



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

**INTEGRAÇÃO ENTRE DADOS ORBITAIS E VEÍCULOS AÉREOS  
RASTREADOS POR GPS NA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E DA  
EFETIVIDADE DO COMBATE AÉREO AO FOGO NO CERRADO  
DO DISTRITO FEDERAL**

**Natanna Horstmann**

MONOGRAFIA

BRASÍLIA  
2016



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

**Natanna Horstmann**

**INTEGRAÇÃO ENTRE DADOS ORBITAIS E VEÍCULOS AÉREOS  
RASTREADOS POR GPS NA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E DA  
EFETIVIDADE DO COMBATE AÉREO AO FOGO NO CERRADO  
DO DISTRITO FEDERAL**

**Monografia de especialização em  
Geoprocessamento Ambiental  
apresentada à banca examinadora  
do Instituto de Geociências como  
exigência para a obtenção do  
título de especialista em  
Geoprocessamento Ambiental.**

**Aprovada em 09/12/2016**

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Carlos Henke de Oliveira (orientador) - ECL/UnB

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig - IG/UnB

Prof. Msc. Leonardo Zandonadi Moura - ENC/UnB

Profa. Dra. Tati Almeida (co-orientadora) – IG/UnB

## **AGRADECIMENTOS**

Todo o projeto aqui apresentado foi pensando enquanto discussão sobre a aplicabilidade da ciência e, conseqüentemente, sobre o papel da academia em contribuir na construção de soluções para os inúmeros problemas ambientais existentes. Sob a máxima ‘é criando pontes que se valorizam as partes’, deixo registrado minha admiração pelo professor Carlos Henke, por ver essas conexões e por conseguir materializá-las, agradeço pelo conhecimento passado, mas principalmente pela visão de mundo e pelas inquietações intelectuais divididas.

Aos demais companheiros do Laboratório de Ecologia Aplicada (ECOA): Airton, Raquel e Luzia, pela companhia e pelas conversas. Aos parceiros do projeto, oficiais do 2º Esquadrão Aéreo do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal, pela generosidade com que guiaram a equipe do ECOA no entendimento do complexo processo de combate ao fogo.

Aos amigos da 5ª turma de Especialização em Geoprocessamento Ambiental, pelas cervejas, dúvidas e ensinamentos divididos, mas especialmente pela cumplicidade. Ao apoio recebido pela equipe de professores e técnicos do Instituto de Geociências, em especial à professora Tati, pela ajuda sempre que necessária.

Aos pais, irmãs, sobrinhos, pelo auxílio, companheirismo e generosidade no dia a dia, mais uma vez, obrigada. Especialmente à mãe, pelo exemplo. Aos amigos de longa data e de perto e de longe, por acompanharem todas as fases, inclusive essa: Aurílio, Bárbara, Fabrício, Isa, Sáius, Winnie e especialmente à Letícia, pela paciência nesse longo ano.

## RESUMO

A partir do início da ocupação da região do Cerrado, o regime de queima dos incêndios foi alterado significativamente. A maioria dos incêndios, atualmente, é causada pela ignição humana. Visando à redução das perdas de biodiversidade e deterioração do meio ambiente, vários esforços têm sido empregados no sentido de se desenvolver o combate ao fogo. E para a definição de estratégias de combate mais precisas, é necessário obter dados básicos sobre o desempenho dos recursos/ferramentas empregados no próprio combate ao fogo, pois será a partir dessas informações que se desenharão cenários de combate ao fogo enviesados pela técnica. Buscou-se neste trabalho compreender o combate aéreo ao fogo no Cerrado e avaliar a sua capacidade de conduzir à extinção ou ao controle do fogo, abordando-o em termos de efetividade e eficiência. A área de estudo foi o Distrito Federal (15°30'-16°03' S e 47°18'- 48°17' W), localizado no Planalto Central do Brasil e com uma área de aproximadamente 5.780 Km<sup>2</sup>. Para a delimitação das áreas queimadas foi utilizado o índice espectral *Burn Index*. A coleta dos dados foi feita pela sonda meteorológica, Saphira 3 (desenvolvida pelo laboratório de Ecologia Aplicada Ib/UnB), sendo esta utilizada como sistema embarcado em uma das aeronaves do modelo *Airtractor* AT-802F, de uso do Corpo de Bombeiros Militar do DF. O trajeto da aeronave foi rastreado, seu deslocamento e tempo foram computados, e foi identificado o ponto de lançamento da carga de água sobre o fogo. As distâncias euclidianas entre a cicatriz da fronteira do fogo e o ponto de lançamento foram calculadas e enquadradas em classes de eficiência: alta, a menos de 100m da cicatriz da fronteira do fogo; moderada entre 100 e 300m; baixa, superior a 300m. O *Burn Index* possibilitou a identificação das áreas queimadas e apresentou resultado adequado na definição dos limites das mesmas, entretanto visualmente, houve uma confusão considerável entre os alvos. A efetividade do combate aéreo foi alta em 46,4% dos casos, moderada em 42,9% e baixa em 10,7%. A análise do percurso, ao invés do ponto estimado de lançamento, pode ser utilizada futuramente para melhoria dos procedimentos de análise de efetividade do combate aéreo. Sobre a eficiência, 95,9% do deslocamento é feito em voo, seguido pelo taxiamento, 2,9% e pela decolagem/pouso 1,2%; sendo gasto 61,3% do tempo em voo, 22% em taxiamento, 1,8% em decolagem/pouso; o tempo médio para cada voo foi de 1,2 hora, com um deslocamento médio de 119,7km por voo. Foi calculado um custo operacional de, aproximadamente, R\$ 3038,3 por voo realizado. Ressalta-se a necessidade de otimização dos tempos de taxiamento e a necessidade de se agilizar o sistema de alerta no que diz respeito ao acionamento do combate aéreo.

**Palavras-chave: combate aéreo, sensoriamento local, efetividade, eficiência.**

## ABSTRACT

From the beginning of the occupation of the Cerrado region, the regime of fire burning was significantly altered. Most fires today are caused by human ignition. Aiming at reducing biodiversity losses and environmental deterioration, efforts have been made to develop fire-fighting. And for the definition of more precise strategies of combat, it is necessary to obtain basic data on the performance of the resources / tools used in the firefight, since it will be from this information that will be designed scenarios of combat to the fire skewed by the technique. The aim of this work was to understand the aerial firefighting in the Cerrado and to evaluate its ability to lead to the extinction or control of fire, approaching it in terms of effectiveness and efficiency. The study area was the Federal District (15°30'-16°03 'S and 47°18'- 48°17' W), located in the Central Plateau of Brazil and with an area of approximately 5,780 Km<sup>2</sup>. For the delimitation of the burned areas the spectral index Burn Index was used. The data was collected by the meteorological probe, Saphira 3 (developed by the Laboratory of Applied Ecology Ib / UnB), and it was used as a system in one of the Airtractor AT-802F aircraft used by the DF Fire Department . The aircraft was tracked, its displacement and time were computed, and the launch point of the water load on the fire was identified. The Euclidean distances between the fire border and the launch point were calculated and classified into efficiency classes: high, less than 100m from the fire border; Moderate between 100 and 300m; Low, greater than 300m. The Burn Index allowed the identification of the burned areas and presented an adequate result in the definition of its limits, however visually, there was a considerable confusion between the targets. Air combat effectiveness was high in 46.4% of the cases, moderate in 42.9% and low in 10.7%. The analysis of the course, instead of the estimated point of launch, can be used in the future to improve the procedures for analyzing the effectiveness of air combat. On efficiency, 95.9% of the displacement is done in flight, followed by taxiing, 2.9% and by takeoff / landing 1.2%; Being spent 61.3% of the time in flight, 22% in taxiing, 1.8% in takeoff / landing; The average time for each flight was 1.2 hours, with an average displacement of 119.7km per flight. A operating cost of R\$ 3038,3 per fire was calculated. The need for optimization of taxi times and the need to speed up the alert system with regard to the activation of aerial combat.

**Key words: aerial combat, local sensing, effectiveness, efficiency.**

## Sumário

|  |     |
|--|-----|
| AGRADECIMENTOS.....  | i   |
| RESUMO .....   | ii  |
| ABSTRACT .....   | iii |
| LISTA DE FIGURAS.....                                      | v   |
| LISTA DE TABELAS .....                                     | v   |
| LISTA DE FIGURAS SIGLAS E ABREVIATURAS.....                | vi  |
| 1 INTRODUÇÃO .....   | 1   |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                               | 3   |
| 2.1 Combate a incêndios em áreas naturais no Cerrado ..... | 3   |
| 2.2 Objetivo Geral .....                                   | 5   |
| 2.3 Objetivos Específicos.....                             | 5   |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS .....                                 | 6   |
| 3.1 Caracterização da área de estudo.....                  | 6   |
| 3.2 Coleta de dados.....                                   | 7   |
| 3.3 Identificação de áreas queimadas.....                  | 9   |
| 3.4 Análise de proximidade.....                            | 9   |
| 4 Resultados e Discussão .....                             | 11  |
| 4.1 Classificação das áreas queimadas.....                 | 11  |
| 4.2 Efetividade do combate aéreo ao fogo no Cerrado .....  | 13  |
| 4.3 Eficiência do combate aéreo ao fogo no Cerrado.....    | 20  |
| 5 CONCLUSÕES.....  | 23  |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                         | 24  |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência, no período de 1998 até 08/02/2017 para o Distrito Federal. Fonte: INPE. ....   | 2  |
| Figura 2: Mapa de localização do Distrito Federal. ....   | 7  |
| Figura 3: Sonda Saphira 3 externa (a) e internamente (b). ....  | 7  |
| Figura 4: Sonda instalada no avião de combate ao fogo, detalhe em amarelo (a) e aeronave de combate ao fogo do CBMDF (b). ....  | 8  |
| Figura 5: Identificação das áreas queimadas no Distrito Federal entre os meses de maio e outubro de 2016. ....  | 12 |
| Figura 6: Mapa dos trajetos de voos rastreados da aeronave Airtractor AT-802F (prefixo PP-NBZ) em atividades de combate ao fogo e de monitoramento realizadas pelo CBMDF em 2016. ....  | 14 |
| Figura 7: Frequência dos voos de combate e monitoramento no período de seca de 2016. ....   | 15 |
| Figura 8: Locais dos incêndios florestais combatidos e rastreados nesta pesquisa. Os números indicam o número exclusivo arbitrado para cada combate monitorado no Distrito Federal em 2016. ....  | 16 |
| Figura 9: Fotografias ortogonais do lançamento de água sobre as chamas durante as missões de combate aéreo primário ao fogo no cerrado executadas pelo CBMDF em 2015 com uso da aeronave Airtractor AT-802F (Nimbus 02, prefixo PP-NBZ). ....   | 18 |
| Figura 10: Combates realizados na região do Lago Oeste (a) e no Parque Nacional de Brasília (b). Os pontos indicam o local de mínima altitude da aeronave, o local mais provável de ocorrer o lançamento de água, o qual é circulado por uma representação de anéis concêntricos, cuja distância em relação à borda da cicatriz de fogo (linha vermelha) é indicador do nível e efetividade. .... | 19 |

## LISTADE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Número de lançamentos de água realizado por incêndios. ....   | 16 |
| Tabela 2: Número de combates aéreos por classe de efetividade. ....   | 19 |
| Tabela 3: Tempos e distâncias para cada fase do voo, com base nos dados de rastreamento da aeronave Airtractor AT802F (prefixo PP-NBZ) do CBMDF em 2016. .... | 21 |

## LISTA DE FIGURAS SIGLAS E ABREVIATURAS

|              |  |
|--------------|--|
| Altitude QNE | Altitude, em relação ao nível do mar, com barômetro ajustado para a pressão média ao nível do mar (1013.25 hPa). |
| Altitude QNH | Altitude, em relação ao nível do mar, com barômetro ajustado com base na pressão local.                          |
| CBMDF        | Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.  |
| ECL          | Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília.  |
| ENC          | Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.  |
| IG           | Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.  |

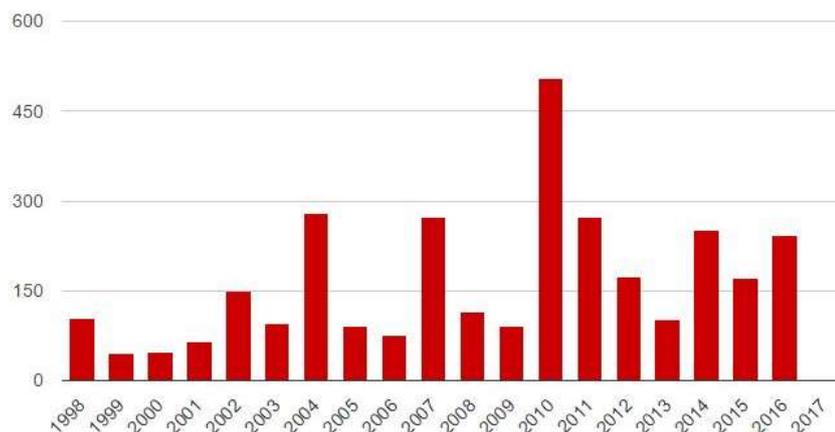
# 1 INTRODUÇÃO

Quando se discorre sobre o tema fogo no Cerrado, percebe-se que o fogo é abordado enquanto um componente do ecossistema savânico, bem como, em certas situações, como um distúrbio. De modo geral, encontra-se variada literatura descrevendo o efeito do fogo na vegetação e nas fitofisionomias do Cerrado (SATO *et al.*, 2010; WALTER e RIBEIRO, 2010), além de relatos de viagens de naturalistas que descreveram a presença e as adaptações das plantas ao fogo, em especial nas vegetações savânica e campestre.

Nesse sentido, evidencia-se a presença do fogo no bioma há milhares de anos (SALGADO-LABOURIAU e FERRAZ-VICENTINI, 1999), sendo apontado como um dos condicionantes do Cerrado, junto ao clima e ao solo (WALTER e RIBEIRO, 2010). Entretanto, o regime de queima a que se referem os trabalhos citados acima é o natural, ou seja, os incêndios que ocorrem durante os meses das estações chuvosas (outubro a abril) ou na transição entre as estações seca e chuvosa (setembro e maio) e que tem seu início deflagrado por raios (MIRANDA *et al.*, 2010).

Contudo, desde o início da ocupação da região do Cerrado, nota-se que o regime de queima dos incêndios foi alterado significativamente, esses passaram a se concentrar nos meses da estação seca (maio a setembro) e com frequência, por vezes, anual. A maioria dos incêndios, atualmente, é causada pela ignição de origem antrópica, sendo o fogo utilizado para a conversão de áreas de vegetação natural em áreas de cultivo ou pastagem; na agricultura itinerante, quando se realiza o cultivo de deslocamento; ou para gerir as culturas agrícolas, quer seja para queimar resíduos ou para estimular o rebrota de ervas para alimentar o gado na estação seca (PIVELLO, 2011). Como consequência, percebe-se que incêndios acidentais acabam se tornando grandes incêndios com certa frequência.

Nota-se que ao se alterar esse regime de fogo, os efeitos deste na vegetação deixam de ser os esperados e este passa então a ser considerado um distúrbio. Isso fica claro ao se analisar os números provenientes da série histórica de focos ativos de calor detectados pelo satélite de referência para o Distrito Federal (INPE, 2017), em que para o ano de 2010 (máxima histórica) foram registrados 505 focos ativos de calor, para o ano de 2016, foram registrados 242 focos, **Figura 1**.



**Figura 1: Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência, no período de 1998 até 08/02/2017 para o Distrito Federal. Fonte: INPE.**

Além da vegetação, destacam-se os impactos do regime de fogo atual sobre a fauna (BRIANI *et al.*, 2004), os solos (PEREIRA *et al.*, 2007), e até mesmo sobre a saúde humana (RIBEIRO e ASSUNÇÃO, 2002).

Nesse contexto, faz-se necessária a discussão de ações que visem à redução das perdas de biodiversidade e deterioração do meio ambiente devido à gestão inadequada de incêndios. Para tanto, é necessário esclarecer quais são as ações de combate a um incêndio, para que seja possível ponderar quais delas são passíveis de melhorias.

LAGARES (2006) descreve em seis as etapas necessárias para a operação de combate ou de supressão a um incêndio florestal. I) Detecção, que corresponde ao tempo decorrido entre a ignição ou início do fogo e o momento em que ele é avistado por alguém. II) Comunicação, tempo correspondente à detecção do fogo e o recebimento da informação pela pessoa responsável pela ação de combate. III) Mobilização, tempo entre o recebimento da informação e a saída para combate. IV) Deslocamento, tempo entre a saída do pessoal e a chegada ao local de incêndio. V) Planejamento do combate, tempo gasto pelo responsável pelo combate para avaliar o comportamento do fogo e planejar a estratégia de combate. VI) Combate ao incêndio, tempo consumido na operação de combate ou eliminação do incêndio, incluindo o rescaldo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Combate a incêndios em áreas naturais no Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma em área no Brasil, a savana com maior riqueza florística em nível mundial (MENDONÇA *et al.*, 2008), o único bioma que possui fronteiras com quase todos os outros biomas nacionais, atuando como corredor para a flora e para a fauna (PRADO e GIBBS, 1993; OLIVEIRA-FILHO e RATTER, 1995; JOHNSON *et al.*, 1998), além de contribuir significativamente para a vazão de quatro das maiores bacias hidrográficas do país (LIMA, 2011).

Entretanto, apesar da sua evidente relevância, há algumas décadas o bioma perde lugar, principalmente, às pastagens plantadas e culturas anuais, e onde se estima que mais de 50% da área correspondente à vegetação nativa já tenha sido substituída por outros usos do solo (KLINK e MACHADO, 2005). As mudanças de uso de solo e técnicas de manejo das áreas de pastagens e da agricultura, recorrentemente fazem uso do fogo, entretanto, este, muitas vezes, acaba avançando sobre áreas naturais (PIVELLO, 2011).

Diante dos impactos do fogo sobre a biodiversidade, vários esforços têm sido empregados no sentido de se desenvolver o combate aos incêndios. No que diz respeito às operações de supressão do fogo, estas podem ser divididas em seis etapas: detecção, mobilização, deslocamento, planejamento do combate e combate ao incêndio.

No que diz respeito à detecção, esta usualmente é efetuada por torres de vigilância. Entretanto, quando se visa o detalhamento da área queimada (atividade pós fogo), o sensoriamento remoto muito tem a contribuir. Existem várias metodologias para a identificação das áreas afetadas por incêndio, sendo possível classificar as áreas em função da severidade dos incêndios (ESCUIN *et al.* 2008).

Nesse contexto da detecção de áreas queimadas por sensoriamento remoto, um importante desafio para ambientes savânicos, é o processo de remoção das cinzas e do carvão provenientes da queima, assim como a rebrota da vegetação que ocorre em poucos dias, ambos os fenômenos fazem com que os indícios da ocorrência do fogo sejam rapidamente atenuados ou eliminados, dificultando ou até mesmo impedindo a identificação das áreas afetadas (PESSOA, 2014).

Assim, a escolha das imagens deve ponderar entre a resolução espacial e a temporal, visto que imagens com alta resolução espacial tendem a ter uma defasagem temporal e imagens de alta resolução temporal tendem a ter um menor detalhamento espacial. Nesse sentido, imagens de média resolução espacial (30 metros), como as do sensor OLI/TIRS utilizados pelo Landsat 8 passam a ser interessantes para esse tipo de abordagem.

LAGARES (2006), ao descrever os métodos de combate ao fogo, aponta que esses podem ser direto, quando é possível a aproximação da brigada à linha de fogo; indireto, quando a intensidade do fogo não permite a aproximação e métodos como a construção de aceiros são utilizados; ou aéreos, onde aeronaves são empregadas como método de apoio aos demais métodos. No Brasil, o combate ao fogo tem sido predominantemente realizado por brigadas terrestres.

Ainda sobre os recursos que podem ser utilizados em combates a incêndios em áreas naturais no Chile, CASTILLO-SOTO e RODRÍGUEZ-SILVA (2015) definem como um dos parâmetros para a alocação dos recursos, a área do incêndio, quando maior, e conseqüentemente, mais complexo o combate, mais recursos devem ser empregados no seu combate.

Ressalta-se que para a definição de estratégias de combate é preciso obter dados básicos sobre o desempenho dos recursos/ferramentas empregados no próprio combate ao fogo, pois será a partir dessas informações que se desenharão cenários de combate ao fogo enviesados pela técnica. Avaliações dessa natureza são escassas em um contexto local e nacional, pouco se sabe sobre o desempenho dessas ferramentas de combate.

Nesse sentido, quando se busca avaliar organizações ou programas, surgem referências a um desempenho mínimo para que o resultado ou o processo seja considerado satisfatório. Na literatura especializada, essa avaliação de desempenho pode ser entendida como efetividade, eficiência e eficácia.

Efetividade diz respeito à capacidade de se promover resultados pretendidos, eficiência aborda a competência para se produzir um resultado com dispêndio mínimo de recursos e esforços, e a eficácia, remete a condições controladas e a resultados desejados de experimentos (LAGARES, 2006). Assim, ao abordar o fenômeno fogo, opta-se pela sua avaliação em termos de efetividade e de eficiência.

Em um contexto local, sabe-se que duas aeronaves Airtractor AT-802F foram adquiridas em 2011 pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) a um custo de R\$ 7.000.000,00 cada uma, para uso exclusivo do combate aéreo a incêndios florestais. Segundo as informações fornecidas diretamente pelo 2º Esquadrão do Grupamento de Aviação Operacional do CBMDF, durante a estação seca de 2014, essas aeronaves foram responsáveis pelo lançamento de aproximadamente 514 mil litros de água sobre áreas naturais em chamas. Com base no custo operacional para estas aeronaves em 2014, foi possível estimar um investimento total de R\$335.000,00 em combustível e manutenção das aeronaves. Tal estimativa não incluiu gastos com recursos humanos.

Em 2015 uma das aeronaves foi rastreada por meio de uma sonda meteorológica, Saphira 3, desenvolvida pela equipe do ECOA (Laboratório de Ecologia Aplicada da UnB), visando analisar variáveis meteorológicas e estudos de operações de combate aos incêndios. Contudo, a primeira fase (2015) teve mais a função de adequações metodológicas e análise primária dos dados, visando um trabalho mais sistemático para

o ano de 2016, visando avaliar a eficiência/efetividade desse combate primário no retardo/extinção do fogo.

Considerando a soma de esforços públicos envolvidos no combate ao fogo e a parceria já estabelecida com CBMDF, fica clara a necessidade de uma avaliação do combate aéreo que vise esclarecer a contribuição deste ao controle dos incêndios que ocorrem no Cerrado do DF, com vistas à melhoria desses procedimentos.

## **2.2 Objetivo Geral**

Avaliar o combate aéreo ao fogo no Cerrado em relação aos aspectos de eficiência e efetividade, visando subsidiar avanços no controle do fogo em áreas naturais no Distrito Federal.

## **2.3 Objetivos Específicos**

- I. Avaliar a efetividade do combate ao fogo, por meio de ferramentas espaciais, através da análise da proximidade entre a passagem da aeronave e a linha de fogo em solo.
- II. Avaliar a eficiência em termos operacionais e financeiros do combate aéreo ao fogo.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

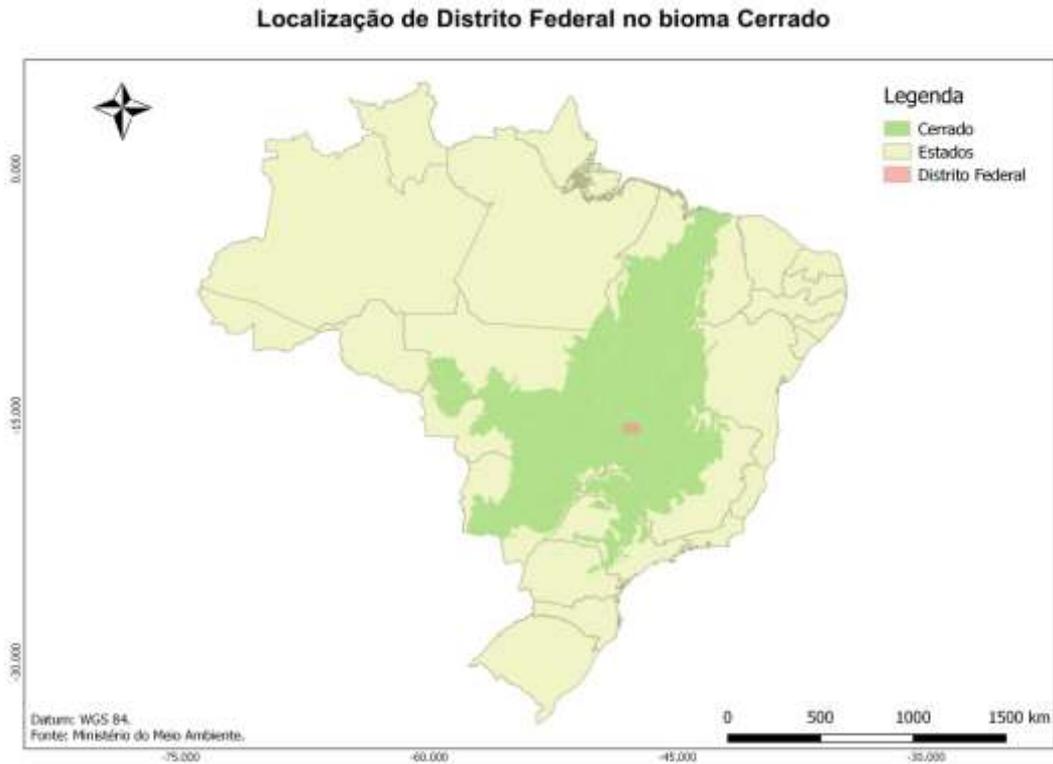
O presente trabalho foi realizado dentro do projeto “Combate aos incêndios em áreas naturais: avaliação de estratégias e impactos ambientais”, coordenado pelo professor Dr. Carlos Henke de Oliveira, Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ecologia – IB/UnB.

#### **3.1 Caracterização da área de estudo**

O Distrito Federal (DF), localizado no Planalto Central do Brasil, possui uma área de aproximadamente 5.780 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2016). Possuindo um formato retangular, essa unidade da federação é delimitada, pelas coordenadas 15°30' e 16°03' S e 47°18' e 48°17' W, ressaltando que no sentido leste o oeste são os rios Preto e Descoberto, respectivamente, que o delimitam (WALTER, 2001).

O clima da região é estacional, ou seja, com duas estações bem marcadas, a chuvosa, entre outubro e abril; e a seca, de maio a setembro. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é definido com o tropical do tipo Aw. Nesse contexto de clima estacional, é na estação seca que se proliferam incêndios em áreas naturais, especialmente pelo acúmulo de material combustível somado à baixa umidade relativa do ar.

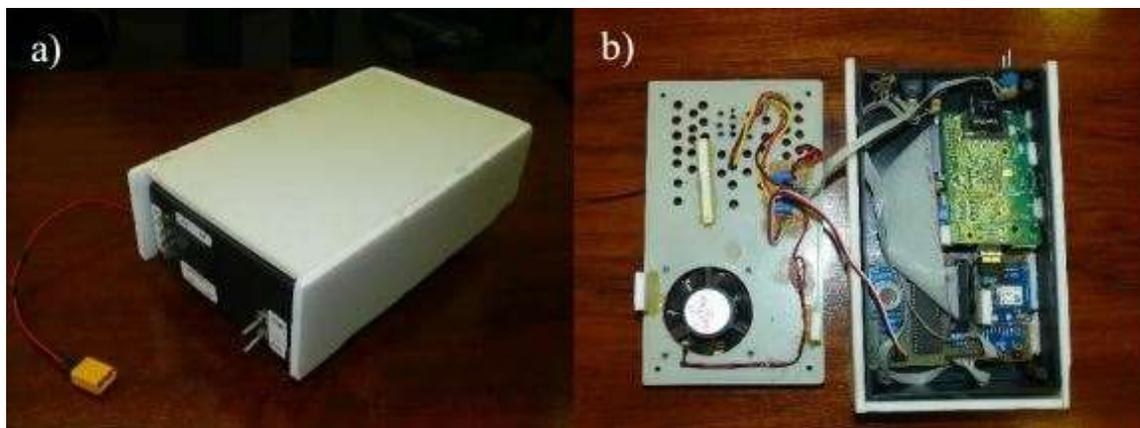
Com relação às áreas naturais, estima-se que mais de 62% da área do DF já tenham sido convertidas em outros usos da terra, em especial em pastagem e em cultura agrícola (SANO *et al.*, 2008). Vale ressaltar a importância dos remanescentes, visto que o DF é coberto exclusivamente pelo Cerrado, as fitofisionomias encontradas aqui são bastante representativas no que diz respeito às fitofisionomias que compõem o bioma (WALTER, 2001). A localização do DF no contexto do bioma Cerrado é mostrada na Figura 2.



**Figura 2: Mapa de localização do Distrito Federal.**

### 3.2 Coleta de dados

A coleta dos dados foi feita com o auxílio da sonda meteorológica, Saphira 3, (Figura 3), desenvolvida pela equipe do Laboratório de Ecologia Aplicada do Departamento de Ecologia – IB/UnB, com registros de propriedade intelectual no INPI (HENKE-OLIVEIRA, 2015).



**Figura 3: Sonda Saphira 3 externa (a) e internamente (b).**  
Fonte: Laboratório de Ecologia Aplicada – IB/UnB.

As fases de desenvolvimento e teste experimental da sonda Saphira ocorreram a partir de 2014. Durante os anos de 2015 e 2016, na época das queimadas, ela passou a ser utilizada como sistema embarcado (Figura 4) em uma das aeronaves do modelo *Airtractor* AT-802F, de uso do Corpo de Bombeiros Militar do DF (CBMDF) - Nimbus 02, com prefixo PP-NBZ. Tais aeronaves, com capacidade de 3.100 litros de água, têm a função de ataque primário ao fogo, o qual deve ser seguido por um ataque secundário, realizado por brigadas em solo, visando à extinção dos focos. Neste trabalho foram utilizados os dados referentes ao ano de 2016.



**Figura 4: Sonda instalada no avião de combate ao fogo, detalhe em amarelo (a) e aeronave de combate ao fogo do CBMDF (b).**

**Fonte: Laboratório de Ecologia Aplicada – IB/UnB.**

A sonda Saphira 3 foi a responsável pela coleta dos seguintes dados em intervalos de 2 segundos: data e hora, coordenadas geográficas, satélites em uso, direção e velocidade de deslocamento, precisão posicional, monóxido de carbono, material particulado, temperatura do ar, umidade relativa do ar, umidade absoluta do ar, pressão atmosférica, pressão reduzida ao nível do mar, altitude GPS e barométrica QNE e QNH, declinação magnética, variação da altitude em relação ao último registro, velocidade vertical, inclinação da rampa de trajeto, aceleração da gravidade (3 eixos), campo magnético (3 eixos), proa magnética, velocidade giroscópica (3 eixos). A sonda também opera uma câmera fotográfica instalada na fuselagem externa da aeronave.

Através da manipulação desses dados, foi possível identificar o ponto de lançamento da carga de água sobre o fogo, para tanto foram utilizados os menores valores obtidos de altitude QNE dentro da situação de voo de combate chamada de avaliação, que corresponde ao momento em que o piloto realiza manobras de sobrevoo e de aproximação a um foco, que são facilmente identificadas espacialmente, por serem voos circulares.

Além disso, os trajetos da aeronave foram rastreados e seu deslocamento e tempo foram computados. Para tais análises foi utilizado o *software* Excel. Para espacialização dos pontos de GPS foi utilizado o *software* QuantumGis, assim como para a geração de todos os mapas presentes neste trabalho.

### 3.3 Identificação de áreas queimadas

Para a delimitação das áreas queimadas optou-se pela utilização do índice espectral *Burn Index* (-NBR), que é o oposto do *Normalized Burn Ratio* (NBR). O produto gerado é igual ao *Differenced Normalized Burn Ratio*.

$$-NBR = -[(\text{Band } 5 - \text{Band } 7) / (\text{Band } 5 + \text{Band } 7)]$$

Tal índice foi calculado para o período em que os voos foram realizados (maio a outubro de 2016). Foram feitas sete classificações para o período em questão, para tanto se utilizou a metodologia multi-temporal, em que as áreas queimadas são delimitadas por alterações espectrais verificadas pela comparação de imagens pré e pós-fogo obtidas, nesse caso, com 16 ou 32 dias de diferença, dependendo da qualidade de imagem disponível.

Para a realização desses procedimentos foi utilizado o *workflow Image Change* do *software* Envi 5.1. Na árvore de decisões, optou-se pelo classificador Otsu ajustando-o manualmente para *increase* 0,2.

Foram utilizadas imagens de reflectância com 30m de resolução espacial, órbita/ponto 221/71, relativas às seguintes datas: 02/05; 03 e 19/06; 21/07; 06 e 22/08; 07/09; e 09/10, sendo todas do ano de 2016; fornecidas pelo satélite Landsat 8 OLI/TIRS e disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS). Todas as imagens apresentavam registro.

### 3.4 Análise de proximidade

Através da sobreposição dos dados de lançamento da carga d'água ao local alvo (chamas ou linha de fogo), foi possível avaliar a correspondência do ponto de lançamento com a fronteira da cicatriz de incêndio (local da efetiva extinção), o que indicaria que a passagem da aeronave contribuiu para a extinção do fogo (com participação de equipe de solo). Para isso foram calculadas as distâncias euclidianas entre a fronteira do fogo e o ponto de lançamento.

Para comparar o grau de acerto (ou aderência/proximidade) entre o ponto de lançamento da carga d'água e a fronteira do fogo, foram gerados anéis concêntricos de Kernel através do *plugin* Mapa de calor do *software* QuantumGis 2.14. As distâncias do

centro do anel em relação ao seu exterior indicavam as classes de efetividade do lançamento. A efetividade alta se deu nas situações em que a distância entre o ponto de lançamento estava a menos de 100m da cicatriz da fronteira do fogo; a efetividade moderada ocorreu entre 100 e 300m de distância; e a efetividade baixa correspondeu a uma distância maior que 300m. Tais distâncias foram construídas com o auxílio dos consultores *ad hoc* do projeto, pilotos e demais combatentes de incêndios em áreas naturais.

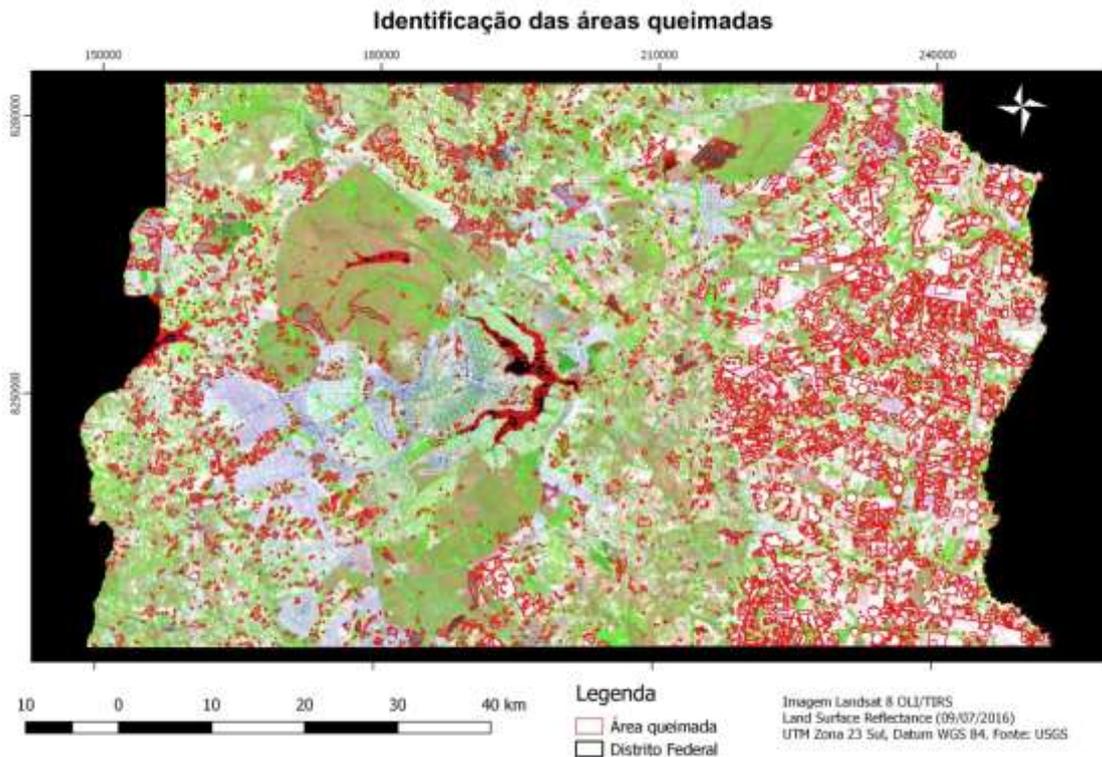
## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Classificação das áreas queimadas

Uma etapa crucial no presente trabalho foi a identificação das áreas queimadas, pois foi a partir delas que as demais análises, de efetividade e eficiência, foram realizadas. Para esse propósito há inúmeras metodologias disponíveis, desde as mais intuitivas, como é o caso da identificação visual das áreas, que por sua vez está sujeita a uma série de erros devido, principalmente, à subjetividade inerente a esse processo; até as automatizadas, que fazem uso de diversas ferramentas, como os índices espectrais e as árvores de decisão (ESCUIN *et al.*, 2008; PESSOA, 2014).

Os índices espectrais merecem especial atenção, pois têm sido amplamente utilizados para identificar as áreas queimadas, e, além disso, têm sido utilizados em análises mais complexas, como é o caso do trabalho de ESCUIN *et al.* (2008) em que vários índices espectrais em metodologias uni e multi-temporais são testados com o objetivo de classificar as áreas queimadas de acordo com a severidade do incêndio. Entre os índices mais utilizados estão o *Normalized Burn Ratio* (NBR), o *Burned Area Index* (BAI), o *Burn Index* (-NBR), que foi o utilizado nesse trabalho e até mesmo o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

O mapa com a identificação das áreas queimadas no DF para o período estudado pode ser observado na Figura 5 abaixo.



**Figura 5: Identificação das áreas queimadas no Distrito Federal entre os meses de maio e outubro de 2016.**

Ao se analisar a classificação gerada pelo índice, percebe-se, visualmente, que houve uma confusão entre os alvos, e que foi atribuída, erroneamente, a classificação de área queimada a alvos como agricultura, solo exposto, corpos d'água, sombra de nuvem.

Ressalta-se que os erros gerados são, em sua maioria, de comissão, sendo poucos os de omissão, ou seja, poucas áreas queimadas não foram classificadas como tal. Sendo essa a característica que se buscava para essa etapa do trabalho. Ou seja, para o propósito em questão, o *Burn Index* teve um desempenho aceitável.

Além disso, o fato dos erros de comissão superarem em muito os de omissão reforça a ideia de que o índice é um bom classificador para o estudo em questão, de combate ao fogo, e que os resultados indesejados se devem, provavelmente, a imprecisão dos limiares do classificador, o que resultou em uma confusão entre os alvos. Comportamento similar foi observado por ESCUIN *et al.* (2008) no que diz respeito à alta sensibilidade de dois índices espectrais, NBR e NDVI, para a identificação de áreas queimadas. PESSOA (2014), ao utilizar os mesmos índices espectrais para a classificação de áreas queimadas no Cerrado do DF, observou uma alta sensibilidade para identificação de áreas queimadas e erros de comissão similares aos encontrados nesse estudo, no que diz respeito aos alvos.

Vale ressaltar que a classificação das áreas queimadas se dá em função do comportamento espectral deixado pelo carvão, evidência inquestionável da passagem do fogo, que é caracterizado por baixos valores de reflectância em toda a faixa óptica do

espectro eletromagnético, apresentando valores mais baixos na região do visível e um pequeno aumento em direção ao infravermelho de ondas curtas (PESSOA, 2014). Tal assinatura espectral pode explicar a confusão entre alvos.

No que diz respeito aos erros de omissão, estes, mesmo em menor número, podem ser explicados pelo processo de remoção de cinzas. Sabe-se que a deposição desta está sujeita ao tipo de vegetação em que ocorreu o incêndio. No caso das vegetações savânicas, em função da quantidade e das características do material queimado, há uma baixa deposição desse material (PESSOA, 2014). Além disso, a rebrota rápida, outra característica marcante de ambientes savânicos, acaba ajudando na remoção do carvão, assim como a chuva e o vento.

Não foi possível gerar uma matriz de confusão para a análise dos erros relacionados ao índice devido à falta de um referencial real para os incêndios. O programa queimadas do INPE (2017) aponta os focos de calor para o período, entretanto, o satélite de referência (AQUA-MT) apresenta resolução espacial de 1,1 km, sendo menos detalhadas do que as imagens utilizadas neste trabalho, apresentando também importantes erros de omissão.

A falta de qualquer forma de análise da precisão do índice não compromete o produto gerado pelo mesmo, visto que a informação mais importante que se buscou extrair foi a identificação das bordas do incêndio, pois é sobre elas que ocorreram os voos de combate ao fogo.

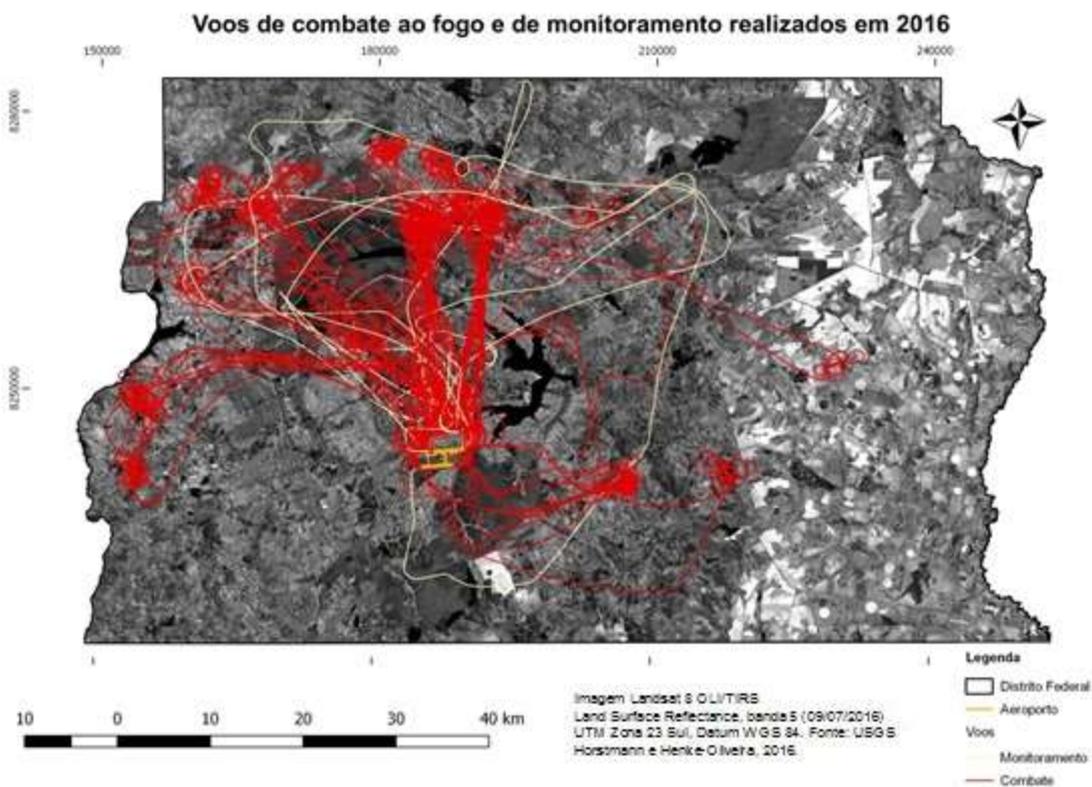
Ressalta-se que uma das maiores contribuições deste trabalho é demonstrar a viabilidade da integração de dados de sensores remotos ao sensoriamento local (altitude barométrica de sensores embarcados fornecidos pela sonda Saphira 3) e que se iniciou nessa etapa, pela identificação das fronteiras das cicatrizes dos incêndios. Buscou-se, neste trabalho, um tipo de abordagem que possa conferir um caráter mais aplicado ao geoprocessamento no estudo do combate ao fogo.

## **4.2 Efetividade do combate aéreo ao fogo no Cerrado**

Durante os meses de junho a outubro de 2016 foram rastreados 55 voos, nos quais 23 incêndios foram combatidos, utilizando-se aproximadamente 144 mil litros de água e gastos, aproximadamente R\$ 502.104,2 entre custos operacionais e relativos à manutenção e abastecimento das aeronaves. Ao total, 6.585,3 km foram rastreados durante as 64,3 horas gastas nas operações de combate. Destaca-se que a maior parte das operações da aeronave de prefixo PP-NBZ foi rastreada, porém houve algumas interrupções de rastreamento para a manutenção de equipamento. Também destaca-se que existe uma segunda aeronave de mesmo modelo em operação, a qual não foi rastreada. Visando garantir operações aéreas a qualquer tempo, as aeronaves são alternadas entre fases de operação, espera e manutenção. Para isso, é frequente que se

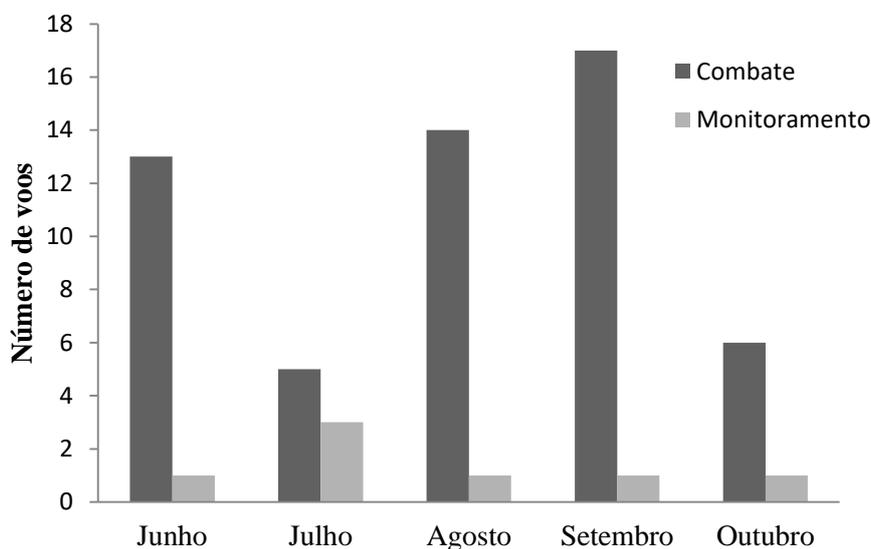
deixe de operar alguma delas por alguns dias, para que não coincidam manutenção em ambas simultaneamente, em decorrência de sincronismo no ciclo de horas de manutenção obrigatória, o que poderia promover interrupção das operações aéreas de combate. Assim, os dados aqui apresentados não representam a totalidade da operação aérea do 2º Esquadrão do Grupamento de Aviação Operacional do CBMDF, mas somente a parcela que foi efetivamente rastreada.

Nem todos os 55 voos rastreados visaram o combate ao fogo, visto que esses podiam ter como objetivo o combate ou o monitoramento da situação. No primeiro caso há ao menos uma abordagem ao fogo, ou seja, ocorre o lançamento de água, sendo que para que isso aconteça, uma série de manobras circulares é realizada com o intuito de garantir a segurança das equipes aéreas e terrestres, ter um panorama da situação em terra, identificar a frente de fogo e, conseqüentemente, escolher a melhor forma para realizar o lançamento da carga d'água, que é feito manualmente, pelo piloto. No segundo não há focos de incêndio a serem combatidos, busca-se averiguar a situação de pontos estratégicos, sem o lançamento de água. Porém, a aeronave sempre decola com carga plena de água, visto que pode ocorrer a necessidade de combate mesmo num voo de monitoramento, mediante a identificação de incêndio e a decisão de combatê-lo. Os trajetos rastreados são mostrados na Figura 6, em função do objetivo do voo.



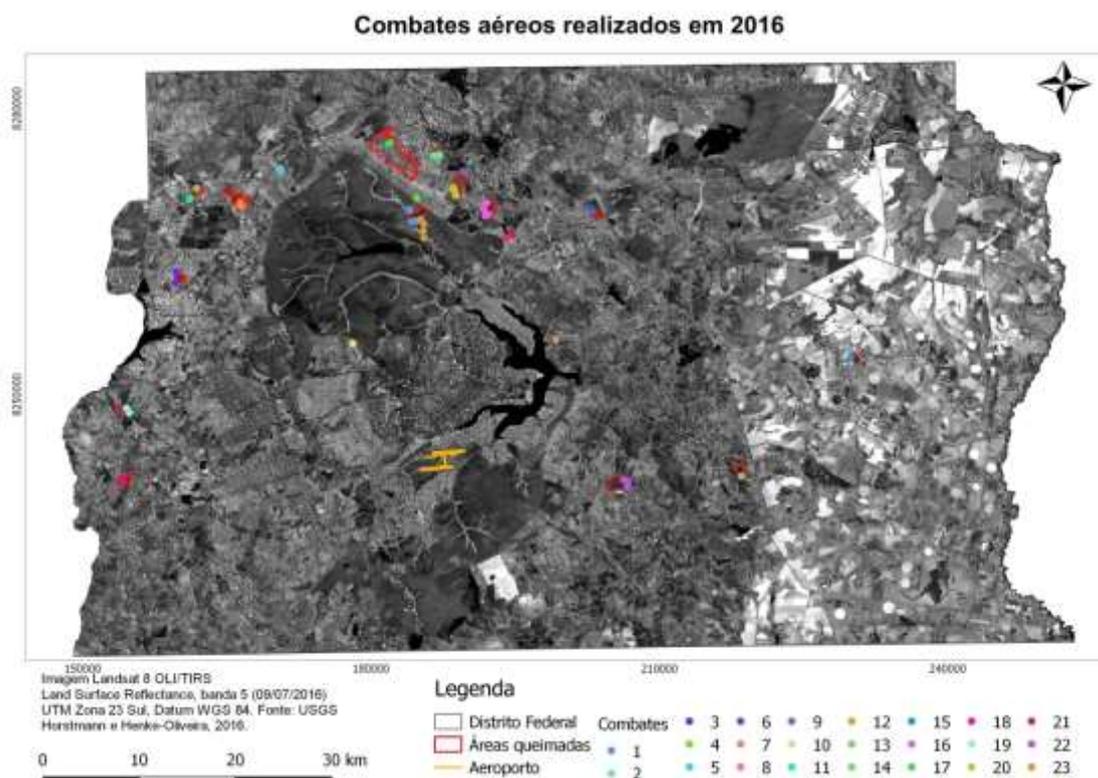
**Figura 6:** Mapa dos trajetos de voos rastreados da aeronave Airtractor AT-802F (prefixo PP-NBZ) em atividades de combate ao fogo e de monitoramento realizadas pelo CBMDF em 2016.

No que diz respeito aos 55 voos realizados, 7 foram de monitoramento; e 48 de combate, vale ressaltar que em um desses voos ocorreu a divisão da carga d'água para a realização dois lançamentos em incêndios distintos. Foram, em média, 11 voos por mês, sendo que em setembro, mês com maior número de voos, foram efetuados 17 (16 de combate e 1 de monitoramento); e julho foi o mês com menor número de voos, 8 (5 de combate e 3 de monitoramento), conforme Figura 7.



**Figura 7: Frequência dos voos de combate e monitoramento no período de seca de 2016.**

Nesse contexto, verificou-se que dependendo das proporções que um incêndio pode assumir, são efetuados mais de um voo de combate, e conseqüentemente, mais de um lançamento de água para tentar controlar ou extinguir o fogo. Os 48 voos realizados foram feitos visando o combate de 23 incêndios, a Figura 8 mostra os locais de combate e os lançamentos de água realizados.



**Figura 8: Locais dos incêndios florestais combatidos e rastreados nesta pesquisa. Os números indicam o número exclusivo arbitrado para cada combate monitorado no Distrito Federal em 2016.**

O número de lançamentos visando o combate de um incêndio variou de um a sete, sendo que a maioria dos incêndios foi combatida com apenas um ou dois lançamentos de água (47,8% e 30,4% respectivamente), conforme Tabela 1. Nos casos em que há mais de um lançamento de água, é necessário que a aeronave retorne ao aeroporto internacional de Brasília para reabastecimento de carga d'água.

**Tabela 1: Número de lançamentos de água realizado por incêndios.**

| Nº de lançamentos | Nº de incêndios combatidos | % de incêndios combatidos |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1                 | 11                         | 47,8                      |
| 2                 | 7                          | 30,4                      |
| 3                 | 1                          | 4,3                       |
| 4                 | 1                          | 4,3                       |
| 5                 | 2                          | 8,7                       |
| 6                 | -                          | 0,0                       |
| 7                 | 1                          | 4,3                       |
| <b>Total</b>      | <b>23</b>                  | <b>100</b>                |

Os números acima parecem evidenciar a complexidade que um incêndio pode assumir e, conseqüentemente, uma maior dificuldade de combate a ele associada. Nesse

sentido, em situações iniciais de incêndio, a contribuição do combate aéreo pode ser determinante para a extinção do fogo. LAGARES (2006) cita especificadamente as duas ou três primeiras horas após o início do incêndio como fases cruciais ao combate, quando este não chegou à magnitude e intensidade elevadas. CASTILLO e SILVA (2015) apontam que é quando incêndios atingem grandes áreas, que o combate aéreo mais contribui ao diminuir o tempo de resposta (momento da extinção do fogo).

Nesses dois contextos, percebe-se o caráter estratégico de se ter à mão esse recurso, meios de combate aéreo ao fogo, visto que tanto em incêndios de pequenas ou de grandes áreas, o lançamento da carga d'água acelera o processo de extinção do fogo, como ataque primário e como ferramenta indireta que auxilia a equipe em terra. Assim, torna-se crucial a existência de um sistema de alerta eficiente, considerando as contribuições significativas que o combate aéreo pode realizar ao ser acionado prontamente.

Entretanto, um combate não pode ser avaliado apenas pelo tempo decorrido entre o início do fogo e o momento do lançamento de água. Os números acima somente lançam luz sobre um fenômeno de natureza bastante complexa, pois outras variáveis devem ser somadas para se pensar no combate ao fogo em áreas naturais. Nesse sentido, há inúmeros fatores que contribuem nesse processo, merecem destaque aqueles que influenciam diretamente comportamento do fogo, como é o caso do material combustível do incêndio, em termos de quantidade e qualidade; das condições atmosféricas, em especial o vento, tanto em termos de velocidade quanto de direção, e o teor de umidade. Todas essas variáveis ambientais somadas às relacionadas à estrutura da equipe de combate, como o número de combatentes, configuração da equipe e tráfego da aeronave, interferem na efetividade e na eficiência do combate ao fogo.

Reconhecendo-se que se trata de um fenômeno complexo, abordou-se a efetividade do combate aéreo ao fogo em termos de distância do lançamento da carga d'água em relação à cicatriz da fronteira de fogo. Assumiu-se que ao jogar água em uma linha de fogo, isto pode levar à extinção do fogo ou não. Quanto mais distante o lançamento se situa da fronteira de fogo, tanto menor foi a sua contribuição para o processo de controle do mesmo.

A definição dessas distâncias se deu com a ajuda de consultores *ad hoc* (pilotos e coordenadores das equipes de combate aéreo e terrestre ao fogo). Assim, chegou-se a classes de efetividade em função da distância.

Ao se definir essas distâncias de efetividade, foi levado em conta a resolução temporal de coleta do ponto de GPS da aeronave, que ocorreu em um intervalo de dois segundos; a rota balística à qual a carga d'água está sujeita, já que esta é lançada com o avião em movimento a velocidades consideráveis, por volta dos 200km/h; e a experiência em campo da equipe de combate, tanto dos pilotos quanto dos combatentes em terra.

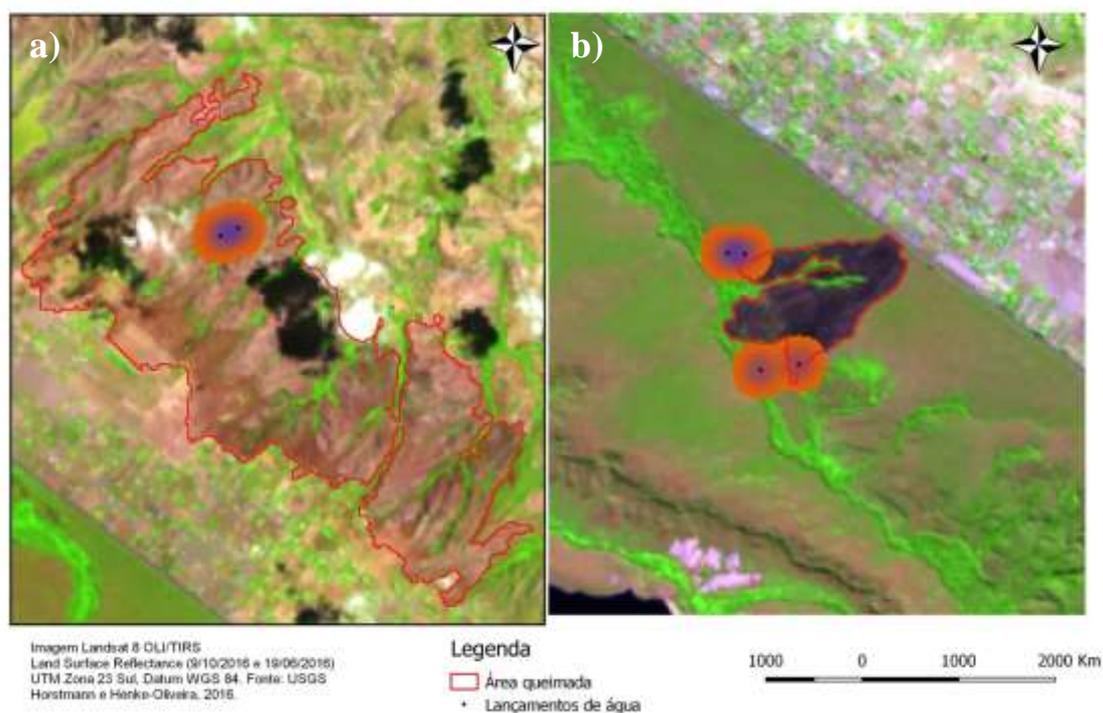
Vale ressaltar que a questão aqui analisada não é se a aeronave acertou a linha de fogo, visto que a precisão da equipe de combate aéreo é reconhecidamente elevada e atestada nas fotografias tomadas na sonda Saphira (Figura 9), e sim se o fato da carga d'água ter sido despejada sobre o fogo levou a sua extinção ou não. Por isso optou-se pela análise da efetividade em três classes, definidas pela distância. A primeira, de efetividade alta, aborda os casos em que após o lançamento da carga, o fogo se extinguiu em até 100m da linha de fogo. A segunda, de efetividade moderada, engloba as situações em que o fogo se extinguiu a uma distância de 100 a 300m da linha de fogo. E a terceira, de efetividade baixa, aborda os casos em que o fogo se extinguiu a uma distância superior a 300m do lançamento.



**Figura 9: Fotografias ortogonais do lançamento de água sobre as chamas durante as missões de combate aéreo primário ao fogo no cerrado executadas pelo CBMDF em 2015 com uso da aeronave Airtractor AT-802F (Nimbus 02, prefixo PP-NBZ).**

Dos 48 voos realizados, foi possível medir as distâncias em 28, devido a dificuldades na classificação das áreas queimadas em imagens com presença significativa de nuvens. O lançamento mais distante da cicatriz da fronteira do fogo foi feito a 839 metros da mesma, no interior da área queimada, ou seja, nesse caso acreditase que o lançamento da água não impediu que o fogo se expandisse; e o mais próximo foi feito a 7 metros da cicatriz da fronteira do fogo e, muito provavelmente, auxiliou na extinção desse incêndio.

A Figura 10 abaixo mostra um combate, realizado na região do Lago Oeste em 13 de setembro de 2016, onde foram efetuados dois lançamentos considerados de efetividade baixa, localizados a 839 e 670 metros da cicatriz da fronteira do fogo. A outra imagem, à direita, mostra um combate realizado no Parque Nacional de Brasília, no dia 17 de junho de 2016 em que quatro lançamentos foram efetuados, 2 destes foram classificados como de efetividade alta por estarem localizados a 22, 66 metros da borda do fogo; e 2 foram classificados como de efetividade moderada, situando-se a 174 e 278 metros da cicatriz da fronteira do fogo.



**Figura 10: Combates realizados na região do Lago Oeste (a) e no Parque Nacional de Brasília (b). Os pontos indicam o local de mínima altitude da aeronave, o local mais provável de ocorrer o lançamento de água, o qual é circulado por uma representação de anéis concêntricos, cuja distância em relação à borda da cicatriz de fogo (linha vermelha) é indicador do nível e efetividade.**

Como média das distâncias, obteve-se o valor de 167,8 metros. Dos 28 valores analisados, 25 (89,3%) estavam a menos de 300m de distância da fronteira do fogo e, por tanto, enquadraram-se nas classes de efetividade alta e moderada e apenas 3 (10,7%) se localizaram a mais de 300m da cicatriz da fronteira do fogo, portanto, classificados como de baixa efetividade, conforme Tabela 2.

**Tabela 2: Número de combates aéreos por classe de efetividade.**

| Classe de efetividade | Nº de combates aéreos | % de combates aéreos |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Alta                  | 13                    | 46,4                 |
| Moderada              | 12                    | 42,9                 |
| Baixa                 | 3                     | 10,7                 |
| <b>Total</b>          | <b>28</b>             | <b>100</b>           |

Entretanto, ao se analisar os dados de lançamentos, definidos em função do ponto com menor altitude barométrica, percebeu-se que alguns pontos situaram-se muito distantes das cicatrizes, o que pode ser um indicativo de que esse não foi o ponto de lançamento. Nota-se, contudo que as fases de voo imediatamente anteriores e

posteriores ao lançamento mostram percursos coincidentes com as bordas das cicatrizes. Mesmo que o ponto indicado para lançamento permaneça a distâncias relativamente altas, deverão ser considerados os efeitos das alterações das pressões atmosféricas decorrentes do lançamento de água, bem como da atividade convectiva (ventos ascendente pelas chamas e superfícies aquecidas) sobre dados barométricos. Isso é particularmente importante, pois o intervalo de 2 segundos, entre um dado e outro é suficiente para promover erros posicionais em torno de 100 metros. Assim, parece que a análise do percurso, ao invés da proximidade ao ponto estimado de lançamento possa ser utilizada futuramente para melhoria dos procedimentos de análise de efetividade do combate aéreo.

Outro aspecto importante da operação e de difícil integração à análise aqui pretendida, diz respeito àquelas situações em que o lançamento de água não é realizado diretamente sobre a linha de fogo em função de inúmeros aspectos, mas sobretudo pela impossibilidade de atingir o alvo em função de relevo ou obstáculos em solo, tais como torres, linhas de alta tensão, etc. Em tais situações, o lançamento é realizado para formar uma “linha fria”, onde a equipe de solo, após o lançamento de água, encontra condições mais adequadas para balizamento das operações de combate direto no local ou nas imediações.

Por fim, ressalta-se a importância dos dados aqui gerados, tendo em vista a falta de dados acerca desse tema em um contexto Nacional. Dados a respeito da efetividade de ferramentas de combate a incêndios são essenciais para balizar as estratégias de combate adequadas a cada situação. No caso do DF, por exemplo, há Plano de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais do Distrito Federal (BRASIL, 1996), entretanto, as estratégias de combate ali abordadas não foram testadas em termos de efetividade.

### **4.3 Eficiência do combate aéreo ao fogo no Cerrado**

Dentre as várias possibilidades de se avaliar a eficiência, optou-se, neste estudo, pelas seguintes abordagens: a primeira de caráter puramente operacional, através de tempos e distâncias; e a segunda mesclando elementos da operação de voo aos aspectos financeiros relacionados a esse processo.

Ao se pensar que a eficiência de um combate aéreo está associada à agilidade com que o mesmo é efetuado, faz-se necessário analisar os tempos e distâncias correspondentes a cada processo que permeia uma operação de voo. Nesse sentido, foi possível classificar as fases do voo em: decolagem/pouso, estacionado, taxiamento e voo, cujos tempos e distâncias encontram-se na Tabela 3.

Tais dados informam que o 95,9% do deslocamento é feito em voo, seguido pelo taxiamento, 2,9% e pela decolagem/pouso 1,2%. No que diz respeito ao tempo, 61,3% é

gasto em voo, 22% em taxiamento, 1,8% em decolagem/pouso. Ao se analisar conjuntamente deslocamento e tempo, percebe-se que apesar do deslocamento em voo ser inquestionavelmente maior do que o em taxiamento, a mesma lógica não pode ser aplicada ao tempo, já que o tempo gasto em taxiamento foi consideravelmente elevado.

**Tabela 3: Tempos e distâncias para cada fase do voo, com base nos dados de rastreamento da aeronave Airtractor AT802F (prefixo PP-NBZ) do CBMDF em 2016.**

| <b>Fase</b>        | <b>Deslocamento (km)</b> | <b>%</b>   | <b>Tempo (h)</b> | <b>%</b>   |
|--------------------|--------------------------|------------|------------------|------------|
| Decolagem/Pouso    | 78,8                     | 1,2        | 1,1              | 1,8        |
| Estacionado        | 0,0                      | 0,0        | 9,5              | 14,8       |
| Taxiamento         | 188,6                    | 2,9        | 14,1             | 22,0       |
| Voo                | 6316,8                   | 95,9       | 39,4             | 61,3       |
| <b>Total Geral</b> | <b>6.584,2</b>           | <b>100</b> | <b>64,3</b>      | <b>100</b> |

O tempo gasto em taxiamento é explicado pelo fato das aeronaves utilizarem o Aeroporto Internacional de Brasília, que recebe um grande fluxo de aeronaves comerciais e particulares. As regras internacionais para decolagens e pousos e fases correlatas (taxiamento, esperas em circuito de tráfego, etc) priorizam situações de aeronaves em emergência ou pane, aeronaves-ambulância, aeronaves militares em situações de guerra, dentre outras. Embora o Corpo de Bombeiros seja militar, os voos de combate não são considerados voos militares e não gozam, à priori, de nenhuma prioridade por parte do Controle de Tráfego Aéreo.

Ao se pensar em eficiência como conceito que prevê o dispêndio mínimo de recursos, percebe-se que o tempo é um recurso estratégico para o combate aéreo, assim, aponta-se que o tempo gasto em taxiamento (22% do tempo) é um gargalo à eficiência do processo. CASTILLO E SILVA (2015), ao analisarem incêndios no Mediterrâneo, realçam que os meios aéreos, diminuem o tempo de resposta (quando se dá a extinção ao fogo) inclusive em incêndios de grandes áreas, já que aceleram o primeiro combate.

Nesse sentido, é razoável pensar em meios de aumentar a agilidade do combate aéreo. Ganham importância propostas de transferência de local, em que as aeronaves de combate utilizam outros espaços que não o aeroporto de Brasília. Isso diminuiria o tempo de taxiamento e operações de espera em solo e no ar.

Outro aspecto relacionado à eficiência diz respeito aos custos financeiros associados ao processo. Apesar de alguns custos serem mais facilmente estimados, como os custos operacionais de R\$ 2.600,00 / hora de voo (estimado na aviação como três vezes o valor gasto em combustível), não tinha sido possível avaliar a eficiência, até o momento, do combate primário no retardo/extinção do fogo, devido à complexidade inerente ao fenômeno (fogo) e de sua abordagem (combate). Os dados produzidos neste estudo representam uma contribuição inicial nesta análise.

A análise revelou que o tempo médio para cada voo foi de 1,2 hora, com um deslocamento médio de 119,7km por voo. Assim, levando-se em conta o custo operacional citado acima, chegou-se a um valor de, aproximadamente, R\$ 3038,3 por voo realizado, sendo esse um valor subestimado já que não inclui valores com pessoal, mas que, no âmbito dos dados disponíveis para esse trabalho, representa uma estimativa inicial e que futuramente poderá ser acrescida dos demais custos envolvidos no processo.

Vale ressaltar que muito ainda precisa ser estudo no contexto das ciências do combate ao fogo para se obter a eficiência do combate a um incêndio, visto que a mesma pode ser abordada de inúmeras maneiras, CASTILLO-SOTO e RODRÍGUEZ-SILVA (2015) abordam o mesmo tema através da discussão de uma equação que pondere o custo associado ao combate em comparação com os prejuízos evitados ao se realizar o combate. Entretanto, para se chegar a essa abordagem, de natureza mais complexa, dados primários, tais quais os aqui apresentados, se fazem necessários.

Para além desses números, reforça-se neste trabalho, que o geoprocessamento, ao assumir um caráter mais aplicado pode fazer essa ponte, elucidando vários aspectos relacionados às ciências do combate ao fogo, no caso em questão, através da integração dos dados de sensoriamento local (sonda Saphira 3) a técnicas de geoprocessamento com dados orbitais. Além disso, reforça-se a ideia de que planos e políticas públicas devem ter um embasamento técnico adequado e dados como os aqui apresentados podem ser úteis para a definição de estratégias de combate a incêndios em áreas naturais.

## 5 CONCLUSÕES

- O *Burn Index* possibilitou a identificação das áreas queimadas e apresentou resultado adequado na definição dos limites das mesmas, entretanto visualmente, que houve uma confusão considerável entre os alvos, apesar de não ter sido realizada gerada uma matriz de confusão.
- Através da definição das classes de efetividade foi possível avaliar a efetividade do combate aéreo em alta (46,4%), moderada (42,9%) e baixa (10,7%). Contudo, ressalta-se, que a análise do percurso, ao invés da proximidade ao ponto estimado de lançamento possa ser utilizada futuramente para melhoria dos procedimentos de análise de efetividade do combate aéreo.
- Sobre a eficiência, os dados mostraram que 95,9% do deslocamento é feito em voo, seguido pelo taxiamento, 2,9% e pela decolagem/pouso 1,2%. No que diz respeito ao tempo, 61,3% é gasto em voo, 22% em taxiamento, 1,8% em decolagem/pouso e que o tempo médio para cada voo foi de 1,2 hora, com um deslocamento médio de 119,7km por voo. Levando-se isso em conta, chegou-se a um custo operacional de, aproximadamente, R\$ 3038,3 por voo realizado.
- Com relação aos gargalos dos processos aqui identificados, ressalta-se a necessidade de otimização dos tempos de taxiamento e a necessidade de se agilizar o sistema de alerta no que diz respeito ao acionamento do combate aéreo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Plano de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais do Distrito Federal. Decreto nº 17.431, de 11 de junho de 1996.
- BRIANI, D.C., PALMA, A.R., VIEIRA, E.M.; HENRIQUES, R.P.B. Post-fire succession of small mammals in the Cerrado of central Brazil. *Biodiversity and Conservation*, v. 13, n. 5, p. 1023 - 1037. 2004.
- CASTILLO, M.E.; SILVA, F.R. Determining response times for the deployment of terrestrial resources for fighting forest fires. A case study: Mediterranean – Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, v. 42, n. 1, p. 97 – 107. 2015.
- CASTILLO-SOTO, M.E.; RODRÍGUEZ-SILVA, F. Quantitative analysis of forest fire extinction efficiency. *Forest Systems*, v. 24, n. 2, p. 9. 2015.
- ESCUIN, S.; NAVARRO, R.; FERNANDÉZ, P. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, n. 4, p. 1053-1073. 2008.
- HENKE-OLIVEIRA, C. ADC-PIC18F4550. *Revista da Propriedade Industrial*, v. 2347. INPI. Brazil. 1: 244 p. 2015
- IBGE. Cidades, Distrito Federal, Brasília. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=530010>. Acessado em dezembro de 2016.
- INPE. Banco de Dados de Queimadas. Disponível em: <https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas>. Acessado em dezembro, 2016.
- JOHNSON, M. A., SARAIVA, P. M.; COELHO, D. The role of gallery forests in the distribution of Cerrado mammals. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 3, p. 421-427. 1998.
- KLINK, C.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713. 2005.

- LAGARES, R.O. Análise de efetividade e eficácia do plano de prevenção e combate a incêndios florestais no Distrito Federal. Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília. 2006.
- LIMA, J.E.F.W. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. **Ciência e Cultura**, v. 63, n. 3. 2011.
- MENDONÇA, R.C.; FELFILI, J.M.; WALTER, B.M.T.; SILVA JÚNIOR, M.C.; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T.S.; NOGUEIRA, P.E. Flora vascular do Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa: Cerrados, 2008.
- MIRANDA, H.S.; NETO, W.N.; NEVES, B.M.C. Caracterização das queimadas de Cerrado. *In*: MIRANDA, H.S. (org.). Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Resultados do Projeto Fogo. Brasília, Ibama. 2010.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 52, p. 141-194. 1995.
- PEREIRA R.S.; NAPPO, M.E.; REZENDE, A.V. Prevenção de incêndios florestais e uso do fogo como prática silvicultural. *Comunicações Técnicas Florestais*, v.9, n.2. 2007.
- PESSOA, O.A.A. Evolução temporal do comportamento espectral de área queimada em formação campestre do Cerrado. Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília. 2014.
- PIVELLO, V.R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: past and present. *Fire Ecology*, v. 7, n.1, p.24-39. 2011.
- PRADO, D.E.; GIBBS, P.E. Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 80, n. 4, p. 902-927. 1993.
- RIBEIRO, H.; ASSUNCAO, J.V. Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos avançados*, v. 16, n. 44, p. 125-148. 2002.

- SALGADO-LABOURIAU, M. L.; FERRAZ-VICENTINI, K. R. Fire in the Cerrado 32,000 years ago. *Current research in the Pleistocene*, v. 11, n. 1, p. 85-87, 1994.
- SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, L.S.; FERREIRA, L.G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Notas Científicas, Pesq. agropec. bras.*, v. 43, n. 1, p. 153-156. 2008.
- SATO, M.N.; MIRANDA, H.S.; MAIA, J.M.F. O fogo e o estrato arbóreo do Cerrado: efeitos imediatos e de longo prazo. *In: MIRANDA, H.S. (org.). Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Resultados do Projeto Fogo*. Brasília, Ibama. 2010.
- WALTER, B.M.T. A pesquisa botânica na vegetação do Distrito Federal, Brasil. *In: CAVALCANTI, T. B.; RAMOS, A. E. Flora do Distrito Federal, Brasil*. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, p. 59-86. 2001.
- WALTER, B.M.T.; RIBEIRO, J.F. Diversidade fitofisionômica e o papel do fogo no bioma Cerrado. *In: MIRANDA, H.S. (org.). Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Resultados do Projeto Fogo*. Brasília, Ibama. 2010.