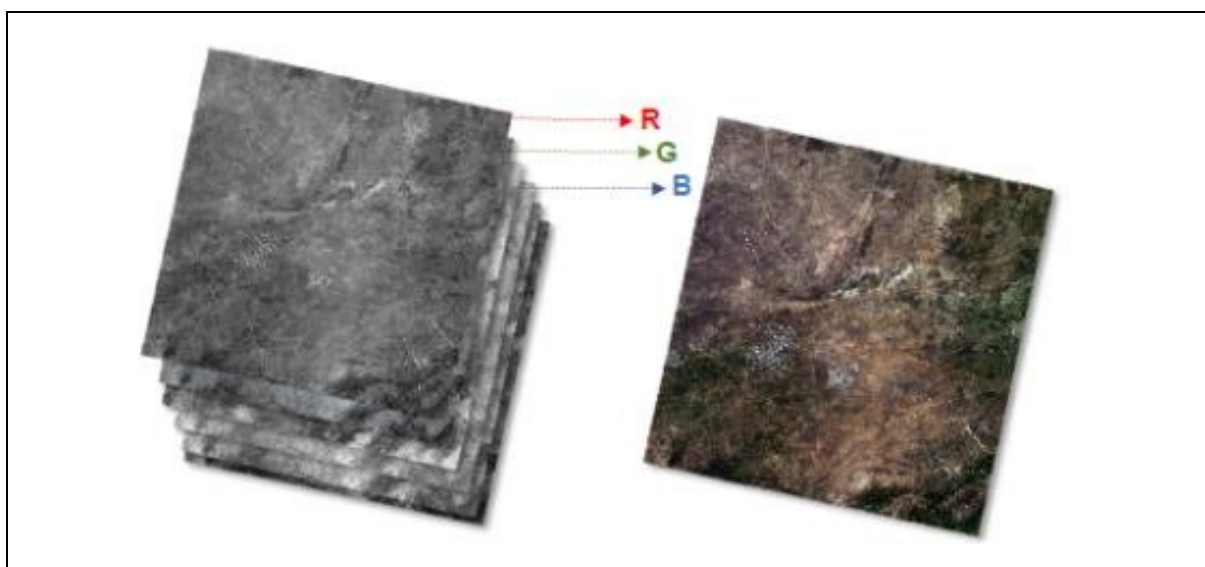
2.1.3 Fusão e composição

O uso de imagens de sensoriamento remoto ao invés de fotografias aéreas pode facilitar a análise dos objetos estudados com detalhes amostrais devido aos diferentes sensores utilizados no registro de uma cena (REZENDE, 2000).

A composição de imagens resulta no processo de associar cada imagem a um canal de cores primárias *Red-Green-Blue* (RGB) no SIG, que combinadas, geram produtos distintos para evidenciar um determinado estudo.

Abaixo segue uma figura que exemplifica uma composição colorida RGB de um produto gerado por imagens monocromáticas, resultando em uma imagem multiespectral colorida.

Figura91 – Composição de imagens nos canais RGB



Fonte: Barbosa et al., 2019.

De acordo com Silva et al. (2012), as técnicas de fusão de imagens são procedimentos realizados dentro de um ambiente SIG com objetivo de melhorar a qualidade das imagens multiespectrais, incluindo na análise imagens pancromáticas de alta resolução espacial.

O resultado desta técnica é uma imagem híbrida com alta resolução espacial e apoiado aos resultados espectrais da multiespectral (LIMA et al, 2015).

A imagem abaixo ilustra o resultado de Silva et al. (2012), utilizando a técnica de fusão de imagem pelo método de coloração Intensidade-Matiz-Saturação (IHS) descrito por Schetselaar (1998).

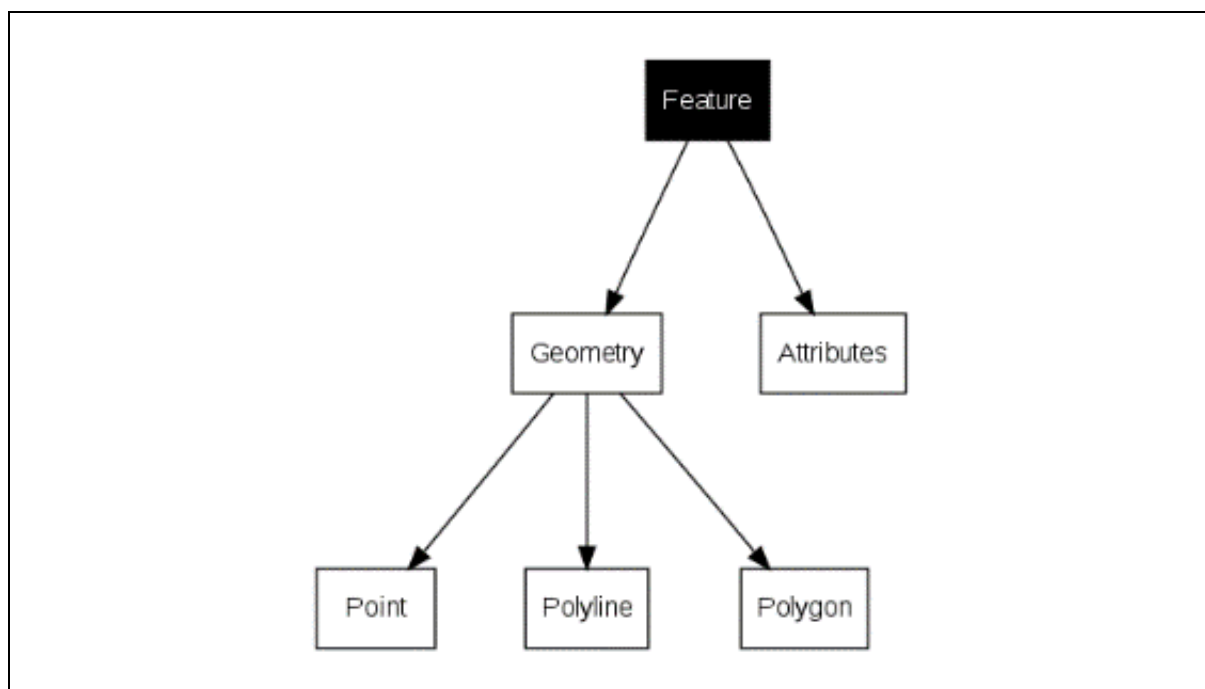
2.2 Processamento de dados vetoriais

Segundo (Santos et al., 2010)., pontos, linhas e polígonos são os elementos que permitem a um vetor representar os dados da forma mais acurada, pois de posse de suas coordenadas geográficas, possibilitam a descrição exata de posição, tamanho e dimensão.

Uma camada vetorial nas aplicações de SIG é utilizada para representar ou delimitar regiões no espaço, assim, todo arquivo vetorial possui características que são apresentadas em uma tabela de atributos. Nos aplicativos de SIG, um vetor com qualidade de ponto pode, por exemplo representar um local bem definido, enquanto uma linha pode representar um curso d'água (QGIS, 2020).

Generalizando as informações acima, tem-se a figura abaixo, ilustrando a características intrínsecas de uma camada vetorial.

Figura92 – Elementos de uma camada vetorial



Fonte: QGIS, 2020.

De forma resumida, um arquivo vetorial necessariamente deve se enquadrar em uma geometria de ponto, linha ou polígono, uma tabela de atributos com informações de suas feições e uma localização no espaço.

2.2.1 Tabela de atributos

Uma camada vetorial possui uma tabela de atributos associada, que pode ser interpretada como uma tabela de linhas e colunas. Conforme o Manual de Treinamento do QGIS, cada linha da tabela representa uma feição (com ou sem geometria), e cada coluna contém uma informação específica sobre a feição, sendo assim, as feições da tabela podem ser selecionadas, movidas, pesquisadas ou mesmo editadas.

2.2.2 Calculadora de feições/campo

A tabela de atributos de um arquivo vetorial pode ser editada facilmente em um aplicativo de SIG, gerando assim informações adjacentes a uma determinada feição, podendo por exemplo calcular área ou perímetros de um polígono representado em determinado estudo (QGIS, 2020).

Assim, esta funcionalidade do SIG permite ao usuário quantificar variáveis e feições a partir de dados brutos de um arquivo vetorial, aplicando a diversidade de produtos e informações que podem ser geradas.

Vale salientar que existem no ambiente da computação diversos tipos de linguagem de programação, e que o *software* QGIS utiliza a linguagem *Python*.

2.2.3 Interface entre dados matriciais e vetoriais

Até esta etapa os dados matriciais e vetoriais foram abordados de forma independente, porém a interface entre estes dados é o grande cerne na geração de conhecimento, pois os produtos gerados no processamento destes dados são mais complexos e mais ricos, devido à junção de informações.

A interação entre estes tipos de dados é feita através de aplicativos de SIG, e cada qual possui suas características, no quesito de utilização de algoritmos de processamento. Adiante, serão elencados os principais métodos de processamento disponíveis nos softwares atuais, que podem ser utilizados de forma livre e gratuita.

2.2.4 Vetorização

De acordo com o Manual do Treinamento do QGIS, a vetorização de um dado matricial consiste na técnica de transformar uma imagem matricial em um dado vetorial. Em nossa discussão de dados vetoriais, explicamos que muitas vezes dados raster são usados como uma camada de pano de fundo, que é usado como uma base a partir do qual as feições vetoriais podem ser digitalizadas.

Ainda de acordo com manual, os softwares de SIG identificam algumas feições semelhantes e bem destacadas de uma dada imagem e então procuram por mudanças abruptas na coloração dos pixels e criam um novo arquivo vetorial como resultado.

2.2.5 Rasterização

O procedimento de transformar a representação de um arquivo vetorial em um arquivo matricial é conhecido como rasterização, e é utilizado quando se necessita compartilhar dados importantes desenvolvidos no ambiente de SIG com usuários externos a essa ferramenta, permitindo sua visualização em um software comum de leitura de imagem para serem trabalhados em ferramentas externas (QGIS, 2020).

Estas transformações, apesar de terem um efeito didático na divulgação e leitura, trazem consigo a desvantagem da perda dos dados contidos na tabela de atribuídos das camadas vetoriais, (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

2.2.6 Classificação de imagens

O sensoriamento remoto tem como um dos focos a extração de informações contidas nas respostas dos alvos que interagem com a REM, e sua conseguinte interpretação através tabelas, gráficos ou mapas.

Menezes e Almeida (2012), em sua literatura, comentam que a classificação de imagens é um processo de associar os pixels de uma imagem a uma quantidade finita de classe que representem alvos do mundo real, de acordo com suas respostas digitais. Normalmente, um determinado conjunto de dados é avaliado por medidas estatísticas, e por fim, associado a uma classe definida pelo manipulador da imagem.

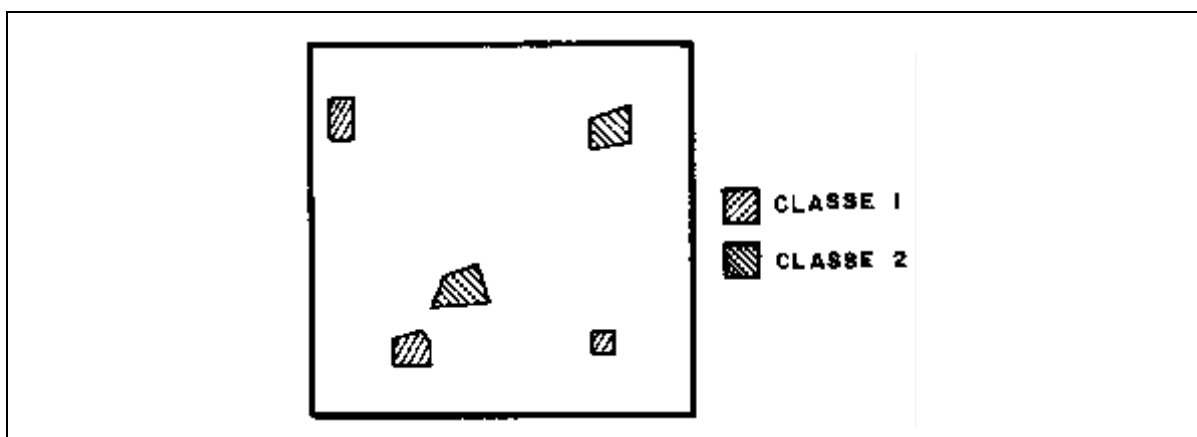
Apesar de haver vários tipos de classificadores, Menezes e Almeida (2012) apontam que a maneira mais comum e adotada entre os usuários de sensoriamento remoto, inclusive utilizada pelos softwares comerciais de PDI, distinguem classificadores em supervisionados e não supervisionados.

Assim, de acordo com Câmara (1996), o primeiro passo no trabalho de classificação de uma imagem é a criação de áreas de interesse através de uma camada vetorial.

De acordo com Câmara et al. (1996), quando o usuário do SIG dispõe de dados que auxiliem a identificação de uma classe de interesse, o treinamento é dito supervisionado, e então é necessário criar feições em uma camada vetorial com rotulação de classes em uma tabela de atributos.

A imagem seguinte exemplifica a tarefa a ser executada no processo de classificação supervisionada.

Figura93 – Exemplo de seleção de áreas no treinamento supervisionado

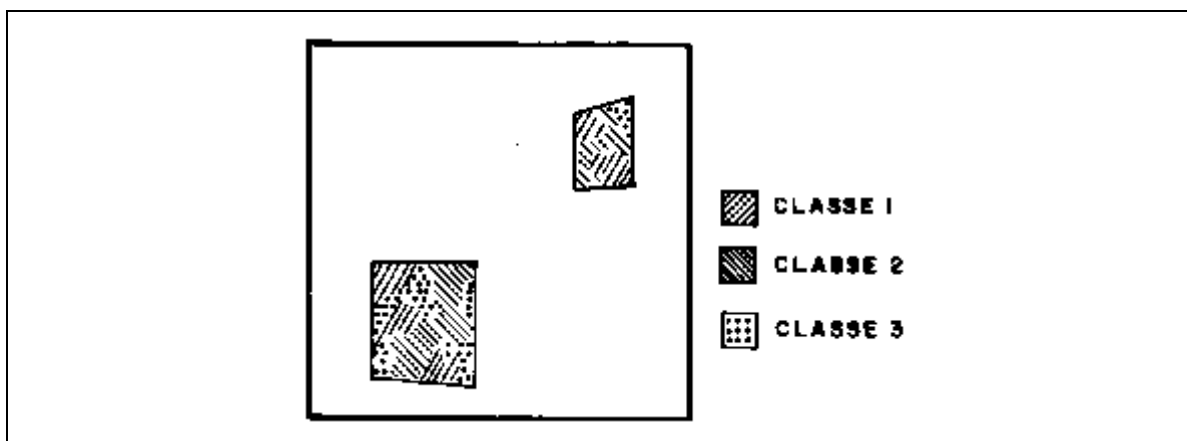


Fonte: Câmara et al, 1996.

Já quando o manipulador da ferramenta de SIG utiliza-se de algoritmos estatísticos para reconhecer as regiões treinamento que posteriormente passarão por um método de classificação o método é dito como não supervisionado (CÂMARA et al., 1996).

A imagem abaixo caracteriza uma suposta área de treinamento realizada de forma automática por um algoritmo.

Figura94 – Exemplo de seleção de áreas no treinamento não-supervisionado



Fonte: Câmara et al, 1996.

Em ambos métodos de classificação são gerados em paralelo dados estáticos relativos à performance do resultado. Estas informações são de suma importância para o confinamento do processo e na busca de melhores resultados.

De acordo com Ponzoni (2007), a classificação de imagens orbitais permite ao investigador da cobertura do solo diferenciar os alvos estudados com mais precisão e eficiência, permitindo assim contrastar em um mapa diferentes fitofisionomias em uma cobertura de vegetação.

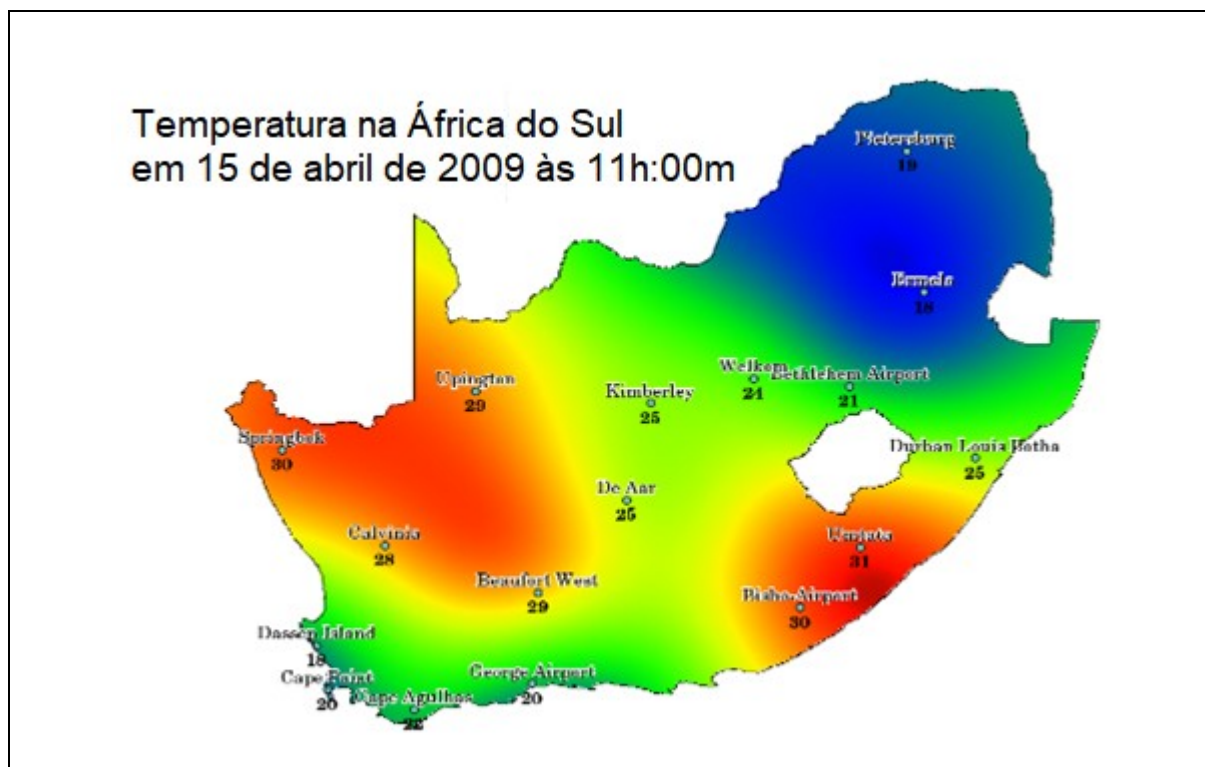
2.2.7 Interpolação

De acordo com QGIS (2020), o processo de interpolação espacial é uma técnica utilizada no SIG para atribuir valores conhecidos a regiões do espaço para regiões desconhecidas. Exemplo deste procedimento é a criação de mapas temáticos com distribuições de valores de precipitações médias. Neste processo, são utilizados meios estatísticos para conferir ao mapa uma distribuição uniforme de dados. São usados pontos com valores conhecidos para estimar valores em outros pontos desconhecidos.

Este recurso é utilizado em análises com o intuito de reduzir custos, pois para se obter informações de todos os pontos de uma região conhecida haveria a necessidade de implantar muitos equipamentos na área de estudo.

Um exemplo da aplicação desse procedimento é a interpolação de dados de temperaturas de estações meteorológicas ao redor da superfície terrestre, como pode ser observado na imagem abaixo.

Figura95 – Mapa de temperatura interpolado - África do Sul



Fonte: QGIS (2020).

É bom salientar que não existe um método único para interpolação, pois há um arcabouço de algoritmos disponíveis para a realização dos trabalhos, e todos eles possuem vantagens e desvantagens, devendo ser analisado qual o tipo de trabalho a ser realizado, e qual se adequará a cada método (QGIS, 2020).

3 PRINCIPAIS BANCOS DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

As primeiras aplicações de fotografias aéreas como fonte de informação para o mapeamento de formações vegetais nos Estados Unidos da América datam de 1956, e de dois anos seguintes no Brasil, sendo as primeiras fotografias aéreas com o propósito de levantar as características da Bacia Terciária do Vale do Rio Paraíba. Esta aplicação findou com a retificação de seu médio curso entre Jacareí e Cachoeira

Paulista, e com a construção do reservatório hidrelétrico de Paraibuna (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

O primeiro sensor orbital da plataforma Landsat, colocado em órbita em 1972, protagonizou o início da prática de lançamentos de satélites de sensoriamento remoto com imagens multiespectrais. A largura da área imageada era de 185 km, com resolução espacial de 76 metros e revisitas de 18 dias, permitindo assim uma visão da superfície terrestre até então inexplorada na época (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

A partir deste marco, centenas de sensores orbitais foram lançados, com os mais variados parâmetros de resolução espectral, radiométrica, espacial e temporal. De acordo com Elachi (1987), para cada tipo de informação a ser obtida, um tipo de sensor se adequará melhor para a descrição.

Sensores de alta resolução espacial tem função de amplo recobrimento do terreno e de imageamento de alvos detalhado. Sensores de média resolução espacial são aplicados a realizarem acompanhamentos vegetativos através de imagens multiespectrais e sensores de baixa resolução, normalmente associadas a tempos de revisitas pequenos são utilizadas em acompanhamento de fenômenos meteorológicos, (NOVO e PONZONI, 2001).

A geração de dados é através de plataformas orbitais, neste sentido a corrida espacial a cada dia evolui trazendo cada vez mais produtos com uma infinidade de características.

A atividade de análise destes dados segue é calcada em três grandes pilares, sendo eles: plataformas orbitais, os bancos de dados de armazenamento de informações e do sistema de informação geográfica para a manipulação de dados.

Levando em consideração as plataformas que desempenham o papel de produção de dados temos abaixo um quadro com as principais fontes de dados acompanhada de algumas características em relação a sua melhor resolução espacial e custo para acesso.

Figura96 – Quadro de plataformas

CBERS	5 m / 10m / 20m / 40m	Gratuito
TERRA	15m / 30m / 90m / 1,1km	Gratuito
LANDSAT 7 e 8	15m / 30m	Gratuito
IRS	5,8m / 23,5m / 55m	Gratuito
SENTINEL-2	10m / 20m / 60m	Gratuito
PLANET	3m	Pago
GOES	1km / 4km / 8km	Gratuito
GEOEYE	0,41m / 1,55m	Pago
WORLDVIEW	0,4m / 1,84m	Pago

Fonte: O autor.

Os dados gerados pelas plataformas acima dentre outras existentes podem ser acessados em bancos de dados que em geral são mantidos por recursos governamentais.

Segue abaixo um quadro com alguns destes bancos de dados seguidos de seus respectivos endereços eletrônicos consultados na data de elaboração deste manual.

Figura97 – Quadro de banco de dados

INPE	http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/ http://www.dgi.inpe.br/catalogo/
Geoportal (GDF)	https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/
USGS	https://earthexplorer.usgs.gov/
NASA Worldview	https://worldview.earthdata.nasa.gov/
Copernicus	https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home
INMET	https://portal.inmet.gov.br/

Fonte: O autor.

No acesso aos BD citados acima poderão ser pesquisados não só os dados citados neste manual como outros, pois a estas referências estão em constantes atualizações.

Em sua grande maioria requerem cadastro para que o usuário possa acessar os dados regularmente.

Um outro pilar deste processo de análise de dados geoespaciais é a necessidade de uma ferramenta para o processamento de tais dados. Existe hoje uma infinidade de softwares de SIG, sendo eles gratuitos ou pagos.

A escolha do SIG é uma adaptação do usuário e em alguns momentos a sua escolha irá depender do propósito a ser estudado. Abaixo citamos algumas referências.

Quantum Gis, ArcGis, ENVI GIS, Google Earth Pro/Engine, Spring dentre outros.

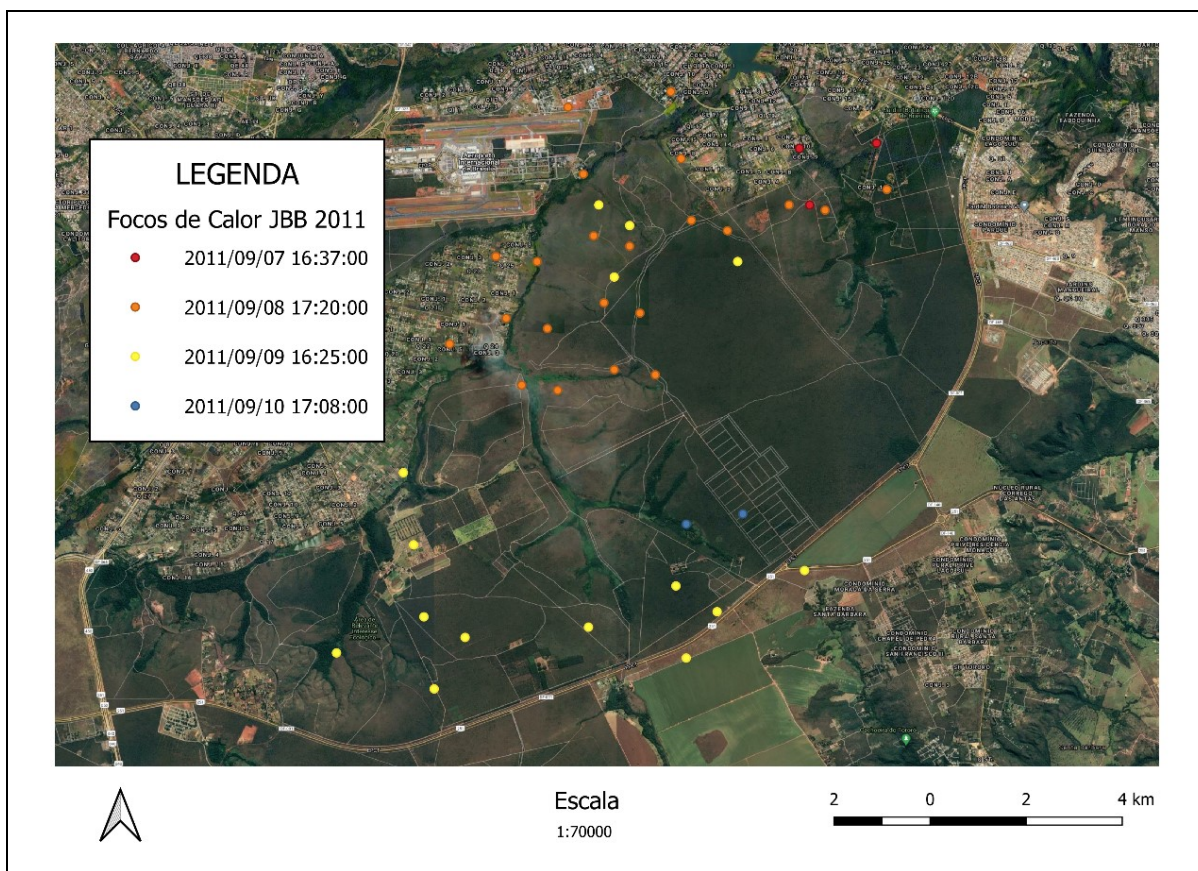
4 ANÁLISE DA VARIÁVEIS DE IF E SUAS GEOTECNOLOGIAS

4.1 Análise dos focos de calor

Para a verificação das potencialidades da consulta dos focos de calor obtidos pelo INPE foram consultados os focos em um intervalo de 4 dias entre os dias 07/09/2011 e 10/09/2011 relacionados a um incêndio que atingiu a Estação Ecológica Jardim Botânico de Brasília em setembro de 2011.

Este sinistro mereceu destaque na época, pois além de grande logística montada pelo CBMDF, IBRAM e demais instituições da capital foi ainda mobilizada a União com a utilização de aviões da Força Aérea brasileira (FAB) para abastecimento de água.

Na consulta ao INPE foram registrados 42 focos de calor entre o 1º foco e o último registrado durante o incidente. Os focos foram plotados sobre uma imagem obtida pela empresa *google* no software QGIS em uma sequência de datas, das mais modernas para as mais antigas e podem ser visualizadas na imagem abaixo.

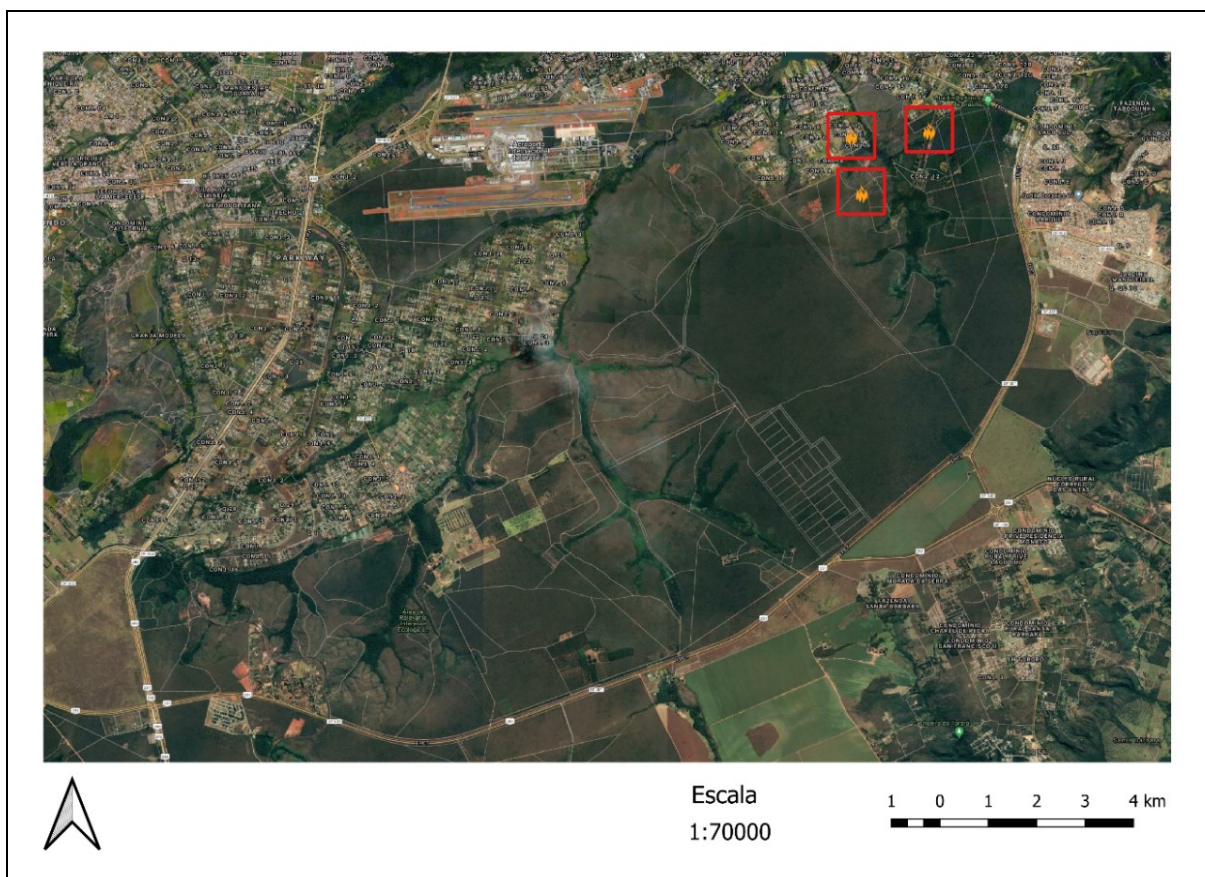
Figura98 – Distribuição de focos de calor no Mosaico

Fonte: o autor.

De acordo com a imagem acima é possível perceber a evolução temporal dos focos de calor que se iniciam próximo à sede do JBB (focos em vermelho) e terminam próximos a DF-001 (focos em azul).

Ainda seguindo a análise os focos identificados nos primeiros dias foram aplicados um *buffer* de forma quadrada de 1 km de lado para representar a região provável de localização do foco sensibilizado pelo satélite que os identificou.

Figura99 – Focos iniciais com buffer de 1000 metros



Fonte: o autor.

Com o resultado acima chegamos a um resultado ainda que não conclusivo, porém com descarte de áreas improváveis de serem habilitadas como origem do incêndio. Percebe-se pelo resultado do trabalho acima realizado que os primeiros focos de calor detectados possuem grande probabilidade de estarem delimitados dentro do polígono em vermelho representado na figura acima.

A delimitação quadrática do *buffer* de 1 km deve-se a consulta feita nas bases do INPE que indica que os sensores que são sensibilizados e que geram os focos de calor estudados possuem uma resolução espacial que pode variar entre 250 m e um 1 km. Assim foi delimitado pela maior resolução.

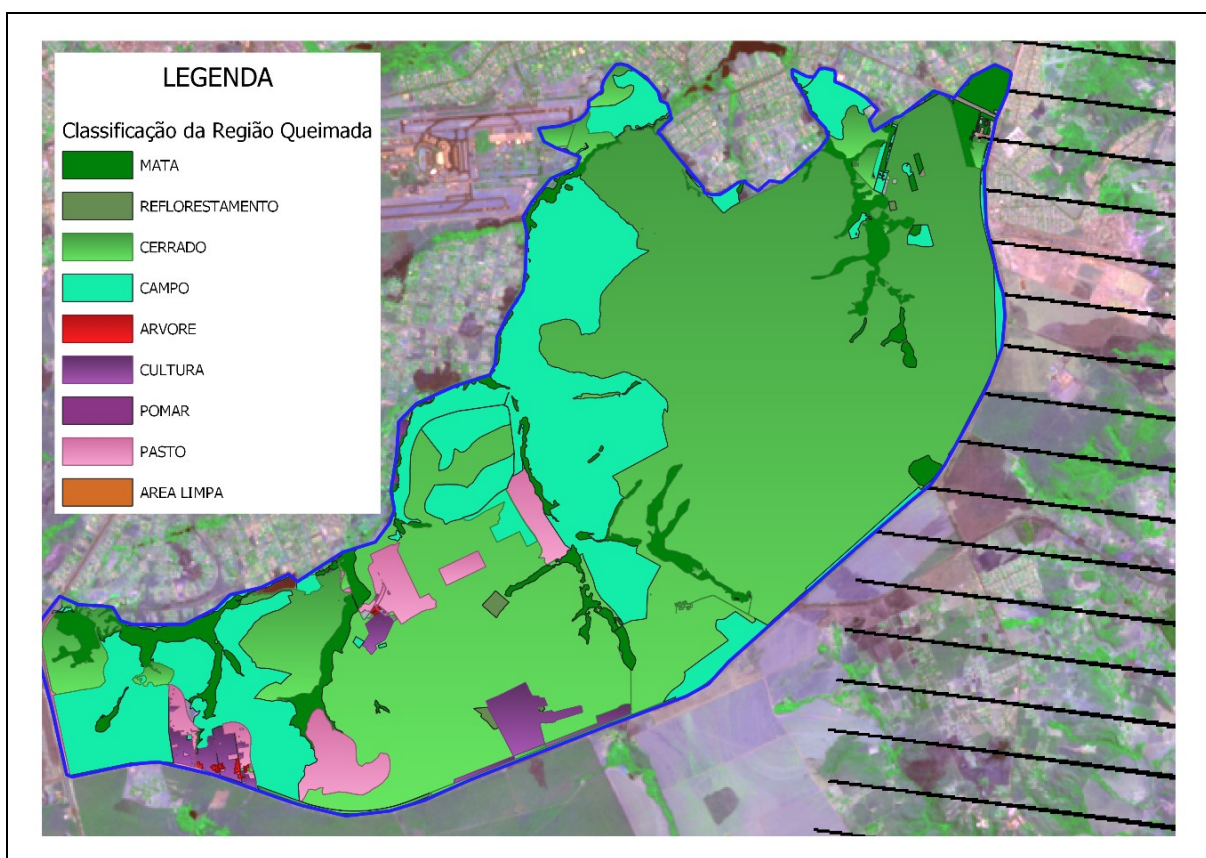
4.2 Análise da cobertura do solo

Para analisar a cobertura do solo foi realizado dois estudos, o primeiro é a classificação dos combustíveis em uma região sinistrada pelo incêndio florestal, o segundo é a aplicação de um índice baseado em operações aritméticas entre bandas

espectrais das imagens coletadas do satélite Landsat 7 que possui uma resolução espacial de 30 metros, sendo assim classificada como de média resolução.

De acordo com a classificação dos combustíveis é possível diferenciar as particularidades dos elementos que constituem a cobertura do solo da região sinistrada entre os seguintes elementos: vegetação cerrado, vegetação florestal, vegetação campestre, água, área construída e solo exposto. O resultado foi processado através do plugin *Semi-Automatic Classification Plugin* disponível no QGIS utilizando o método não supervisionado. O resultado é possível observar na imagem abaixo:

Figura100 – Classificação de combustível no Mosaico

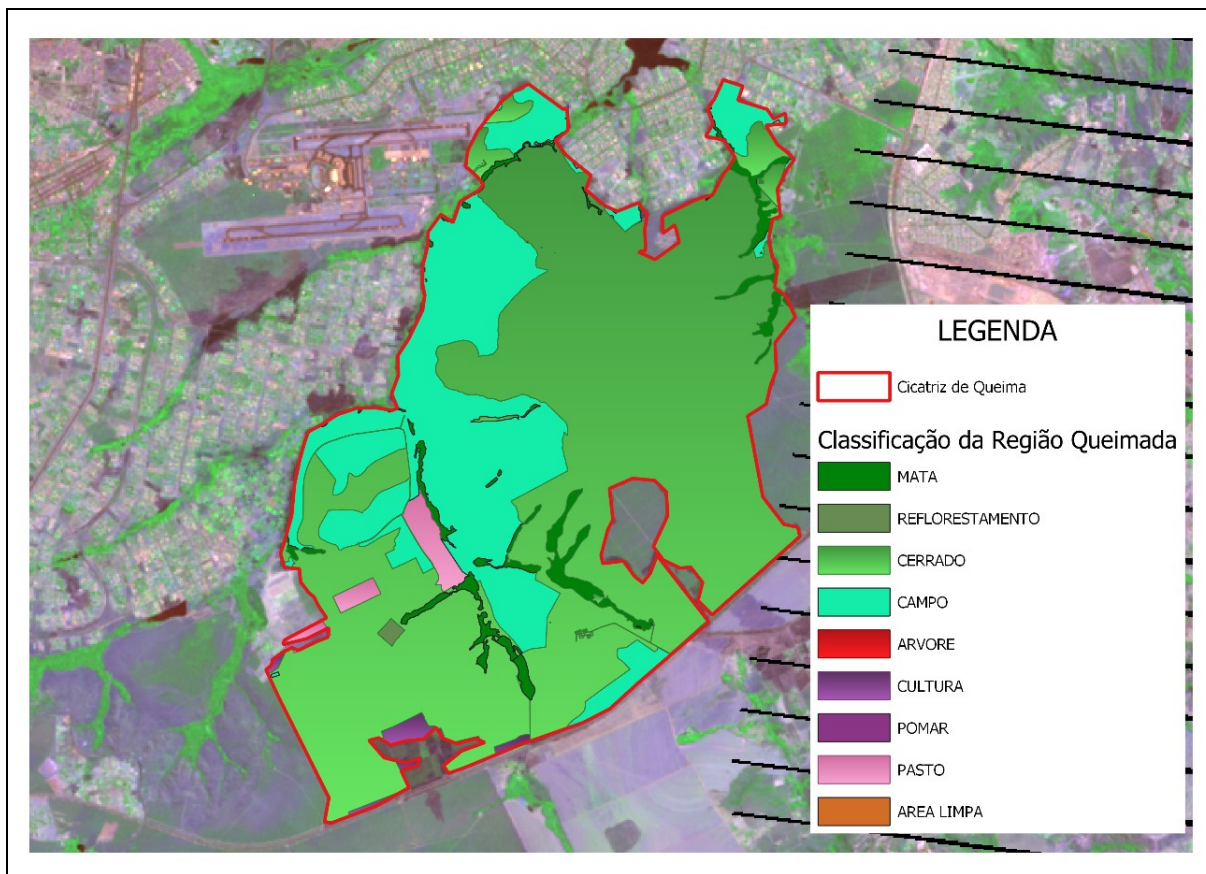


Fonte: o autor.

De acordo com a imagem acima torna-se possível mensurar os tamanhos das regiões com cada tipo de classificação. Este procedimento permite sobrepor uma camada vetorial resultante da cicatriz de queima do IF e assim gerar dados estatísticos a respeito dos percentuais de combustíveis que foram degradados pelo fogo de forma classificada.

Para o incêndio no Mosaico foram aplicadas ferramentas de intersecção dentro do software QGIS para elencar as porcentagens das áreas consumidas pelo fogo conforme o tipo de vegetação. O resultado é mostrado logo abaixo.

Figura101 – Classificação da vegetação queimada



Fonte: o autor.

Com base no resultado acima chegou ao seguinte resultado demonstrado na tabela abaixo.

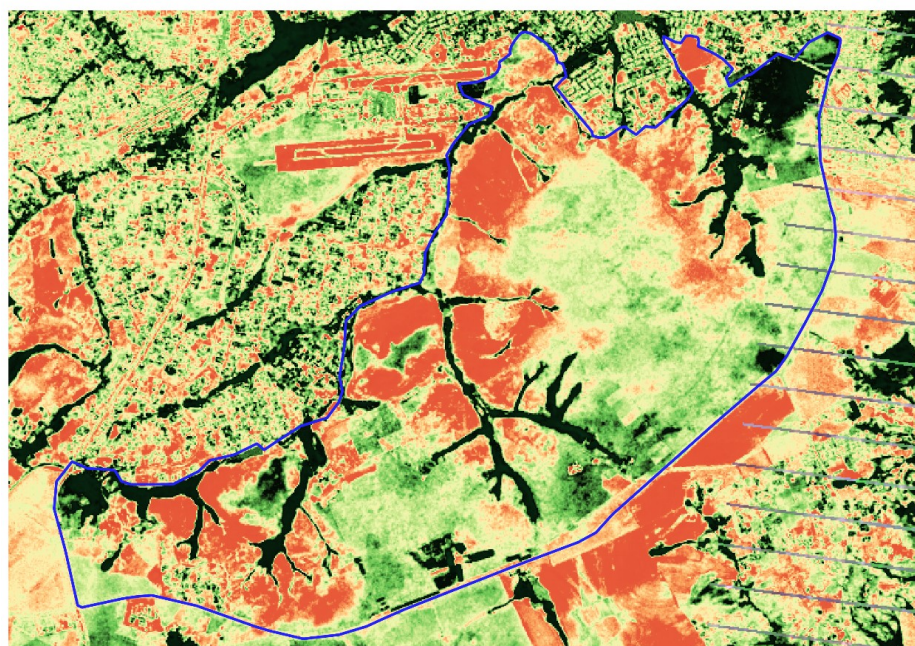
Tabela 5 – Quantitativo de vegetação degradado pelo fogo

Tipos de vegetação	Área total (m²)	Total queimado (m²)	Total queimado (%)	Total queimado Mosaico (%)
Campo	37.339.856,95	23.228.530,92	62,21%	12,83%
Cerrado	120.602.115,03	77.699.028,41	64,43%	42,92%
Cultura	4.057.301,06	1.786.713,11	44,04%	0,99%
Mata	9.806.587,12	4.930.076,77	50,27%	2,72%
Pasto	8.747.445,90	2.133.994,51	24,40%	1,18%
Reflorestamento	243.458,25	208.655,87	85,70%	0,12%

Fonte: o autor.

Percebe-se que no incêndio de 2011 a maior parte consumida pelo fogo foi de vegetação típica do cerrado, seguida de regiões campestres e formações florestais (matas).

Para analisar a qualidade do combustível quanto a sua resposta fotossintética foi aplicado o índice NDVI para região antes do acometimento do incêndio com base em uma imagem do satélite Landsat-7 com resolução espacial de 30 metros. O resultado encontrado é apresentado abaixo.

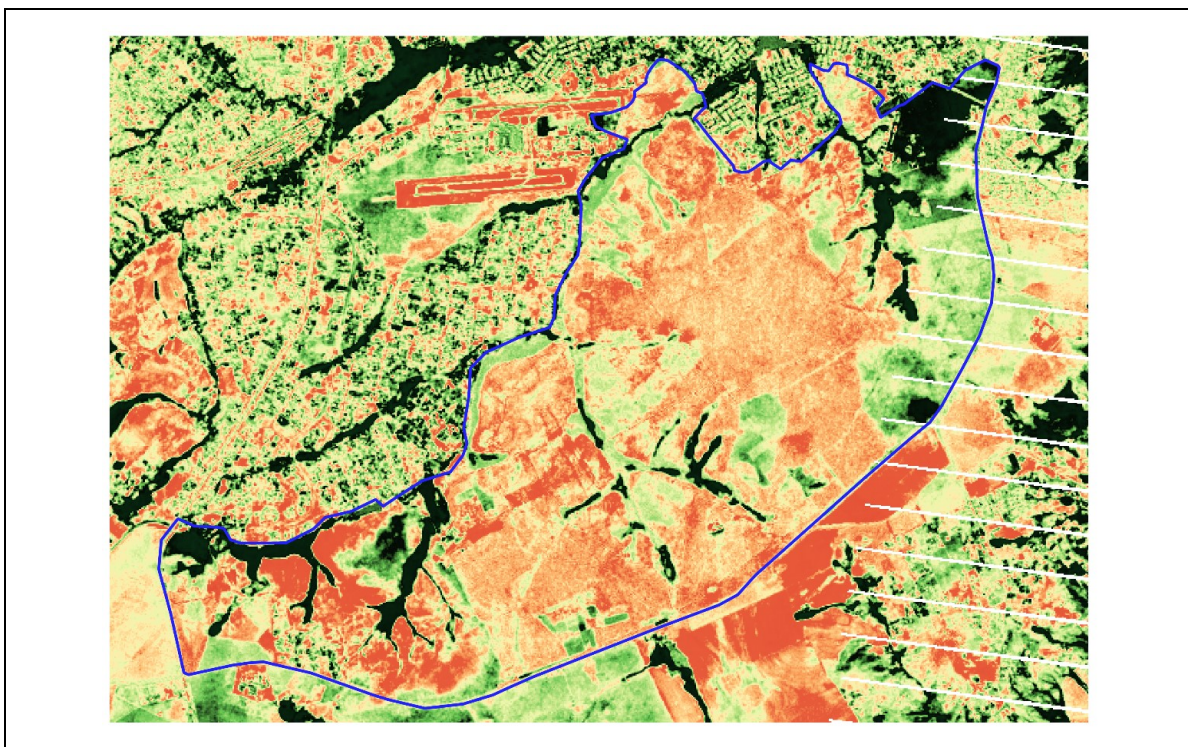
Figura102 - NDVI no Mosaico antes do IF

Fonte: o autor.

De acordo com a imagem acima percebe-se os locais onde há menor quantidade de material fotossintetizante indicando presença de material combustível mais leve ou até a ausência de vegetação. Estas informações podem auxiliar em uma análise da dinâmica do incêndio quando aplicado antes do incêndio e da análise da profundidade da queima quando aplicado após o sinistro.

A imagem abaixo representa a geração do NDVI da região após o incêndio. Seguindo a mesma análise anterior tem-se que as regiões com coloração mais próximas do vermelho indicam menor presença de combustíveis fotossintetizantes.

Figura103 – NDVI Mosaico depois do IF



Fonte: o autor.

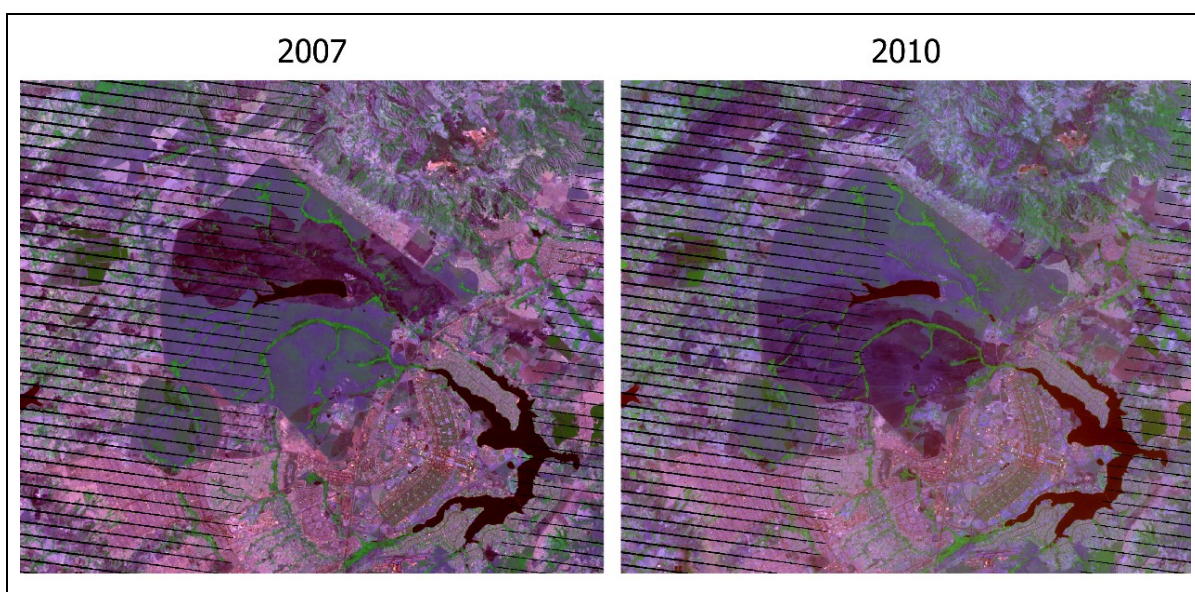
De acordo com a imagem acima tomando como base a orientação a respeito da cicatriz de queima apresentada na Figura 61, percebe-se que mesmo dentro de uma região queimada ainda há a presença de material fotossintetizante o que indica onde a queima foi mais severa ou não, sendo assim objeto de análise pelo investigador na identificação do túnel de calor, região preconizado no Manual de Perícia do CBMDF como região de incêndio totalmente desenvolvido sendo assim podendo ser descartada com zona de origem com importância para avaliação da dinâmica do IF.

Regiões representadas pelas matas de galeria ainda tiveram respostas fotossintetizantes indicando que nestas regiões a propagação do IF se deu de forma superficial ou subterrânea.

Nos dois primeiros eventos 2007/2010, o PNB teve seus dois maiores incêndios da história, sendo consumidos quase que a totalidade do parque pelo fogo no acumulado destes dois anos. Em 2007 a metade superior norte do parque foi consumido pelas chamas em um grande incêndio com vários dias de atuação do CBMDF.

Três anos seguintes um incêndio com as mesmas dimensões acometeu a porção sul do parque. A imagem gerada pelo satélite Landsat – 7 ilustra as cicatrizes de queima destes eventos.

Figura104 - IF no PNB nos anos de 2007 e 2010



Fonte: o autor.

Nota-se que o incêndio de 2007 se encaixa quase como um quebra-cabeça com o incêndio de 2010 demonstrado assim a influência entre um incêndio ao outro, onde regiões queimadas em uma época no passado influenciam queimas no futuro, quanto a possibilidade de não queimar com a mesma severidade ou tornar o combate e controle facilitado.

A forma exata, as quais os incêndios acima mencionados, se influenciaram, não é objeto de estudo deste trabalho, porém buscou-se tornar nítido que de alguma

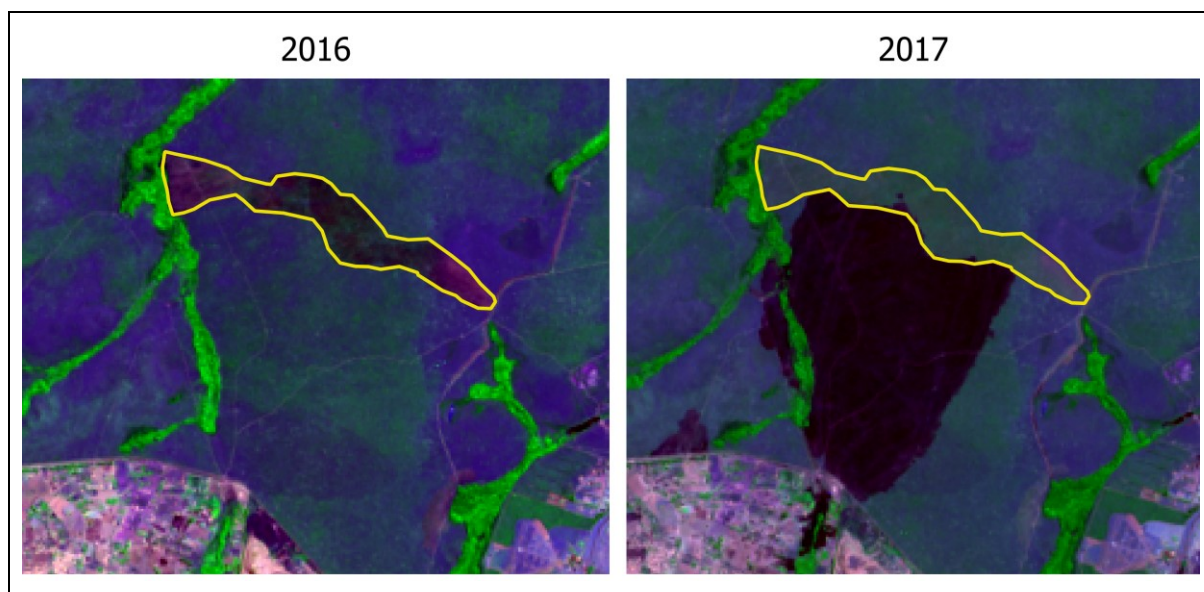
forma a cicatriz de queima do incêndio de 2010 manteve alguma relação visual em relação ao de 2007.

Outro caso que merece destaque foi o de dois incêndios no PNB nos anos de 2016 e 2017 respectivamente. Durante a confecção de um aceiro negro em uma das estradas que cortam o parque, brigadistas perderam o controle do fogo e consequentemente deram origem a um grande incêndio.

No Ano seguinte um incêndio iniciado nas proximidades da cidade satélite Estrutural-DF, propagou-se em direção a região queimada no ano anterior.

Após o controle e extinção do incêndio em 2017 foi possível analisar a cicatriz de queima final e mais uma vez foi nítido a percepção do encaixe quase que perfeito entre a duas cicatrizes de queima. As imagens dos dois incêndios são mostradas abaixo.

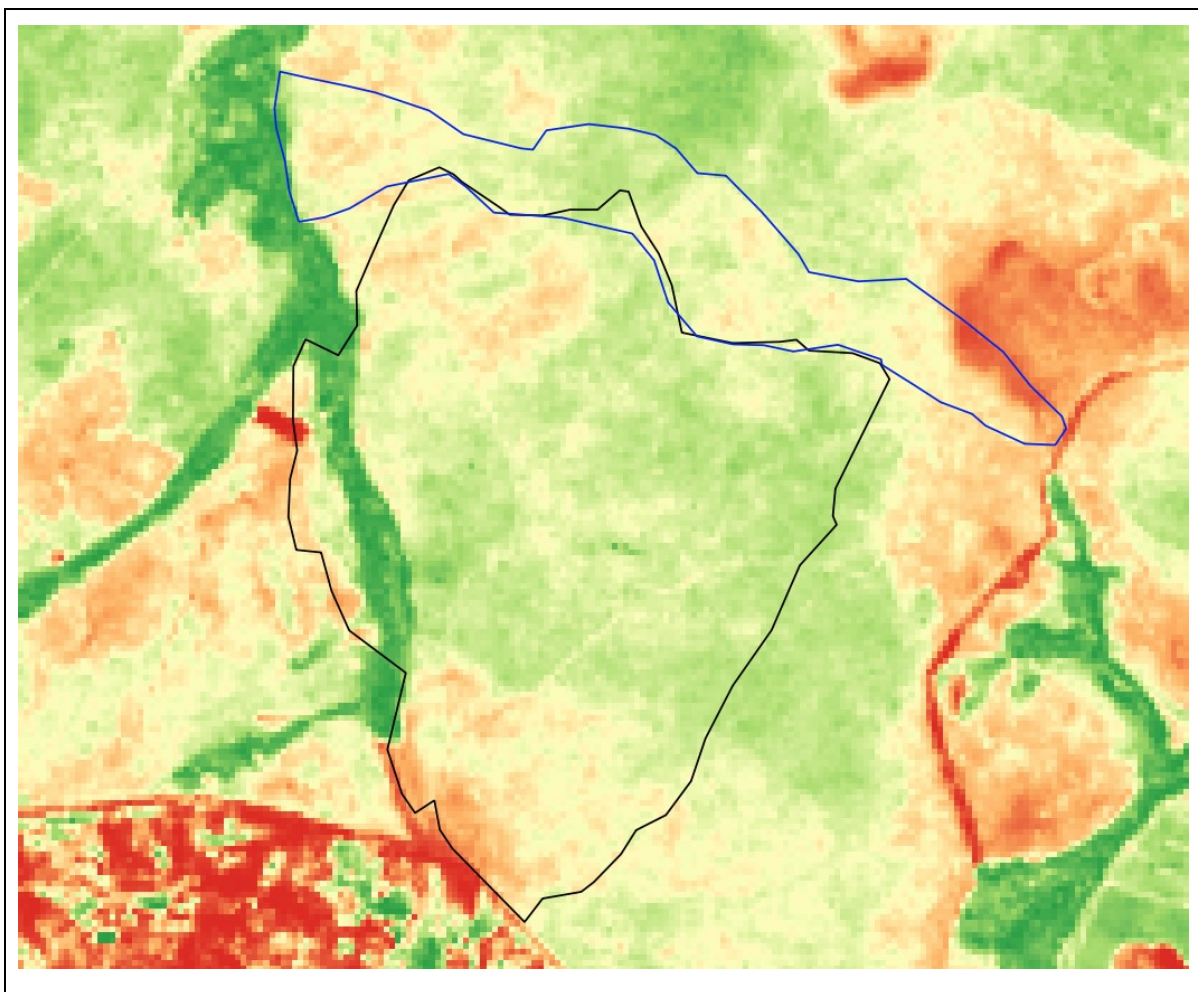
Figura105 – IF no PNB nos anos de 2016 e 2017



Fonte: o autor.

As imagens acima foram obtidas pelo satélite orbital Landsat-8 e a partir das imagens acima foi aplicado índice NDVI de forma pretérita ao incêndio ocorrido em 2017. O resultado é apresentado abaixo.

Figura106 – NDVI do PNB em 2017 antes do incêndio



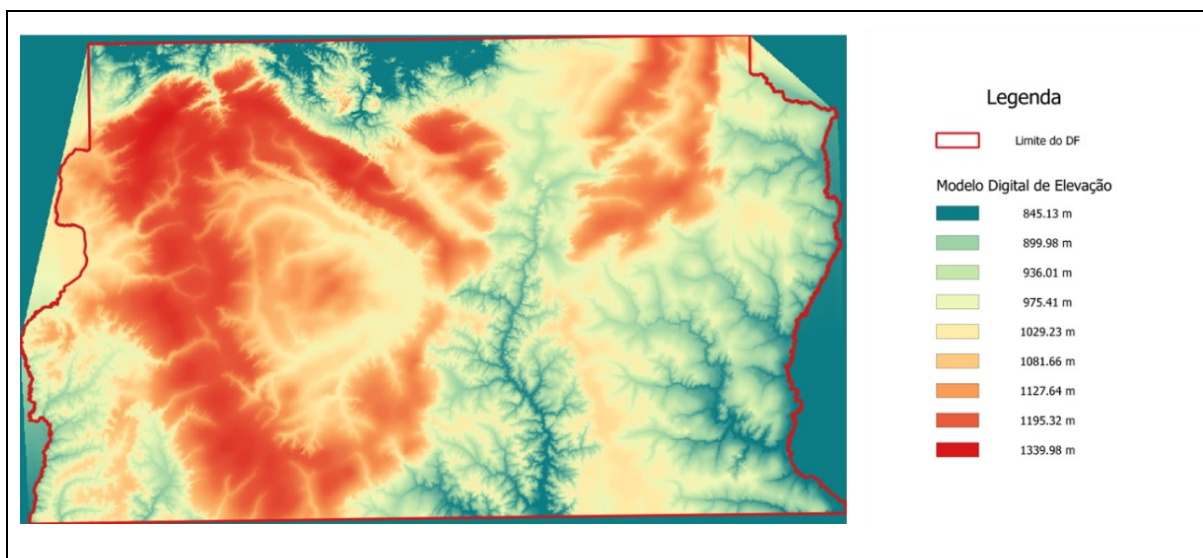
Fonte: o autor.

Nota-se pelo resultado acima que a região sinistrada em 2016 contém menor quantidade de material fotossintetizante justamente na região onde ocorreu o incêndio, podendo assim ter facilitado o combate às chamas em 2017.

4.3 Análise topográfica

A construção de Modelos Digitais de Terreno permite analisar a topografia dos locais sinistrados de forma mais didática com efeitos de cores. O estudo dos perfis topográficos é de grande valia para analisar o comportamento do fogo em regiões com topografia acidentada. A imagem abaixo foi modelada a partir das curvas de níveis disponíveis na SEDUH do Governo do Distrito Federal e assim gerado o MDT do Distrito Federal.

Figura107 – Modelo Digital de Terreno do DF



Fonte: o autor.

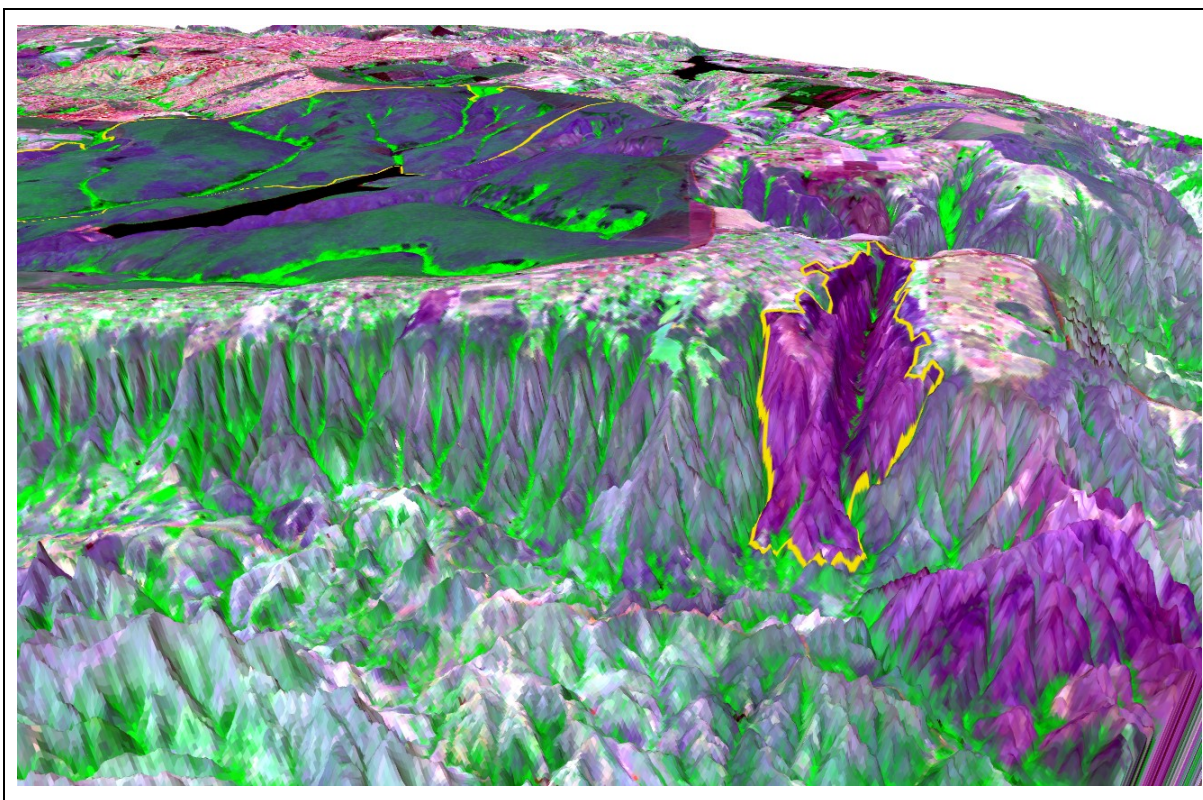
Com a aplicação da paleta de cores entre o azul ao vermelho foi possível através do software QGIS simbolizar as regiões mais altas do DF (mais próximas ao vermelho) e as regiões mais baixa (mais próximas ao azul).

A análise topográfica de uma região acometida pelo fogo merece destaque quando se estuda o comportamento do fogo no sentido limitante ou contributivo para o desenvolvimento dos incêndios.

Em 2020, um incêndio iniciado na base do acidente topográfico próximo ao lago oeste propagou-se de forma muito rápida ao platô da região. Apenas com análise de cicatrizes o estudo da dinâmica do incêndio se torna imprecisa, porém com a identificação de pontos alto e baixo é possível analisar as influências que estes parâmetros produziram na geometria do incêndio.

A imagem abaixo é uma perspectiva em três dimensões produzida no software QGIS após a construção do MDT do terreno do DF.

Figura108 – Perspectiva tridimensional de IF no Lago Oeste - DF



Fonte: o autor.

No MDT foi projetada uma composição entre o infravermelho próximo e os canais vermelho e verde de uma cena captada pelo satélite Landsat 8 do mês de setembro de 2020. Nela é possível observar que a cicatriz do incêndio ocorrido no Lago Oeste – DF que foi delimitado pela topografia do local ficando o mesmo confinada na região indicada pelo perímetro amarelo indicado na figura acima.

4.4 Análise de fatores meteorológicos

Direção e velocidade do vento, temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica são algumas das variáveis que podem ser extraídas das estações atmosféricas mantidas pelo INMET ao longo do território nacional. As estações ficam localizadas em locais pontuais e grande quantidade delas possuem conexão automática com a base de dados do instituto.

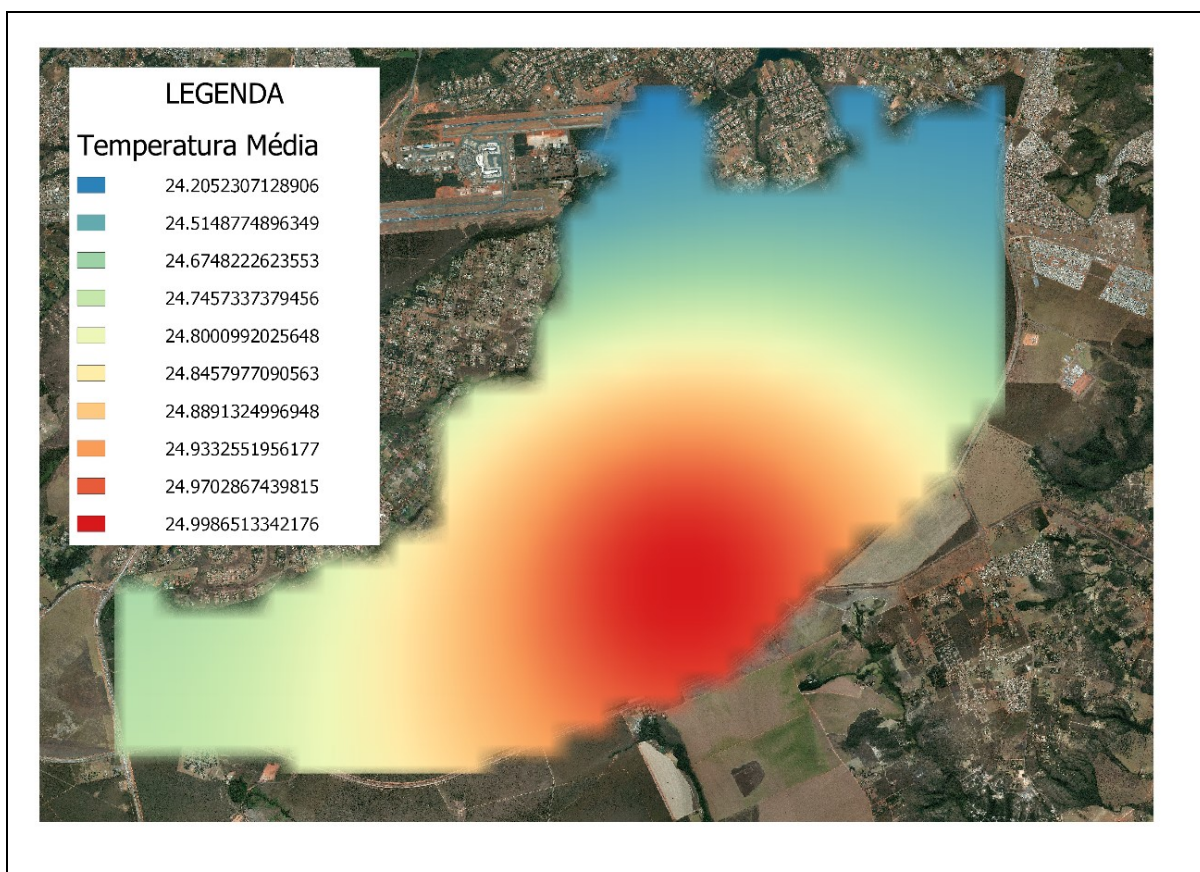
Assim a consulta das variáveis se torna eficiente e ainda georreferenciada, o que permite a aplicação de alguns modelos de interpolação para criar no território pontos contínuos das variáveis meteorológicas.

Um bom exemplo da aplicação desta interpolação, é relativa a variável temperatura, pois para obter os valores de toda a região do DF seria necessários milhares de sensores ao longo da superfície.

Já com a técnica de interpolação é possível inferir de forma estatística valores para toda a superfície de forma satisfatória. Informação esta, que pode gerar esclarecimentos ao investigador das condições térmicas na região do incêndio.

Abaixo segue uma interpolação feita utilizando o método Inverso do Quadrado da Distância (IDW), através do interpolador do QGIS, que em seguida foi aplicada uma escala de cores para uma apresentação mais didática dos resultados.

Figura109 – Interpolação de temperatura média no Mosaico



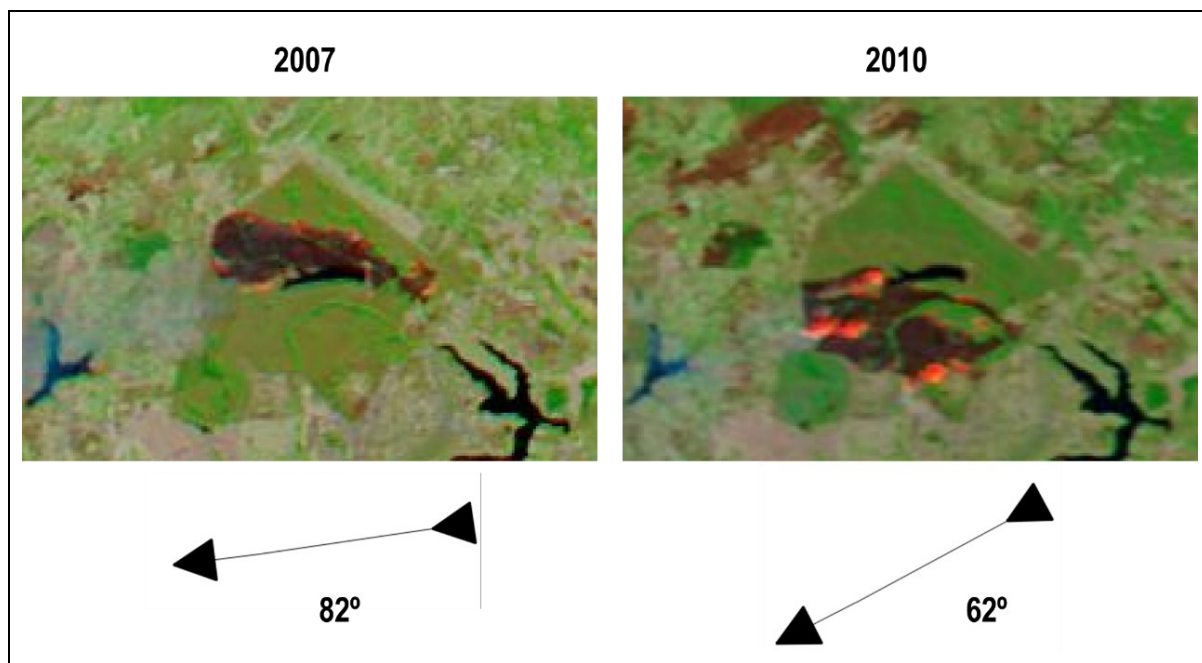
Fonte: o autor.

Regiões mais próximas do vermelho representam regiões mais quentes e mais próximas do azul mais frias. De acordo com a imagem acima tem-se que a temperatura média no dia do incêndio no JBB era de estava entre 24,2°C a 25°C aproximadamente.

A direção e a velocidade do vento também podem ser consultadas pela estação meteorológica mais próxima do incêndio a partir da base de dados no INMET. No incêndio registrado nos anos de 2007 e 2010 no PNB as velocidades de vento registradas nos primeiros dias de incêndio foram de 4,3 e 4,6 metros por segundo respectivamente. Já a direção do vento os valores obtidos foram de 82° e 62° respectivamente.

Os valores registrados acima, a respeito da direção do vento, corroboram com a análise da imagem obtida pelo satélite AQUA ilustrada abaixo.

Figura110 – Direção do vento em IF's no PNB



Fonte: o autor.

A imagem acima evidencia de forma aproximada o dado de direção de vento registrado pela estação meteorológica. Nela é possível observar o deslocamento da fumaça do incêndio em valores próximos aos ventos nordestes registrados na estação meteorológica.

A análise e a interpolação realizada para a temperatura também pode ser estendida para a umidade relativa do ar e para a pressão atmosférica. Isto possibilita as equipes de resposta e de investigadores traçar modelos preditivos de comportamento do fogo sendo que o vento surge justamente da diferença de pressão

atmosférica de uma região que por sua vez está associada a variável de umidade relativa do ar.

4.5 Análise de imagens multiespectrais

Nesta etapa foram analisados incêndios com auxílio de imagens multiespectrais em dois nichos: imagens de baixa resolução espacial 250 metros ou superior e imagens de média resolução 10 metros a 250 metros de resolução espacial.

De forma geral quando se analisa imagens providas de sensores com alta resolução espacial obtemos uma periodicidade maior de informações, já imagens com maiores resoluções geram a necessidade de se utilizar uma maior gama de sensores pois a periodicidade fica comprometida.

Portanto, existem dois tipos de análise a serem feitas com tais imagens. A primeira é a utilização de imagens de baixa resolução temporal para a identificação dos momentos iniciais de um incêndio florestal e de sua dinâmica ao longo do tempo. A segunda é a análise de imagens de média resolução para a descrição mais precisa do local sinistrado afim de extrair dados mais qualificados de área queimada e combustíveis atingidos.

Conforme a grande disponibilidade de sensores orbitais disponíveis gratuitamente nas bases de dados dos SIG são possíveis em algumas situações analisarmos o desenvolvimento de incêndios ativos por vários dias e com sorte de forma diária.

Em algumas situações imagens de média resolução coincidentemente podem registrar o princípio de incêndio em uma resolução espacial altamente acurada. A imagem é um exemplo deste fato.

Figura111 – Origem de IF no Altiplano Leste - DF



Fonte: o autor.

A imagem acima foi obtida pelo satélite Landsat-8, nela foi possível identificar o momento inicial de um incêndio da região do Altiplano Leste em 2017 com a resolução espacial de 30 metros.

Estas informações podem ser sobrepostas em uma imagem de alta resolução tal como a disponível no Geoportal do GDF para dar clareza da região onde se iniciou o incêndio e assim tornar a investigação do sinistro mais assertiva e eficiente. A imagem abaixo ilustra este processo.

Figura112 – Zona de origem IF Altiplano Leste com alta definição

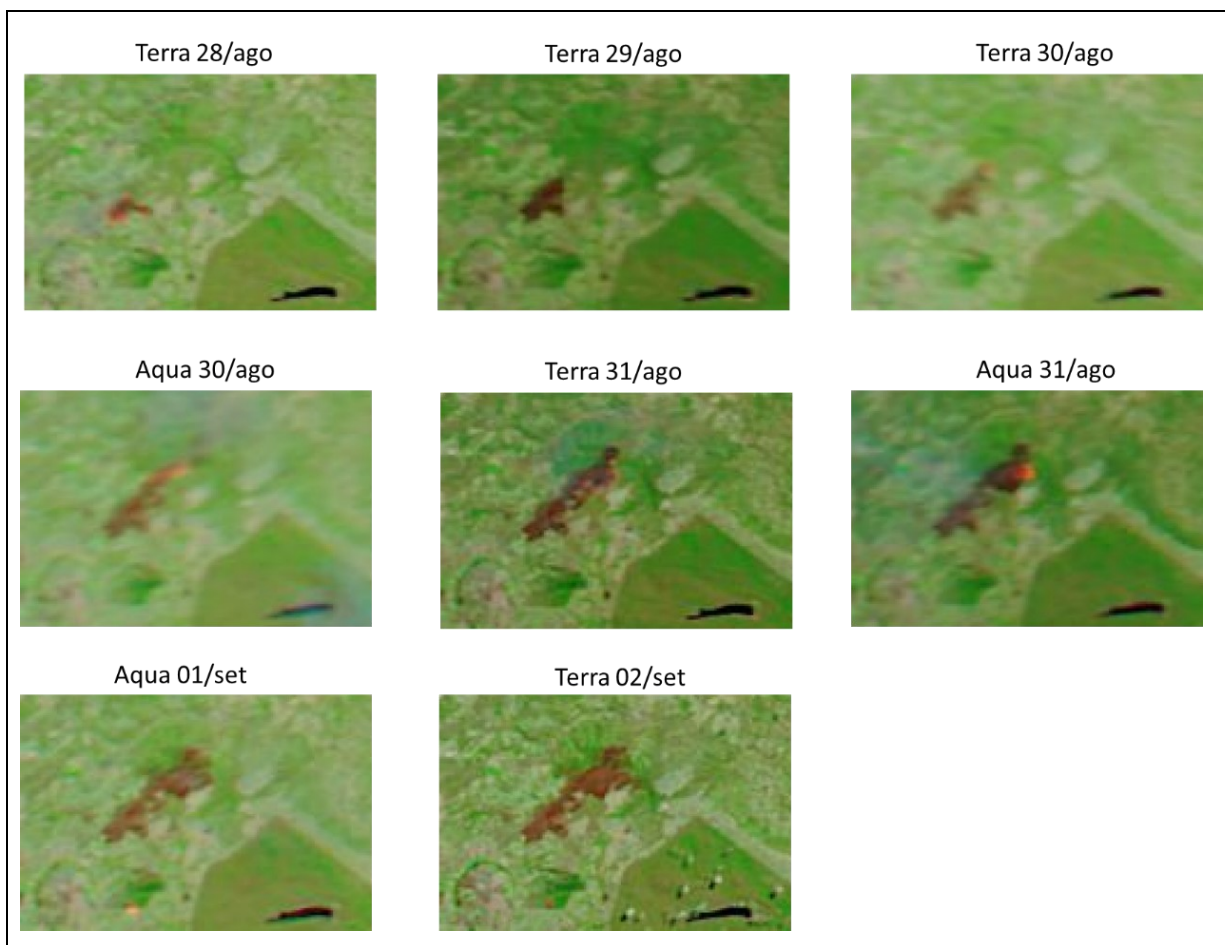


Fonte: o autor.

Nem sempre as imagens de média resolução trarão estes tipos de elucidações, porém a probabilidade destes registros em imagens de baixa resolução espacial as chances são maiores devido a sua periodicidade de revisitas serem maiores.

De posse das imagens geradas pelo sensor MODIS a bordo dos satélites AQUA e TERRA foi possível registrar o início, meio e fim de grande incêndio no DF. Segue abaixo a evolução temporal um incêndio na Chapada Imperial no DF no ano de 2017.

Figura113 – Histórico de imagens AQUA e TERRA de IF na Chapada Imperial-DF

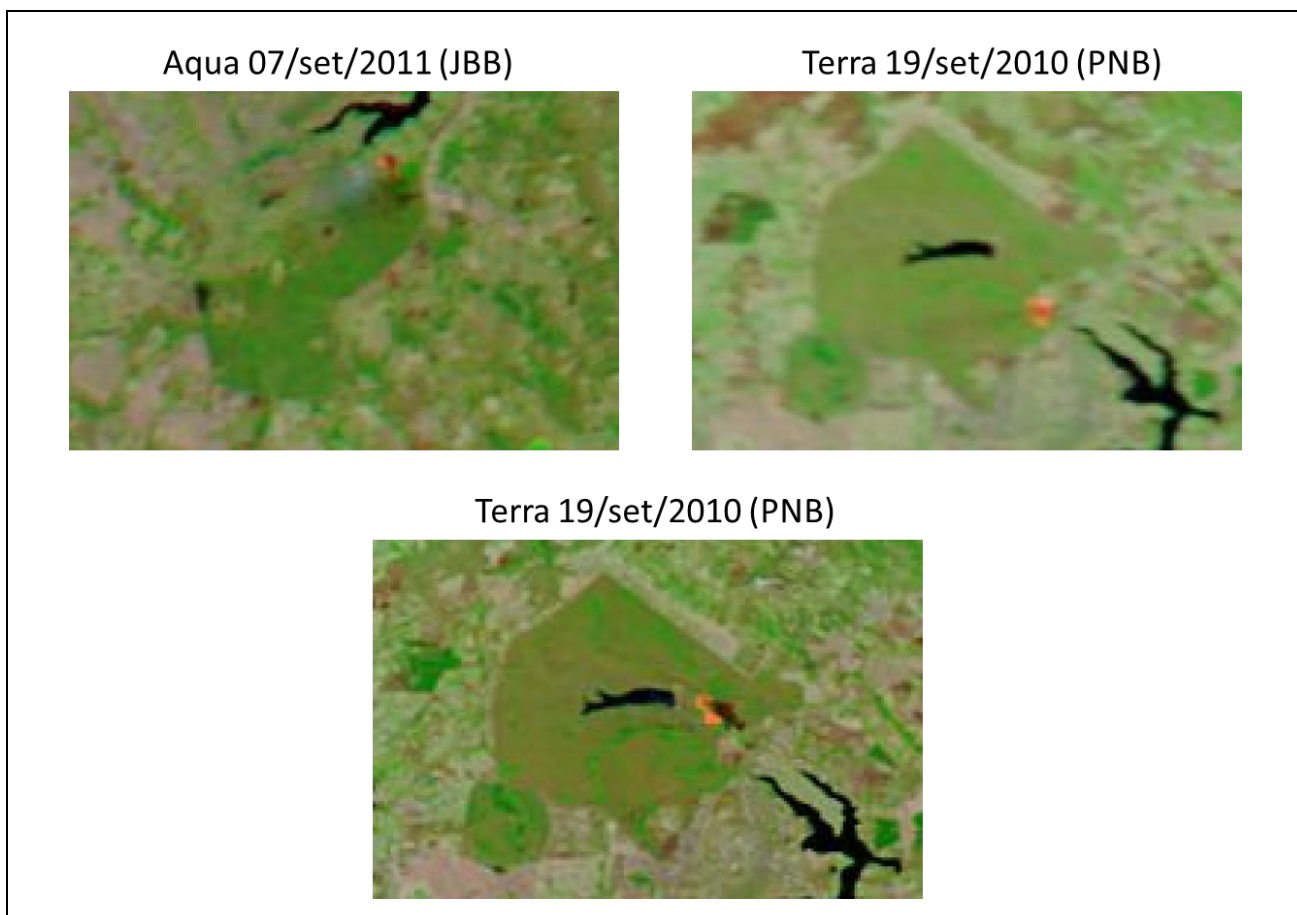


Fonte: o autor.

Imagem do dia 29 de agosto aponta para uma primeira delimitação da origem do incêndio na região de Brazlândia-DF que teve uma duração aproximada de 7 dias.

Os incêndios comentados no início desta seção também podem ser analisados com base nestas imagens. Abaixo seguem os incêndios no PNB em 2007 e 2010 seguido do incêndio no JBB em 2011.

Figura114 – Momentos iniciais de IF's registrados pelas plataformas AQUA e TERRA

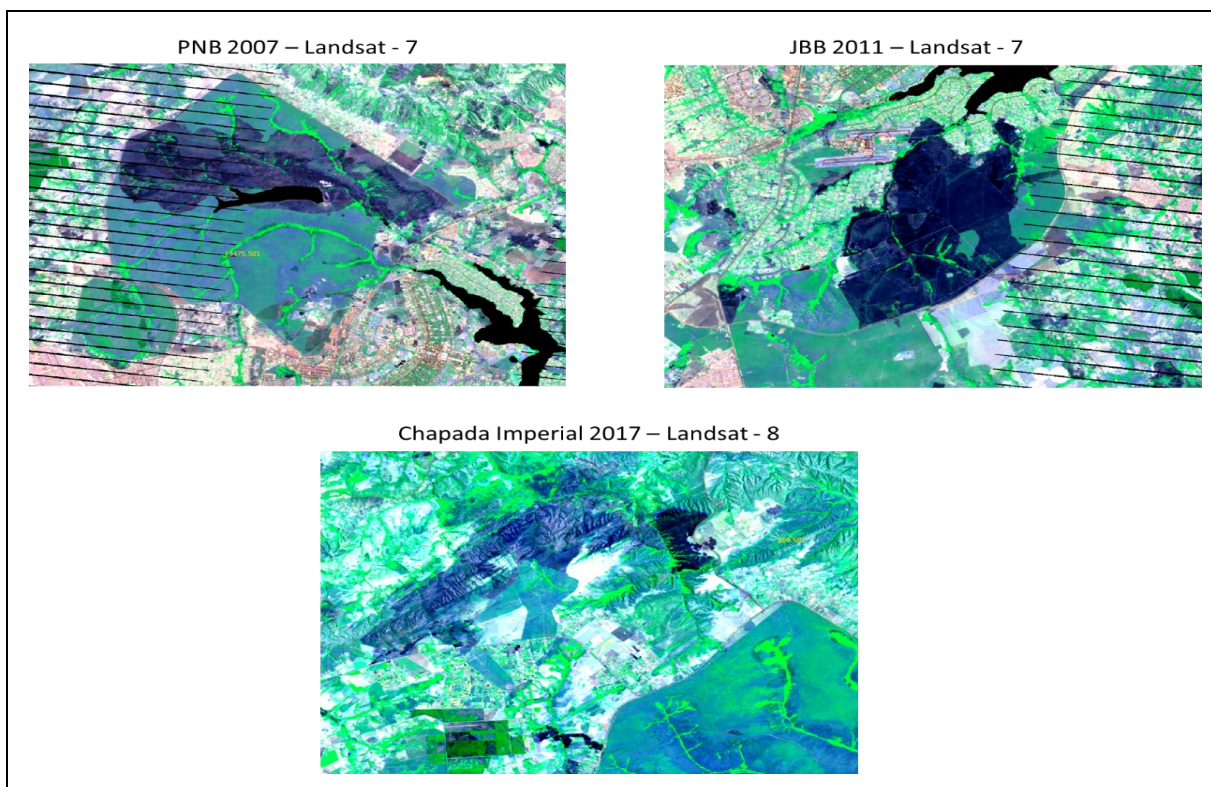


Fonte: o autor.

Nota-se que as imagens acima são esclarecedoras para restringir o trabalho do investigador, porém ineficientes para a quantificação de área queimada por exemplo. É neste sentido que se faz uso das imagens de médias resoluções.

Seguem abaixo as cicatrizes de queima dos incêndios mencionados acima com a utilização das imagens das plataformas Landsat 7 e Landsat 8.

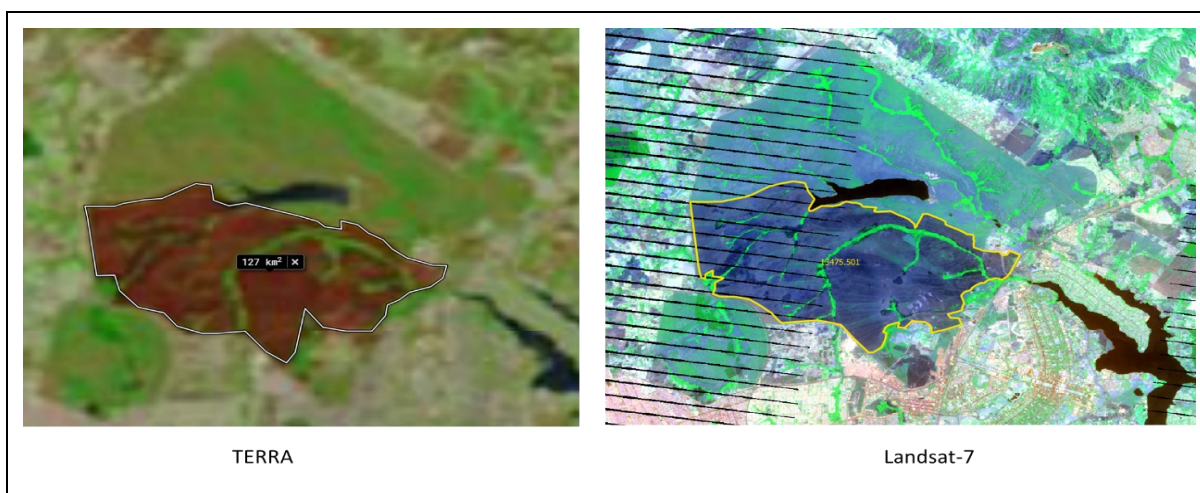
Figura115 – Cicatrizes de queima de IF no PNB, JBB e Chapada Imperial



Fonte: o autor.

Para a elucidação da discrepância entre o registro de área queimada através de uma imagem de média resolução espacial e de alta foi criada duas camadas vetoriais para a delimitação da área no incêndio ocorrido no PNB em 2010. O resultado é apresentado abaixo.

Figura116 – Estimativa de área queimada plataforma TERRA e Landsat - 7



Fonte: o autor.

A tabela abaixo elenca a diferença entre o estudo feito com base nas duas bases de dados:

Tabela 6 – Estimativa de área queimada TERRA/Landsat - 7

Satélite	Terra	Landsat 7
Resolução Espacial	250 metros	30 metros
Área Aferida (hectares)	12.700,00	13.475,50

Fonte: o autor.

De acordo com a tabela acima fica exposto o motivo de dar a preferência quando possível ao registo de área queimada com auxílio de imagens de média resolução para alta, considerando que esta informação é altamente importante para registo de custos ambientais responsabilizações.

5 RECOMENDAÇÕES

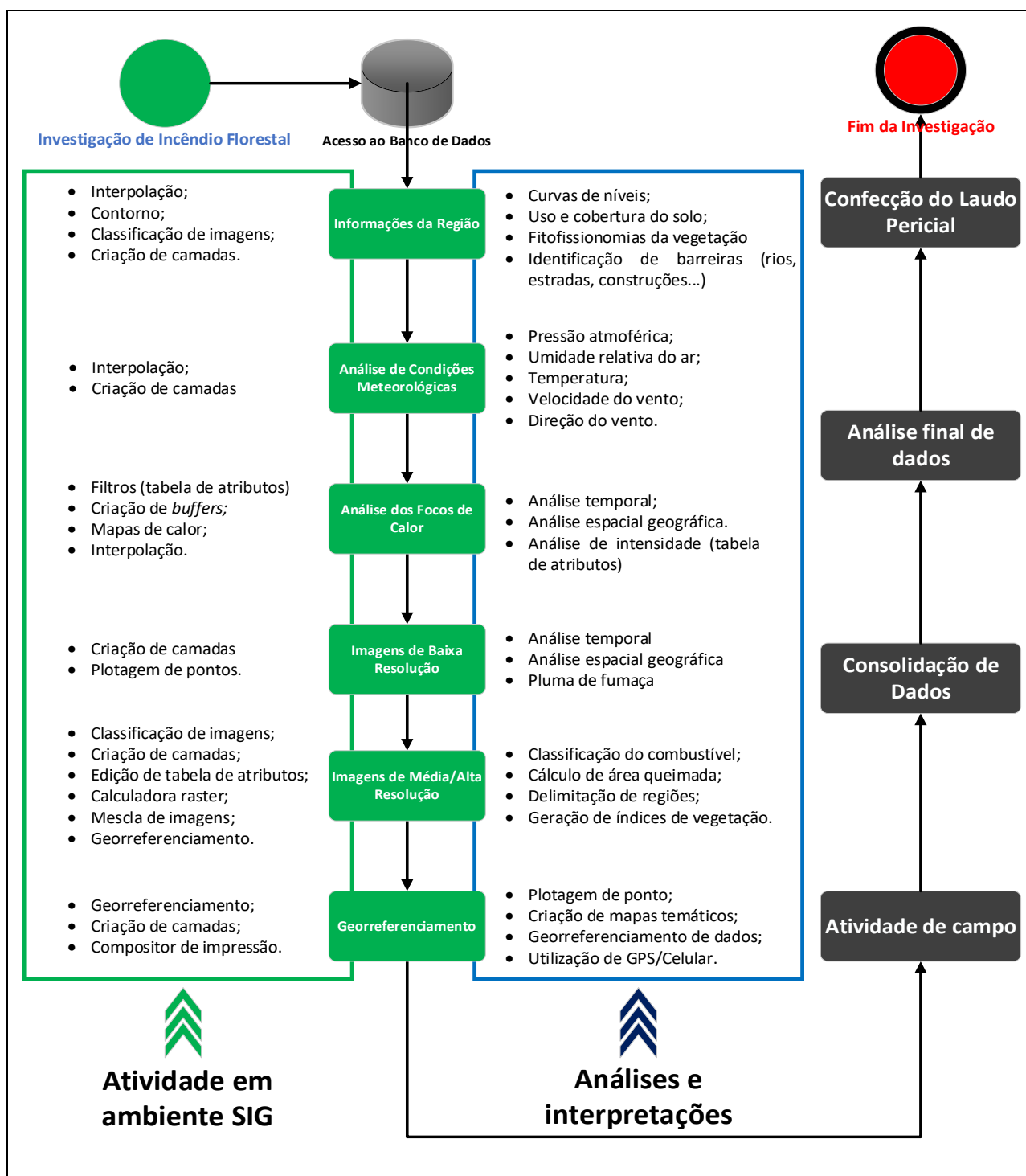
A utilização de imagens de satélites com revisitas diárias se mostrou bastante elucidativas na observação dos surgimentos e no acompanhamento da evolução dos incêndios florestais analisados.

Porém a análise solitária deste tipo de dado sem o processamento das outras fontes de dados tais como a cobertura do solo, os focos de calor, as características topográficas e meteorológicas, podem enviesar o investigador a uma interpretação do incêndio florestal de forma parcial e equivocadas.

Neste sentido este trabalho traz como recomendação que o investigado ao decidir trabalhar com o sensoriamento remoto na interpretação dos incêndios florestais sigam uma lógica metodológica padronizada,

Para concatenar as sete etapas descritas anteriormente foi criado o fluxograma abaixo para a organização didática da atividade do investigador de incêndio florestal na utilização do SIG e do sensoriamento remoto.

Figura117 - Fluxograma da utilização do SR na Investigação de IF



Fonte: O autor.

O fluxograma acima sintetiza de forma didática as atividades propostas a serem seguidas pelo investigador de incêndio florestal quando for necessário a utilização de dados providos do sensoriamento remoto.

A utilização destes dados sempre passará por dois processos, um é a interpretação e análises para a construção de informações a outra refere-se a parte técnica de manipulação e realização de atividades em ambiente SIG.

O trabalho eficiente destes dois processos dá ao perito uma a possibilidade do uso de uma ferramenta poderosíssima no trabalho de qualidade de investigação de incêndio florestal.

Recomenda ainda que o perito esteja em constante pesquisa pois a evolução tecnológica no âmbito do SIG é muito dinâmica. A dez anos atrás por exemplo existiam poucos *softwares* dedicados a análise de dados geográficos, hoje existe uma gama bem alta e grande parte deles de código livre e com diferentes potencialidades.

Com a mesma dinâmica é a atualização nos bancos de dados mencionados neste trabalho que estão em constante desenvolvimento e atualização sendo disponibilizado novos produtos à medida que novas plataformas orbitais vão sendo lançadas.

Porém os conceitos para a escolha dos dados a serem utilizados passaram sempre pelos que foram explorados nesse estudo, quanto as questões das resoluções e características matriciais ou vetoriais.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Claudio C.F.; Evelyn M.L.M.; Novo, Vitor S. Martins. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos**: Princípios e aplicações. INPE, São José dos Campos, 2019.

CÂMARA G., U. Freitas and M.A. Casanova, **Fields and Objects Algebras for GIS Operations**. Proceedings of III Brazilian Symposium on GIS, 407-424 (1996).

DUGGIN, M. J. **The Physical Principles Controlling the Remote Sensing Process**

ELACHI, C. **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing**, New York, Wiley, 1987.

FILHO, Marques, Ogê; NETO, Vieira, Hugo. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Resolução Presidencial nº 1/2005. 2005.

LIMA, D. P., Ribeiro, G.K., Aranha, S.R. **Comparação Entre os Métodos de Fusão IHS**: Principal Components e Gram-Schmidt Aplicados à Imagem do Satélite Landsat 8 Sensor OLI. Semana de Geografia, Vol.01, Nº01, Ponta Grossa-PR, 2015.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UNB/CNPq. Brasília/DF. 2012

NOVO, E.M.L. M. **Comportamento espectral da água**. 2001.

NOVO, E.M.L.M; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Instituto Nacional de pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto, 2001.

PONZONI, Flávio Jorge. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica**. São José dos Campos: Parêntese, 2007.

QUANTUM GIS – QGIS. **Documentação para QGIS 3.4**. Disponível https://docs.qgis.org/3.4/pt_BR/docs/manual. Acesso em: 10 dez. 2020.

REZENDE, A.C.P. **Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao Sistema Brasileiro de Previsão de Safras**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

SANTOS, Alexandre Rosa dos; Peluzio, Telma Machado de Oliveira; Saito, Nathália Suemi. **SPRING 5.1.2 Passo a Passo: Aplicações Práticas**. Alegre/ES, 2010.

SCHETSELAAR, E.M. **Fusion by the IHS transform: should we use cylindrical or spherical coordinates**. International Journal of Remote Sensing, Basingstoke, v.19, n.4, p.759-65, 1998.

SILVA, G. B. S. *et al.* **Procedimento para correção de geométrica de imagens de satélite**. Campinas-SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012.