



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/12.18.11.40-PRP

**COLETA DE DADOS EM CAMPO PARA ESTUDOS DE
MAPEAMENTO DE ÁREA QUEIMADA NO CERRADO
UTILIZANDO SENSORES ORBITAIS DE MÉDIA
RESOLUÇÃO ESPACIAL**

Andeise Cerqueira Dutra
Henrique Luís Godinho Cassol
Tânia Beatriz Hoffmann
Cesare Di Girolamo Neto
Fábio Marcelo Breunig
Valdete Duarte
Egidio Arai
Yosio Edemir Shimabukuro

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/43QARPH>>

INPE
São José dos Campos
2021

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)
Divisão de Biblioteca (DIBIB)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):

Presidente:

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

Membros:

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
Cauê Silva Fróes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/12.18.11.40-PRP

**COLETA DE DADOS EM CAMPO PARA ESTUDOS DE
MAPEAMENTO DE ÁREA QUEIMADA NO CERRADO
UTILIZANDO SENSORES ORBITAIS DE MÉDIA
RESOLUÇÃO ESPACIAL**

Andeise Cerqueira Dutra
Henrique Luís Godinho Cassol
Tânia Beatriz Hoffmann
Cesare Di Girolamo Neto
Fábio Marcelo Breunig
Valdete Duarte
Egidio Arai
Yosio Edemir Shimabukuro

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/43QARPH>>

INPE
São José dos Campos
2021



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.



AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento de pesquisa no qual este trabalho se insere, intitulado “Desenvolvimento de um Sistema de Informações de Risco de Incêndios (SIRI) para as Unidades de Conservação do Bioma Cerrado como suporte à tomada de decisão” (Processo Nº. 441942/2018-0) e coordenado pelo Dr. Yosio Edemir Shimabukuro (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE). Agradecemos ao Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Prevfogo) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). A empresa Planet Team pelo fornecimento de imagens PlanetScope e RapidEye (R&D Sync_Program). Agradecemos ainda aos gestores, gerentes do fogo, brigadistas e funcionários do Parque Nacional de Brasília e do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros por terem compartilhado conosco suas experiências e informações valiosas sobre o fogo nestas Unidades de Conservação. Por fim, agradecemos ao Dr. Sidnei João Siqueira Sant’Anna (INPE) pela disponibilidade, treinamento e sugestões para a utilização do drone em campo.

RESUMO

Neste relatório é descrita a metodologia e as atividades realizadas em um trabalho de campo relacionado ao desenvolvimento do projeto CNPq Prevfogo/IBAMA “Desenvolvimento de um Sistema de Informações de Risco de Incêndios (SIRI) para as Unidades de Conservação do Bioma Cerrado como suporte à tomada de decisão”, (Proc. 441942/2018-0). Os relatos descrevem os métodos utilizados para a detecção de cicatrizes de queimada em imagens orbitais de média resolução espacial, como o *Normalized Burn Ratio* (NBR) e imagens fração sombra obtidas da aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Também é descrito o estabelecimento do tamanho e delineamento amostral para determinação das áreas a serem visitadas em campo no Parque Nacional de Brasília (PNB), no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) e nas zonas de amortecimento definidas em 10 km. As atividades realizadas contemplaram o deslocamento até os pontos previamente definidos, o registro da geolocalização com o GPS, e os registros fotográficos do local e registros aéreos por drone, a depender da dificuldade de acesso em determinadas áreas. Como resultado, foram coletados 145 pontos identificados como área queimada, percorridos em 593 km no PNB e seu entorno, e 110 pontos identificados como área queimada, percorridos em 711 km no PNCV e seu entorno. Espera-se que a metodologia adotada e os resultados brevemente descritos neste relatório possam auxiliar no conhecimento e formação de pesquisas sobre a caracterização do fogo no Cerrado, bem como subsidiar atividades para validações mais consistentes e conseqüentemente melhoria nas técnicas de detecção de queimadas por sensoriamento remoto.

Palavras-chave: Fogo. Sensoriamento Remoto. Drone. Satélite. Amostragem. Campo.

ABSTRACT

This report describes the methodology and activities carried out in fieldwork related to the development of the CNPq Prevfogo/IBAMA project “Development of a Fire Risk Information System (SIRI) for Cerrado Biome Conservation Units as a support for decision making”, (Proc. 441942 / 2018-0). The reports describe the methods related to the detection of burned scars in orbital images of medium spatial resolution, such as the Normalized Burn Ratio (NBR) and shade fraction images from the application of the Linear Spectral Mixing Model (LSMM). It also described the establishment of the size and sampling design to determine the areas to be visited in the field in the National Park of Brasília (PNB), in the Chapada dos Veadeiros National Park (PNCV), and in their buffer zones defined in 10 km. The activities included the location of the defined points, records with GPS, and photographic records or aerial records by drone of the location, depending on access difficulties in certain areas. As a result, 145 points were identified as burned areas, covered in 593 km in the PNB and its surroundings, and 110 points were identified as burned areas, covered in 711 km in the PNCV and its surroundings. It is hoped that the methodology and the results in this report will assist the knowledge and formation of future research on the characterization of fire in the Cerrado biome, as well as to support activities for more consistent validations and, consequently, improvement of techniques for detection of burned scars by remote sensing.

Keywords: Fire. Remote Sensing. Drone. Satellite. Sampling. Field.

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| Figura 3.1 – Localização das áreas de estudo no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e Parque Nacional de Brasília, no bioma Cerrado..... | 5 |
| Figura 4.1 – Classificação de uso e cobertura da terra nas UCs, área queimada e localização dos pontos amostrais..... | 11 |
| Figura 4.2 – Drone utilizado nas atividades de campo, modelo <i>Phantom 3 Advanced – DJI</i> | 13 |
| Figura 5.1 – Fotografia terrestre em área de aplicação do MIF no Parque Nacional de Brasília. Coordenadas em Latitude: 15°38'12"S e Longitude: 47°55'35"O. Data de coleta: 09 de outubro de 2019. | 17 |
| Figura 5.2 – Fotografia terrestre em área de aplicação do MIF no Parque Nacional de Brasília. Coordenadas em Latitude: 15°38'10"S e Longitude: 47°56'07"O. Data de coleta: 09 de outubro de 2019. | 18 |
| Figura 5.3 – Fotografia aérea obtida com o drone na mesma área de aplicação do MIF. Coordenadas em Latitude: 15°38'47"S e Longitude: 47°56'06"O. Data de coleta: 09 de outubro de 2019. Altura do voo: 50 metros. Detalhe de sombreamento na área sobrevoada devido à presença de nuvens. | 19 |
| Figura 5.4 – Rebrotas de gramíneas após indícios de queima nos limites da REBIO. Coordenada em Latitude: 15°38'45"S e Longitude: 47°52'39"O. Data de coleta: 10 de outubro de 2019..... | 20 |
| Figura 5.5 – Rebrotas em outras áreas identificadas como cicatriz de queimada. Coordenadas em Latitude: 15°20'05"S e Longitude 47°53'32"O. Data de coleta: 10 de outubro de 2019. | 21 |
| Figura 5.6 – (A) Áreas de turfa na paisagem. Coordenadas em Latitude: 14°09'31"S e Longitude: 47°49'33"O. (B) Áreas de turfa em detalhe. Coordenadas em Latitude: 14°09'32"S e Longitude: 47°49'33"O. Data de coleta: 14 de outubro de 2019. | 22 |
| Figura 5.7 – Fotografia terrestre em área identificada como queima no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Coordenadas em Latitude: 14°05'29"S e Longitude: 47°38'24"O. Data de coleta: 16 de outubro de 2019..... | 23 |

Figura 5.8 – Fotografia terrestre em área identificada como queima no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Coordenadas em Latitude: 14°06'44"S e Longitude: 47°38'57"O. Data de coleta: 16 de outubro de 2019..... 24

Figura 5.9 – Fotografia terrestre em área identificada como queima (gramínea verde) e não queima (gramínea seca) no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Coordenadas em Latitude: 14°04'44"S e Longitude: 47°38'03"O. Data de coleta: 16 de outubro de 2019. 25

Figura 5.10 – Fotografia aérea retirada com o drone em área com cicatriz antiga de queima. Coordenadas em Latitude: 14°01'24"S e Longitude: 47°32'40"O. Data de coleta: 16 de outubro de 2019. Altura do voo: 50 metros.

26

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| Tabela 4.1 – Exemplo dos resultados obtidos com o MLME e NBR em área identificada visualmente como cicatriz de queimada. Longitude: -47.8697; Latitude: -15.6855. | 10 |
| Tabela 5.1 – Trajeto e dados coletados em números. | 15 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|----------|--|
| SIRI | Desenvolvimento de um Sistema de Informações de Risco de Incêndios para as Unidades de Conservação do Bioma Cerrado como suporte à tomada de decisão |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| PNB | Parque Nacional de Brasília |
| PNCV | Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros |
| UCs | Unidades de Conservação |
| CNPq | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| Prevfogo | Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> |
| ICMBio | Instituto Chico Mendes de Biodiversidade |
| SISBio | Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade |

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 OBJETIVO | 4 |
| 3 ÁREA DE ESTUDO | 5 |
| 4 METODOLOGIA | 8 |
| 4.1 Identificação de áreas queimadas | 8 |
| 4.2 Seleção de amostras para validação | 10 |
| 4.3 Visita aos locais | 12 |
| 4.3.1 Planejamento e configurações do drone | 12 |
| 4.4 Protocolo de arquivamento dos dados | 13 |
| 5 RESULTADOS | 15 |
| 5.1 Parque Nacional de Brasília | 16 |
| 5.2 Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros | 21 |
| 6 CONCLUSÃO | 27 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 29 |

1 INTRODUÇÃO

As queimadas impactam consideravelmente o ciclo biogeoquímico mundial. A partir da reação química que ocorre no processo de combustão, os compostos orgânicos, como o carbono presente na biomassa vegetal, são restituídos à atmosfera e ao solo de maneira cíclica (FREITAS et al., 2017). Estima-se que as emissões de dióxido de carbono (CO₂) decorrentes da queima de biomassa no Brasil representem na ordem de 5% das emissões totais de 1,1 Gt de CO₂ oriundas de mudanças de uso e cobertura da terra (SEEG, 2018).

Os incêndios florestais consomem anualmente vastas áreas de vegetação e constituem-se num dos maiores modificadores dos ecossistemas brasileiros. Tais modificações provocadas pelas queimadas estão associadas, principalmente, às atividades agropecuárias, desflorestamento, controle de pestes e renovação de pastos e campos (ICHOKU et al., 2016). Por conta disso, cerca de 90% dos incêndios florestais no Brasil é de origem antrópica intencional (de SOUZA et al., 2004).

Diversos estudos têm demonstrado a alta recorrência de incêndios de grandes proporções em todo o bioma Amazônico e no bioma Cerrado como consequência das mudanças climáticas e de pressões antrópicas nas áreas protegidas (PEREIRA et al., 2012; ARAGÃO et al., 2014; BRAGA, 2015). Assim, o planejamento efetivo de combate aos incêndios se configura como um dos principais desafios enfrentados na gestão de grande parte das Unidades de Conservação (UCs) do Brasil, muitas vezes, em decorrência da falta de informações históricas sobre a frequência, extensão e severidade destes eventos (SOUZA et al., 2016). Os desafios se acentuam no período de estiagem, que compreendem os meses de junho a novembro nas regiões sudeste, centro-oeste e norte do país, por conta da maior ocorrência de incêndios no período (PEREIRA et al., 2004; BONTEMPO, 2011).

A magnitude, frequência e severidade dos incêndios geralmente são reportadas pelos funcionários das UCs, que descrevem, além disso, o local de onde ocorreu o primeiro foco, a extensão da área queimada e as condições climáticas e de combustibilidade e inflamabilidade do material presente. Estas

informações são úteis para validar e retroalimentar os modelos de monitoramento de queimadas com o uso de dados de sensoriamento remoto. Porém, devido à extensão de muitas UCs e à necessidade de se ter um rápido prognóstico da situação, faz-se necessária a geração de um banco de dados com os históricos das cicatrizes de queimadas nas áreas inseridas nas UCs. Assim, para que os resultados a serem obtidos possam ser, de fato, efetivos, considera-se imprescindível a aproximação e parcerias com os gestores públicos e atuantes das áreas protegidas, visto que são os principais conhecedores dos problemas enfrentados.

Dessa forma, mediante análise da série histórica de cicatrizes de queimadas derivadas de produtos provenientes de sensoriamento remoto e outras fontes, pode-se definir as áreas críticas e prioritárias para nortear ações preventivas, de combate e fiscalização dentro e no entorno das UCs, conforme as diretrizes da Lei Complementar nº 140/2011 (Prevfogo) e do Manejo Integrado do Fogo (MIF). Dentre as estratégias do MIF nas UCs estão: i) conhecer e separar os focos de incêndio manejados, antrópicos e acidentais; ii) adquirir informações sobre o histórico de queimadas; iii) realizar queimas prescritas quando necessário; e iv) integrar o conhecimento adquirido para melhor gerir as ações de combate, controle e prevenção de incêndios (FALLEIRO et al., 2016; SOUZA et al., 2016).

Como parte do projeto “Desenvolvimento de um Sistema de Informações de Risco de Incêndios (SIRI) para as Unidades de Conservação do Bioma Cerrado como suporte à tomada de decisão”, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Proc. 441942/2018-0) em parceria com o Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PrevFogo) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), este relatório descreve o levantamento de dados de campo realizado em 2019, referente à identificação de áreas queimadas no bioma Cerrado, especificamente no Parque Nacional de Brasília e Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, de modo a observar e coletar informações sobre a caracterização do fogo neste bioma, bem como gerar um

banco de dados para validação de produtos relacionados ao mapeamento de áreas queimadas por sensoriamento remoto.

A escolha das unidades a serem visitadas durante o trabalho de campo foi baseada nas diferentes fitofisionomias e topografias observadas entre as áreas, e os locais exatos de visita foram baseados em informações obtidas de produtos de sensoriamento remoto e na amostragem de pontos.

Os resultados brevemente descritos neste relatório poderão auxiliar no conhecimento e formação de pesquisas sobre a caracterização do fogo no Cerrado, bem como subsidiar atividades para validações mais consistentes e conseqüentemente melhoria nas técnicas de detecção de queimadas por sensoriamento remoto.

2 OBJETIVO

O objetivo central do projeto consiste no desenvolvimento de um Sistema de Informações de Risco de Incêndios em quatro Unidades de Conservação estaduais e federais do Bioma Cerrado como forma de auxiliar no Manejo Integrado do Fogo nestas UCs. Deste modo, este relatório tem por objetivo descrever a metodologia utilizada no levantamento de dados em áreas queimadas durante as atividades de campo do projeto e apresentar os resultados e considerações parciais desta iniciativa.

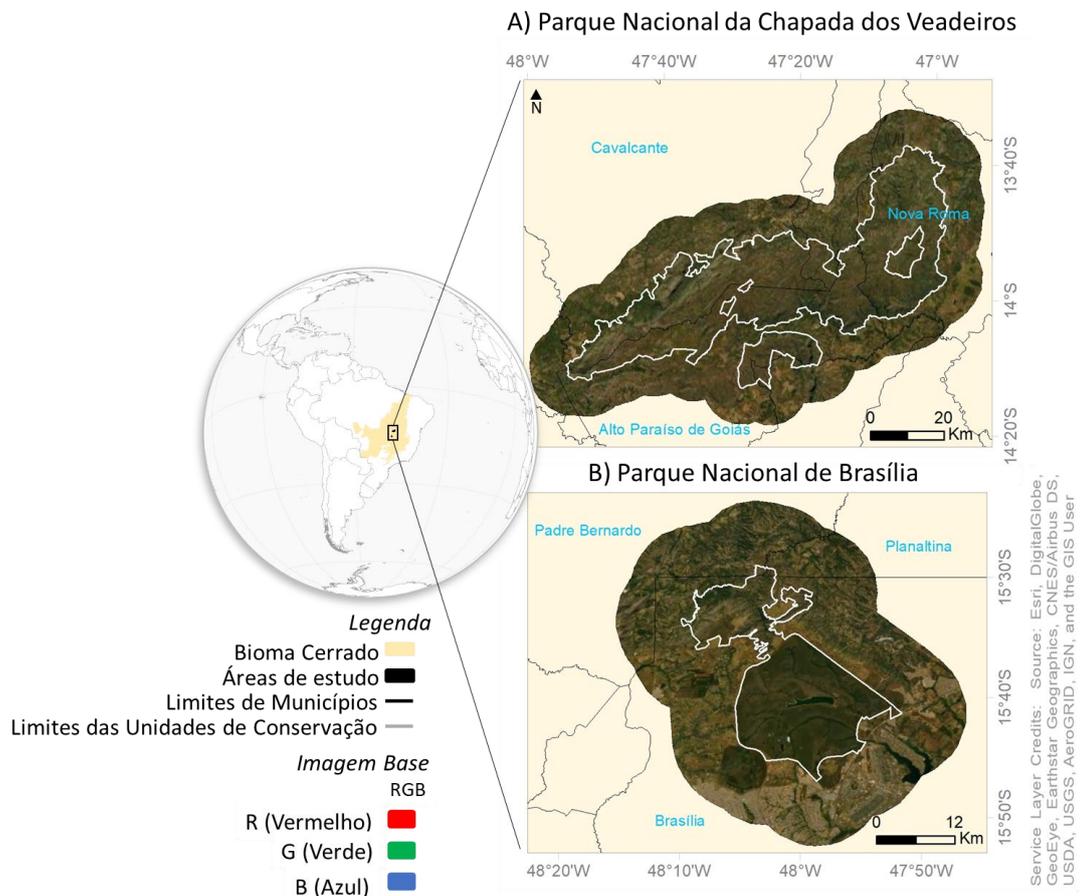
Desta forma os objetivos específicos atendidos nesse relatório parcial foram:

- a) Identificar áreas queimadas em imagens orbitais utilizando método semiautomático;
- b) Identificar previamente as áreas queimadas a serem visitadas em campo a partir do delineamento amostral estabelecido;
- c) Coletar pontos de área queimada com receptores de posicionamento global (GPS), câmera fotográfica e veículo aéreo não tripulado (drone);
- d) Identificar os desafios no mapeamento de cicatrizes de queimadas no bioma Cerrado, bem como a coleta de pontos para validação;

3 ÁREA DE ESTUDO

Neste primeiro levantamento de dados em campo, foram selecionadas como áreas-piloto duas Unidades de Conservação localizadas no bioma Cerrado, entre o estado de Goiás e o Distrito Federal (coordenadas entre 49° 00' e 47°00' longitude Oeste, e 16° 00' e 13° 40' latitude Sul), sendo: o Parque Nacional de Brasília (PNB) e o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) (Figura 3.1). Também foram consideradas zonas de amortecimento de 10 km em ambas as UCs. Segundo a Lei n° 9.985/2000, as Unidades de Conservação de Proteção Integral foram criadas com o objetivo de conservação da diversidade biológica, pesquisa científica, geração de emprego e renda para as comunidades, visitação pública, educação ambiental e promoção do ecoturismo, sendo o uso do fogo restrito apenas à queima prescrita quando devidamente autorizada (ICMBio, 2009a).

Figura 3.1 – Localização das áreas de estudo no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e Parque Nacional de Brasília, no bioma Cerrado.



Fonte: Os autores (2020).

O Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) foi criado em 11 de janeiro de 1961 e possui área de 240.586,56 hectares. Localiza-se nos municípios de Alto Paraíso de Goiás, Cavalcante, Nova Roma, São João D'Aliança e Teresina de Goiás (GO). Dentre as fitofisionomias presentes no PNCV destacam-se os campos rupestres, os campos limpos, os campos sujos, os cerrados rupestres, o cerrado stricto sensu, as veredas, os cerradões, as matas de galerias e as matas secas (ICMBio, 2009b).

O PNCV possui diversas pressões relacionadas ao uso da terra e as queimadas são recorrentes na unidade. O parque teve a sua área ampliada no ano de 2017 de 65 mil hectares para a área atual de 240 mil hectares. Anualmente, estima-se que cerca de 10% da área do PNCV é afetada por queimadas, sendo que o número de focos de incêndios apresenta grande variação anual (ALVES et al., 2013; BRAGA, 2015). Em casos extremos, como nos anos de 2002, 2003, 2004, 2010 e 2017, mais de 10.000 focos de incêndio foram registrados na região, resultando em áreas queimadas de até 25% da área do PNCV (BRAGA, 2015; NATGEO, 2018). Alguns estudos ainda apontam que as principais causas dos incêndios nesta região são de origem criminosa, devendo-se atentar ainda mais para o monitoramento das queimadas no PNCV (FIEDLER et al., 2006, NATGEO, 2018).

O Parque Nacional de Brasília (PNB) foi criado em 29 de novembro de 1961, possui 42.389,01 hectares de área total, e abrange as regiões administrativas no Distrito Federal de Brasília, Sobradinho, Brasilândia e parte do município de Padre Bernardo, Goiás (ICMBio, 2014a). As fitofisionomias de Cerrado encontradas nessa região são: mata de galeria, veredas, cerrado stricto sensu, campo sujo, campo limpo, campo rupestre, campos úmidos e campo de murundus.

Além de toda a estrutura para gestão, o PNB ainda abriga uma base do ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) com uma brigada de incêndio, responsável pelo combate as queimadas, e agentes de fiscalização para inibir o roubo de madeira e tráfico de espécies exóticas. Essa infraestrutura é essencial para manter a conservação da vegetação do

Cerrado, todavia, as queimadas são um evento comum no PNB, principalmente em regiões invadidas por capim-gordura (*Melinis minutiflora Beauv.*) (AIRES et al., 2005; PALERMO et al., 2007). As queimadas no PNB são estudadas desde 1986 (PONZONI et al., 1986), sendo que nos últimos anos houve um aumento nos registros de incêndios florestais em diversos parques do Distrito Federal (IBRAM, 2015). Eventos mais recentes de queimadas também têm sido notificados por diversos veículos de mídia, como queimadas criminosas em 2015 (G1, 2015), em 2017 (ICMBio, 2017) e em 2018 (G1, 2018), totalizando mais de 10% da área do PNB.

O PNCV e o PNB apresentam clima semelhante, caracterizado por uma estação seca, entre os meses de maio a outubro, e uma estação chuvosa, entre os meses de novembro e prolongando-se até abril (ICMBio, 2020; FUNATURA, 1998; CPTEC, 2020). Tanto no PNCV e no PNB, as chuvas atingem média anual de 1.600 mm e temperatura média anual de 21°C (ICMBio, 2020; FUNATURA, 1998).

Na região da Chapada dos Veadeiros predominam Cambissolos, Solos Litólicos e Latossolos Vermelho-Amarelo. Além disso, na região há o predomínio de rochas metamórficas e parametamórficas, e apresenta a maior extensão de terras elevadas do estado de Goiás (OLIVEIRA, 2007; FILFILI, 2007). No PNB predominam Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo, e Cambissolos (FARIAS et al., 2008).

4 METODOLOGIA

A campanha de campo foi realizada entre os dias 09 e 19 de outubro de 2019, período previamente estabelecido em acordo com os gestores de cada UC, para verificação das áreas queimadas identificadas no projeto SIRI utilizando imagens orbitais e classificação semiautomática. O período foi definido baseado nos meses caracterizados pela estação seca na região e, conseqüentemente, maior incidência de áreas queimadas. Considerando que as áreas em estudo estão inseridas em duas UCs, é necessária a obtenção da autorização para atividades com finalidade científica, de acordo com o ICMBio, por meio do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBio), website <<https://sicae.sisicmbio.icmbio.gov.br/usuario-externo/login>>.

Uma parte essencial de uma campanha de campo é o planejamento das atividades a serem desenvolvidas e a logística. Com isso, foi necessário o estabelecimento de estratégias na definição dos locais de coleta, o tipo de amostragem necessária para garantir a confiabilidade das estimativas de validação dentro de intervalos de confiança e as alternativas de coleta. Como os locais a serem visitados apresentavam diferenças quanto a facilidade de acesso, a coleta de dados foi dividida em duas alternativas considerando os pontos identificados e coletados com o GPS e câmera fotográfica nos locais de fácil acesso, e considerando os pontos identificados e coletados com o drone em locais de difícil acesso como, por exemplo, em áreas de terreno com declive.

Desse modo, os próximos tópicos deste relatório técnico irão descrever o planejamento da campanha de campo, resultados obtidos e observações da equipe.

4.1 Identificação de áreas queimadas

Para identificação das áreas queimadas utilizando imagens orbitais de média resolução espacial, como as obtidas do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat-8, foram utilizados diferentes índices como, por

exemplo, o NBR (*Normalized Burn Ratio*) e o MLME (Modelo Linear de Mistura Espectral), comumente utilizados no mapeamento e monitoramento de áreas queimadas, além de bandas espectrais relacionadas (algoritmo em avaliação).

A metodologia empregada é baseada na utilização das imagens fração sombra, oriundas da aplicação do MLME (SHIMABUKURO e SMITH, 1991), por destacarem cicatrizes de queimadas devido à baixa reflectância espectral característica dessas áreas. O MLME é representado de acordo com a Equação 4.1, e o resultado é observado na Tabela 4.1.

$$\rho_i = \sum (a_{ij}x_{j1}) + \varepsilon_i \quad (4.1)$$

Sendo:

ρ_i = reflectância média espectral na banda espectral i ;

a_{ij} = resposta espectral da componente j da mistura na banda espectral i ;

x_j = proporção da componente j em um *pixel*;

ε_i = erro na banda espectral i ;

$i = 1, n$ (número de bandas espectrais utilizadas);

$j = 1, m$ (número de componentes considerados).

Além disso, a metodologia foi baseada na utilização do NBR. O índice utiliza a combinação de faixas espectrais que apresentam melhor contraste entre uma vegetação fotossinteticamente ativa (“saudável”) e uma vegetação queimada, observando a diminuição da reflectância no infravermelho próximo e o aumento da reflectância no infravermelho médio em situações de queima (KOUTSIAS e KARTERIS, 1998; KEY e BENSON, 1999) (Equação 4.2, Tabela 4.1).

$$NBR = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}} \quad (4.2)$$

Sendo:

ρ_{NIR} = reflectância espectral do infravermelho próximo do sensor utilizado (comprimento de onda entre 0.85 μm a 0.88 μm no Landsat-8/OLI);

ρ_{SWIR} = reflectância espectral do infravermelho médio do sensor utilizado (comprimento de onda entre 2.11 μm a 2.29 μm no Landsat-8/OLI).

| Landsat-8/OLI RGB (bandas espectrais 6, 5 e 7, respectivamente) | Imagem Fração Sombra | Imagem NBR |
|---|---|---|
|  |  |  |

Tabela 4.1 – Exemplo dos resultados obtidos com o MLME e NBR em área identificada visualmente como cicatriz de queimada. Longitude: -47.8697; Latitude: -15.6855.

Por fim, além dos resultados obtidos com o MLME e o NBR, foram utilizadas outras variáveis como o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (TUCKER, 1979), imagens fração vegetação e solo, e estatísticas descritivas referentes ao ano de estudo. Os mosaicos foram processados pelo classificador supervisionado *Random Forest* (Breiman, 2001) como variáveis de entrada. Este classificador é composto por uma coleção de Árvores de Decisão, que utiliza as informações das variáveis para separação das classes de interesse. Como parâmetro do classificador, na classificação das cicatrizes foi definido em 30 o número máximo de árvores a serem criadas.

4.2 Seleção de amostras para validação

A acurácia da classificação utilizando dados de campo pode ser obtida a partir do tamanho e do delineamento amostral previamente estabelecidos, de modo a garantir a confiabilidade das estimativas de validação dentro de intervalos de confiança desejáveis. Para isto, foi adotado o delineamento amostral aleatório estratificado, baseado em Olofsson et al. (2014) e conforme indicado pela FAO

(2016), considerando área queimada e área não queimada como as classes adotadas. A distribuição dos pontos foi obtida em ambiente de programação R e algoritmos disponibilizados em (<https://github.com/openforis/accuracy-assessment>) (OpenForis, 2017) (Figura 4.1). Para calcular o tamanho amostral adequado no delineamento amostral aleatório, foi adotada a seguinte equação:

$$n = \frac{(\sum W_i \times S_i)^2}{[S(\hat{O})]^2 + \left(\frac{1}{N}\right) \sum W_i \times S_i^2} \quad (4.3)$$

Sendo:

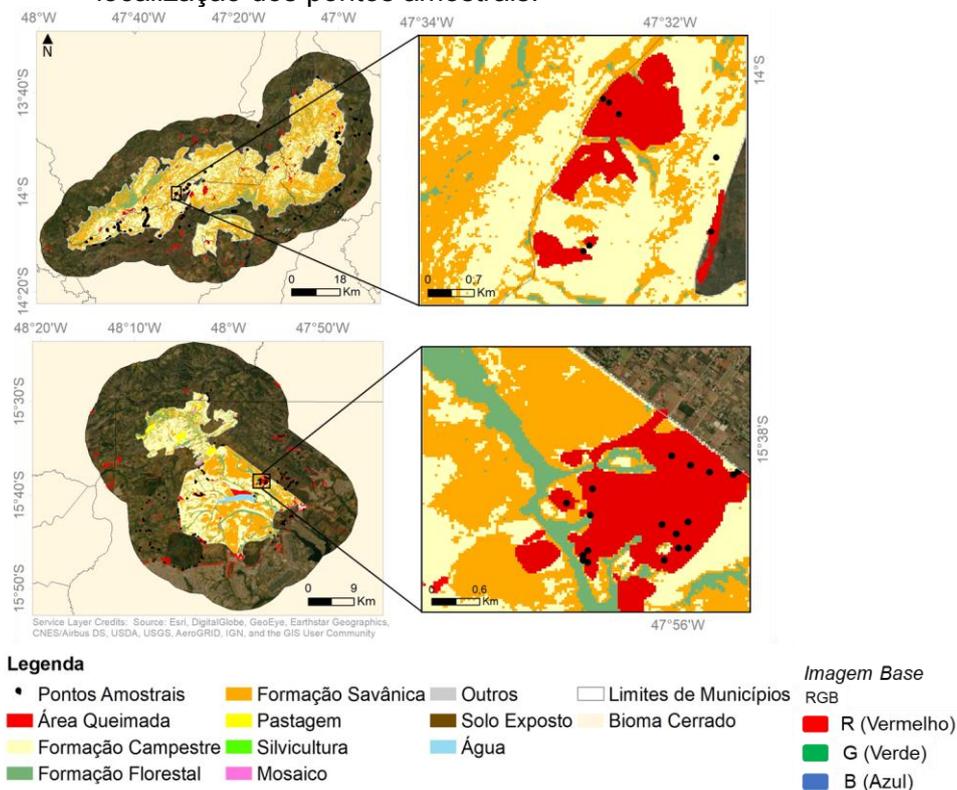
n – tamanho da área, ou número de *pixels* ou polígonos na área de interesse;

$S(\hat{O})$ – erro padrão da precisão geral;

W_i – área mapeada da classe i ;

S_i – desvio padrão da classe i .

Figura 4.1 – Classificação de uso e cobertura da terra nas UCs, área queimada e localização dos pontos amostrais.



Fonte: Os autores (2020).

4.3 Visita aos locais

Após o planejamento do campo e a definição dos pontos amostrais, as alternativas de logística estabelecidas para visitar o máximo de pontos possíveis envolveram o uso de um GPS portátil e câmera fotográfica com GPS acoplado, ou o uso de um drone. A ida aos locais foi realizada utilizando sistema de navegação GPS (Garmin GPSMAP 62 SC) e o software *Global Mapper* (v19.0.0, Copyright® 2002 – 2017 *Blue Marble Geographics*), com as informações e localização dos pontos amostrais previamente definidos, em formato *shapefile*. De forma complementar foram utilizados mosaicos de imagens de alta resolução espacial (*RapidEye*; 5 metros) (PLANET TEAM, 2019), e localização de estradas, municípios, além da classificação de uso e cobertura da terra nas UCs, e áreas urbanas localizadas no entorno.

4.3.1 Planejamento e configurações do drone

Veículos aéreos não tripulados (VANTs ou drones), são muito eficientes para adquirir dados em áreas de difícil acesso, além de realizarem tarefas de maneira ágil. Desse modo, considerando o relevo acidentado dos locais visitados, o tipo de vegetação, além de outros fatores que poderiam dificultar o acesso da equipe aos locais, o uso de um drone foi fundamental para as atividades de campo.

O modelo utilizado, *Phantom 3 Advanced* – DJI (Figura 4.2), foi previamente cadastrado na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) de acordo com o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial (RBAC-E nº 94), para obter a certidão de uso em voos recreativos no Brasil. Para planejamento e realização dos voos, foram utilizados os aplicativos Pix4Dcapture e Ctrl+DJI (© 2011-2020 Pix4D). As informações e localização dos pontos amostrais previamente definidos foram inseridas nos aplicativos para auxiliar na definição das áreas a serem sobrevoadas pelo drone.

A altura de voo definida para cada área é uma configuração importante e que, para o melhor aproveitamento e segurança, devem ser considerados fatores

como relevo, vegetação e vento no local, além da extensão da área a ser sobrevoada. Normalmente, os voos foram programados em 50 ou 100 metros de altura. Cabe destacar ainda, conforme regulamentação da ANAC, que para voos acima de 120 metros, considerando o nível do solo, são necessários requisitos adicionais (ANAC, 2017). Estes requisitos podem ser consultados diretamente no site da agência.

Figura 4.2 – Drone utilizado nas atividades de campo, modelo *Phantom 3 Advanced* – DJI.



Fonte: Os autores (2020).

O objetivo dos voos de VANTs foi de reconhecimento, sendo a precisão dos ortomosaicos, Modelos Digitais de Elevação, e outros produtos relacionados, compatíveis com a precisão geométrica dos dados Landsat-8/OLI, sem o uso de pontos de controle em campo.

Os dados foram processados em Agisoft PhotoScan Professional (Versão 1.2.6), em alta qualidade, com resolução espacial de aproximadamente 9 cm.

4.4 Protocolo de arquivamento dos dados

Todos os dados processados e coletados estão armazenados em nuvem e em computadores no INPE, que poderão ser disponibilizados sob demanda. Futuramente, pretende-se disponibilizar os dados em repositório público como,

por exemplo, *Data in Brief* (<https://www.journals.elsevier.com/data-in-brief>) ou *Pangaea* (<https://www.pangaea.de/>), de modo a facilitar o compartilhamento e maior utilização dos dados obtidos.

5 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos das atividades de campo programadas para o ano de 2019. São apresentadas as fotografias retiradas nos locais de validação e as informações repassadas por gestores e brigadistas nos diálogos informais em cada Unidade de Conservação.

Foram percorridos aproximadamente 1.300 km considerando a extensão das duas Unidades de Conservação e a zona de amortecimento de 10 km (Tabela 1). Ao todo, foram coletados 145 pontos identificados como área queimada, percorridos em 593 km no PNB e seu entorno, e 110 pontos identificados como área queimada, percorridos em 711 km no PNCV e seu entorno.

Durante o trajeto foram coletadas fotografias, pontos georreferenciados para validação de áreas queimadas identificadas pelo algoritmo desenvolvido no projeto SIRI e informações sobre a severidade, frequência, período de ocorrência das queimadas e manejo do fogo nas UCs. O número de fotografias retiradas em locais de cicatrizes de queimada não corresponde ao número de pontos para validação, representando um número muito superior de áreas identificadas como área queimada e fotografadas. Tais informações são cruciais para o estabelecimento de uma metodologia acurada, característica fundamental para o desenvolvimento de um sistema útil para os gestores, gerentes do fogo e brigadistas no manejo do fogo no bioma Cerrado.

| Dados | Números | |
|--------------------|--|---|
| | PNB (Considerando zona de amortecimento de 10 km) | PNCV (Considerando zona de amortecimento de 10 km) |
| Fotografias | 1.396 | 1.968 |
| Fotografias aéreas | 1.300 | 3.271 |
| Pontos do GPS | 136 | 99 |
| Percurso | 593,80 km | 711,19 km |

Tabela 5.1 – Trajeto e dados coletados em números.

5.1 Parque Nacional de Brasília

As atividades de campo no Parque Nacional de Brasília foram realizadas entre os dias 09 de outubro de 2019 e 12 de outubro de 2019, a partir do cronograma previamente estabelecido e confirmado com a Gestora de Pesquisa da UC.

Entre os dias definidos, foi possível conhecer o histórico e manejo do fogo na UC em relação a severidade, frequência e período de ocorrência das queimadas a partir de um diálogo informal entre o gerente do fogo e brigadistas presentes. De acordo com as informações obtidas, o Manejo Integrado do Fogo (MIF) no PNB é aplicado nos meses iniciais de cada ano (geralmente entre maio e junho), no final do período chuvoso, por apresentar menor probabilidade de expansão ou perda de controle do fogo. Entretanto, nesse período, pode ocorrer maior incidência de nuvens, dificultando a identificação das cicatrizes de queimadas por sensores ópticos orbitais, como os da série Landsat devido à sua baixa resolução temporal. Além disso, muitas áreas de aplicação do MIF são pequenas, e as áreas queimadas não atingem grandes extensões na UC ou no seu entorno pois o fogo é controlado ainda inicialmente, o que pode impedir a detecção das cicatrizes em imagens de baixa resolução espacial. Nesse sentido, as limitações nas resoluções espaciais e temporais pode ser um indicativo da utilização de imagens de maior resolução espacial e alta repetitividade na identificação das cicatrizes de queimadas durante o ano.

De acordo com a metodologia adotada com o MIF, algumas áreas são consideradas como aceiros naturais para barrar o fogo, devido a concentração de vegetação mais densa. Além disso, o PNB possui diferentes tipos de cobertura vegetal, fator este que auxilia no controle da queima visto que um único tipo de cobertura vegetal como, por exemplo, campos abertos, poderia queimar mais rapidamente. Para a aplicação do MIF no PNB, são considerados alguns fatores para a prescrição das queimas como, por exemplo, o acúmulo de biomassa como principal característica observada, e a direção do vento.

Como resultado dos pontos para validação, fotografias terrestres e aéreas foram coletadas em área correspondente a aplicação do MIF, semanas após sua aplicação (Figuras 5.1, 5.2 e 5.3). É importante destacar, na fotografia

aérea, a presença de nuvens que levaram ao sombreamento da área sobrevoada, podendo impactar na identificação das cicatrizes. Nessa mesma área observada em campo, a cicatriz havia sido detectada pelo algoritmo de identificação de queimadas do SIRI, identificado poucas semanas antes da ida ao campo, e já apresenta rebrota da vegetação.

Figura 5.1 – Fotografia terrestre em área de aplicação do MIF no Parque Nacional de Brasília. Coordenadas em Latitude: 15°38'12"S e Longitude: 47°55'35"O. Data de coleta: 09 de outubro de 2019.



Fonte: Os autores (2020).

Figura 5.2 – Fotografia terrestre em área de aplicação do MIF no Parque Nacional de Brasília. Coordenadas em Latitude: 15°38'10"S e Longitude: 47°56'07"O. Data de coleta: 09 de outubro de 2019.



Fonte: Os autores (2020).

Figura 5.3 – Fotografia aérea obtida com o drone na mesma área de aplicação do MIF. Coordenadas em Latitude: 15°38'47"S e Longitude: 47°56'06"O. Data de coleta: 09 de outubro de 2019. Altura do voo: 50 metros. Detalhe de sombreamento na área sobrevoada devido à presença de nuvens.



Fonte: Os autores (2020).

Também foram coletados fotografias e pontos de validação no entorno do PNB e nas áreas localizadas nos limites da REBIO (Reserva Biológica). Foram observados que a rebrota de gramíneas após um evento de fogo ocorre muito rapidamente no Cerrado, sendo constatadas em campo a rebrota de gramíneas em menos de 10 dias após o evento de fogo (Figuras 5.4 e 5.5). Essa característica pode dificultar a identificação de áreas queimadas por algoritmos de classificação caso o período de revisita do sensor utilizado seja muito superior ao tempo de rebrota, visto que a resposta espectral da área queimada observada pelo sensor já conterá mistura de vegetação verde.

Figura 5.4 – Rebrotas de gramíneas após indícios de queima nos limites da REBIO. Coordenada em Latitude: 15°38'45"S e Longitude: 47°52'39"O. Data de coleta: 10 de outubro de 2019.



Fonte: Os autores (2020).

Figura 5.5 – Rebrotas em outras áreas identificadas como cicatriz de queimada. Coordenadas em Latitude: 15°20'05"S e Longitude 47°53'32"O. Data de coleta: 10 de outubro de 2019.



Fonte: Os autores (2020).

5.2 Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros

As atividades de campo no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros foram realizadas entre os dias 14 de outubro de 2019 e 19 de outubro de 2019, a partir do cronograma previamente estabelecido e confirmado com a equipe do PNCV. Entre os dias definidos, foi possível conhecer o histórico e manejo do fogo na UC em relação a severidade, frequência e período de ocorrência das queimadas a partir de um diálogo informal entre o gestor da UC e o gerente do fogo.

No PNCV, o período da queima prescrita é similar ao PNB, ou seja, durante o período chuvoso (até final de maio) e a criação de aceiros é realizada entre junho e julho. Há também a coleta de informações relacionadas à temperatura

e focos de calor, que são repassadas aos brigadistas no intuito de determinar as áreas de risco ou prioritárias para o monitoramento.

Uma característica importante a ser considerada no PNCV são as áreas de turfa, cuja biomassa queima a metros de profundidade do solo, atingindo temperatura superior a 43°C (Figura 5.6). Além disso, a área ampliada do PNCV possui propriedades rurais cujos proprietários estão acostumados a utilizar o fogo para renovação de pastagem, tornando difícil o controle e monitoramento pela UC.

Figura 5.6 – (A) Áreas de turfa na paisagem. Coordenadas em Latitude: 14°09'31"S e Longitude: 47°49'33"O. (B) Áreas de turfa em detalhe. Coordenadas em Latitude: 14°09'32"S e Longitude: 47°49'33"O. Data de coleta: 14 de outubro de 2019.

(A)



(B)



Fonte: Os autores (2020).

Assim como no PNB, as características observadas para a queima prescrita no PNCV são o acúmulo de biomassa, altura das gramíneas, fitofisionomia da vegetação existente no local e a existência de zonas de aceiro. Já para realizar a identificação em campo das áreas queimadas, são observados fatores como solo queimado e rebrota de gramíneas, por exemplo (Figuras 5.7, 5.8 e 5.9). Entretanto, foi observado que a depender da altura do voo configurada para o drone e o tempo da cicatriz de queimada, a identificação torna-se mais difícil devido a rebrota (Figura 5.10).

Figura 5.7 – Fotografia terrestre em área identificada como queima no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Coordenadas em Latitude: 14°05'29"S e Longitude: 47°38'24"O. Data de coleta: 16 de outubro de 2019.



Fonte: Os autores (2020).

Figura 5.8 – Fotografia terrestre em área identificada como queima no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Coordenadas em Latitude: 14°06'44"S e Longitude: 47°38'57"O. Data de coleta: 16 de outubro de 2019.



Fonte: Os autores (2020).

Figura 5.9 – Fotografia terrestre em área identificada como queima (gramínea verde) e não queima (gramínea seca) no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Coordenadas em Latitude: 14°04'44”S e Longitude: 47°38'03”O. Data de coleta: 16 de outubro de 2019.



Fonte: Os autores (2020).

Figura 5.10 – Fotografia aérea retirada com o drone em área com cicatriz antiga de queima. Coordenadas em Latitude: 14°01'24"S e Longitude: 47°32'40"O. Data de coleta: 16 de outubro de 2019. Altura do voo: 50 metros.



Fonte: Os autores (2020).

6 CONCLUSÃO

A partir da primeira atividade de campo do projeto SIRI, são destacados como conclusões, recomendações e desafios no mapeamento e monitoramento do fogo no bioma Cerrado, bem como a coleta de pontos amostrais para validação:

- a) A cobertura de nuvens durante o período chuvoso pode dificultar a identificação da data da queima, sendo este um dos fatores para a distinção entre queima prescrita (MIF) e incêndio. Devido à dificuldade na separação entre queima prescrita e incêndio, as classificações atuais definem todo tipo de cicatriz apenas como queimada;
- b) Análises e séries temporais de mapeamento de cicatrizes de queimadas poderão contribuir na tomada de decisão no MIF e para futuros gestores. No entanto, é imprescindível estabelecer um sistema com informações precisas para os gestores e brigadistas na tomada de decisão;
- c) A rebrota acelerada no Cerrado, observada em vegetações herbáceas e gramíneas, pode dificultar a detecção das cicatrizes de queimada por sensores orbitais. Essa dificuldade é observada até mesmo em campo, detectando resquícios de queima e gramínea verde durante a estação seca;
- d) A depender da resolução espacial do sensor utilizado, áreas urbanas podem ser classificadas como área queimada, como observado no entorno dos limites das UCs. Recomenda-se a remoção dessas áreas previamente à classificação das cicatrizes de queimada;
- e) Afloramentos rochosos de coloração mais escura, como observado principalmente no PNCV, podem ser classificados como cicatriz de queimada devido a sua baixa reflectância espectral;
- f) A utilização de um VANT foi fundamental para coletar dados em áreas de difícil acesso. No entanto, se a cicatriz da queimada for antiga ou

se a altura do voo for programada para acima de 100 metros, ou até mesmo acima de 50 metros, a identificação pode se tornar mais difícil;

- g) Definir o tamanho e delineamento amostral é um passo importante para garantir a confiabilidade das futuras estimativas de validação dentro de intervalos de confiança desejáveis. Além de garantir o melhor planejamento e logística das atividades em campo.

Por fim, a disponibilidade de fotografias, relatórios e registros de GPS, assim como observações espaciais abrangentes dos locais visitados em campo (rebrotas de gramíneas, troncos e galhos queimados, etc.), podem ser utilizados na melhoria de produtos operacionais ou até mesmo de cunho científico que possam favorecer as atividades e tomadas de decisão das equipes de combate e fiscalização do fogo, gestores e formuladores de políticas públicas nas diferentes esferas do governo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGISOFT PHOTOSCAN PROFESSIONAL. (Version 1.2.6) (Software). 2016. Disponível em: <http://www.agisoft.com/downloads/installer/>

AIRES, F.S.; BARROS, T.G.; SILVA, S.B.; SÁ, A.C.G.; SATO, M.N.; ANDRADE, S.M.; MIRANDA, H.S. Queimada em área de Cerrado invadido por capim-gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) no Parque Nacional de Brasília, Brasília, DF. **Anais...** Anais do VII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu, MG (Vol. 20), 2005.

ALVES, M.M.; MATRICARDI, E.A.T.; PEREIRA, R.S. Dinâmica espaço-temporal do fogo entre 1999 a 2009 no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, 9(16), 752-768, 2013.

ANAC – AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Orientações para usuários de drones. Assessoria de Comunicação Social – ASCOM, 2017. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/orientacoes_para_usuarios.pdf. Acessado em: 17 dez 2020.

ARAGÃO, L. E. O. C.; POULTER, B.; BARLOW, J. B.; ANDERSON, L. O.; MALHI, Y.; SAATCHI, S.; PHILLIPS, O. L.; GLOOR, E. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**. 2014, 89, 913–931, doi:10.1111/brv.12088.

BONTEMPO, G. C. **Impactos e realidade dos incêndios florestais nas Unidades de Conservação brasileiras**. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. 124 p. 2011.

BRAGA, P.H.S. Distribuição espaço temporal dos focos de calor detectados pelos sensores AVHRR e MODIS na Microrregião da Chapada dos Veadeiros. (**Dissertação de Mestrado**). Universidade de Brasília, 2015.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning Journal**, v. 45, p. 5-32, 2001.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Evolução mensal e sazonal das chuvas. 2020. Disponível em: <<http://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt>>. Acessado em: dezembro de 2020.

DE SOUZA, P.A.L.; SISMANOGLU, R.A.; LONGO, K.M.; MAURANO, L.E.; RECUERO, F.S.; SETZER A.W.; YOSHIDA, M.C. Avanços no Monitoramento de queimadas realizado no INPE. **Anais...XIII Congr. Bras. Meteorologia, SBMET**, Fortaleza, CE, 29/Ago-03/Set/2004, CD-ROM.

FALLEIRO, R.M.; SANTANA, M.T.; BERNI, C.R. As Contribuições do Manejo Integrado do Fogo para o Controle dos Incêndios Florestais nas Terras Indígenas do Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, 6(2): 88-105, 2016.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Map accuracy assessment and area estimation map accuracy assessment and area estimation: a practical guide**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i5601e.pdf>. Acessado em: Agosto de 2019.

FARIAS, M.F.R., CARVALHO, A.P.F.D., MARTINS, É.D.S., CARVALHO JÚNIOR, O.A.D., REATTO, A. AND GOMES, R.A.T. Levantamento de solos do Parque Nacional de Brasília, escala 1: 50.000. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados (**Boletim de pesquisa e desenvolvimento / EMBRAPA**, ISSN 1676-918X), 2008.

FELFILI, J.M. **Biogeografia do Bioma Cerrado: vegetação e solos da Chapada dos Veadeiros**. Brasília: Editora da UnB: Finatec, 2007.

FIEDLER, N.C.; MERLO, D.A.; DE MEDEIROS, M.B. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, 16(2), 153-161, 2006.

FREITAS, S. R. et al. The brazilian developments on the regional atmospheric modeling system (BRAMS 5.2): an integrated environmental model tuned for tropical areas. **Geoscientific model development**, v. 10, n. 1, p. 189–222, 2017.

FUNATURA - Fundação Pró-Natureza/IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano de Manejo do Parque Nacional de Brasília. Vol. 1. Brasília, 1998.

G1. Portal de Notícias G1. Bombeiros dizem que fogo no Parque Nacional de Brasília foi criminoso, 2015. Disponível em:

<http://g1.globo.com/distritofederal/noticia/2015/11/incendio-atinge-area-do-parque-nacional-de-brasilia-nestesabado.html>. Acessado em: 17 Set. 2018.

G1. Portal de Notícias G1. Incêndio de grandes proporções atinge o parque nacional de Brasília, 2018. Disponível em:

<https://g1.globo.com/df/distritofederal/noticia/2018/09/16/incendio-de-grandes-proporcoes-atinge-o-parque-nacionalde-brasilia-veja-video.ghtml>. Acessado em: 24 Set. 2018.

ICHOKU, C.; ELLISON, L. T.; YUE, Y.; WANG, J.; KAISER, J. W. **Fire and smoke remote sensing and modeling uncertainties: case studies in northern sub-saharan africa. Natural hazard uncertainty assessment: modeling and decision support**, p. 215–230, 2016.

ICMBio – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA

BIODIVERSIDADE. Parque Nacional de Brasília. Disponível em:

<http://www.icmbio.gov.br/portal/visitacao1/unidadesabertas-a-visitacao/213parque-nacional-de-brasilia.html>, Brasília: MMA, 2014a. Acessado em: 14 agosto de 2019.

ICMBio – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA

BIODIVERSIDADE. Plano de Manejo do Parque Nacional de Brasília. Brasília:

MMA, 2014b. 305p.

ICMBio – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA

BIODIVERSIDADE. Série Legislação ICMBio. Volume 1. Sistema Nacional de Unidades de Conservação, 2009a. 70p. Disponível em:

<http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/legislacaoambientlvolume1.pdf>. Acessado em: 20 Set. 2015.

ICMBio – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Incêndio no parque de Brasília é controlado, 2017. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/ultimas-noticias/20-geral/9130-fogo-no-parquenacional-de-brasilia-esta-sob-controle>. Acesso em: 17 Set. 2018.

ICMBio – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Unidades de Conservação. 2009b. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgsunidadescoservacao/pm_chapada_dos_veadeiros_1.pdf. Acesso em: 20 Set. 2015.

ICMBio – INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Clima, Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/parnachapadadosveadeiros/galeria-de-imagens/6-flora/detail/21-988897-10200499997259788-2216004526586552622-n.html?tmpl=component&phocadownload=2>>. Acesso em: dezembro de 2020.

IBRAM – INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO DISTRITO FEDERAL BRASÍLIA. Relatório de área queimada nos Parques e Unidades de Conservação do Distrito Federal no ano de 2015. Disponível em: <http://www.ibram.df.gov.br/images/Relat%C3%B3rios%20de%20%C3%A1rea%20queimadas.pdf>. Acesso em: 17 Set. 2018.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. Measuring and remote sensing of burn severity. In **'Proceedings Joint Fire Science Conference and Workshop, II'**, 15–17 June 1999, Boise, ID. pp. 284, 1999.

KOUTSIAS, N.; KARTERIS, M. Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, p. 3499–3514, 1998.

NATIONAL GEOGRAPHIC, 2018. Incêndios florestais na Chapada dos Veadeiros. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2018/04/parquenacional-chapada-dos-veadeiros-incendio-florestal-cerrado>. Acessado em: 17 Set. 2018.

OLIVEIRA, I.J.D. Cartografia turística para a fruição do patrimônio natural da Chapada dos Veadeiros (GO). (**Tese de Doutorado em Geografia**) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

OLOFSSON, P.; FOODY, G. M.; HEROLD, M.; STEHMAN, S. V.; WOODCOCK, C. E.; WULDER, M. A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment**, v.148, p.42–57, 2014.

OpenForis. Free open-source solutions for environmental monitoring. Disponível em: <https://github.com/openforis>. Acessado em: 02 de dezembro de 2020.

PALERMO, A. C.; MUSSO, C.; BORGES, G. B.; AIRES, F. S.; ANDRADE, S. M.; MARTINS, C. R.; MIRANDA, H. S. Manejo com fogo em áreas invadidas com capim-gordura visando o aumento da diversidade de gramíneas nativas. **Biotropica**, 31, 71-82, 2007.

PEREIRA, C. A.; FIEDLER, N. C.; MEDEIROS, A. B. Análise de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais em unidades de conservação do cerrado. **Floresta**, v. 34, n. 2, pp. 95-100, 2004.

PEREIRA, G., CARDOZO, F.D.S., SILVA, F.B., MORAES, E.C., FERREIRA, N.J., FREITAS, S.R., SHIMABUKURO, Y.E., BREUNIG, F.M. AND VIANA, D.R. Determinação e modelagem da taxa de consumo de biomassa queimada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 27(1), pp.13-22, 2012.

PLANET TEAM. Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA. 2019. Disponível em: <https://api.planet.com>. Acessado em: setembro de 2019.

PONZONI, F. J. **Avaliação da área queimada e da regeneração da vegetação afetada pelo fogo no Parque Nacional de Brasília através de dados do TM/Landsat**. (Relatório técnico científico) 32 p. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos, SP, Brasil, 1986.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA – SEEG. Estimativas de emissões totais por mudanças de uso e cobertura da terra. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>. Acessado em: 20 Set. 2018.

SOUZA, R. O.; FIEKER, C. M.; REIS, M. G.; BRUNO, S. F.; RIBEIRO, P. V.; CARVALHO, C. M. S. Estratégias de integração entre pesquisa e manejo do fogo no Parque Nacional da Serra da Canastra como parte do desenvolvimento de um Programa de Manejo Integrado do Fogo. **Biodiversidade Brasileira**, 6(2): 205-219, 2016.

TUCKER, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 8: 127–150.