



**Universidade de Brasília**

Faculdade de Tecnologia-FT  
Departamento de Engenharia Florestal-EFL  
Trabalho de Conclusão de Curso

**INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO FEDERAL ENTRE 1987 E 2017**

Estudante: Yanara Ferreira de Souza 11/0074483

Orientador: Eraldo Matricardi

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Brasília/DF, 4 de Dezembro de 2017

**Faculdade de Tecnologia-FT**  
**Departamento de Engenharia Florestal-EFL**  
**Trabalho de Conclusão de Curso**

**INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO FEDERAL ENTRE 1987 E 2017**

Aluna: Yanara Ferreira de Souza

Menção: **SS**

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi - UnB/ EFL (Orientador)

Prof. Dr. Reginaldo Sergio Pereira - UnB/ EFL

Dra. Olívia Bueno da Costa

Mestranda Larissa Moreira Alves Granado

Brasília/DF, 4 de Dezembro de 2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço as duas pessoas que infelizmente não estão mais nesse plano físico e que foram morar no universo um pouco distante do meu: minha mãe e meu avô. Sem essas duas pessoas na minha vida eu não teria conseguido chegar onde eu cheguei. Nesse mesmo plano astral em que me encontro e que ajudou muito nessa caminhada meu pai, que foi pai/mãe, amigo e que influenciou muito na minha decisão de curso, pois desde criança me levou para acampar e ter esse contato direto com a natureza. Também agradeço às minhas irmãs pelo apoio moral. Aos meus amigos de graduação Camile, Filipe, Jocemara, Mário e Yolanda pelo apoio, estudo em grupo que não dava muito certo e convívio nesta etapa da minha vida. Agradeço em especial a Ilana, (Jita) amiga/ irmã que tive a oportunidade de conhecer nessa etapa da minha vida, pelo convívio diário, as viagens, as bebedeiras, as idas a sorveteria e as conversas incansáveis sobre meditação e o amadurecimento pessoal que você proporcionou na minha vida, muito obrigada. Ao meu orientador Eraldo, por estar sempre disponível e com muita paciência, orientando e ouvindo os meus questionamentos em relação a vida acadêmica. A todas pessoas que passaram nesse caminho iluminado da minha graduação, as oportunidades de PIBIC, estágios e voluntariados que tive a oportunidade de participar. Ao pessoal do estágio Lourdes, Julianna, Gabs, Clarissa e Marcelo por esses dois anos de extensão rural e idas a assentamentos. Por fim, aos animais que me ajudaram nessa trajetória com muito amor, mordidas e lambidas, Vick, Lewis, Aurora e Zeus.

## RESUMO

Incêndios florestais ocorrem com frequência no bioma Cerrado em sua maioria devido a fatores climáticos e antropogênicos. O fogo pode ter efeitos negativos (ex. redução do recrutamento de espécies lenhosas) e positivos ex. aumento da diversidade da vegetação) quando utilizado de forma controlada. No Distrito Federal, os incêndios têm ocorrido todos os anos, variando anualmente na frequência e na quantidade de área queimada. O objetivo do presente trabalho foi identificar as áreas afetadas por fogo entre os anos de 1987 a 2017 e analisar fatores que contribuíram para a ocorrência e propagação do fogo. Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 (sensor TM), Landsat 7 (sensor ETM+) e Landsat 8 (sensor OLI), órbita/ponto 221/071, adquiridas entre 1987 e 2017 para detecção de cicatrizes de fogo na área de estudo. As cicatrizes de fogo na vegetação foram detectadas em cada imagem a partir da transformação das imagens aplicando a Análise de Componente Principal (PC1, PC2 e PC3) e o classificador por Árvore de Decisão. Com base nos resultados deste estudo, observou-se que as maiores áreas afetadas por fogo em todo o Distrito Federal foram detectadas em 2017 e 1994, totalizando 43.087,77 hectares e 42.808,5 hectares de áreas queimadas, respectivamente. As Unidades de Conservação mais atingidas por fogo na área e período de estudo foram o Parque Nacional de Brasília, a Reserva Biológica da Contagem e a Reserva Ecológica do IBGE. Nas três décadas de análise, aproximadamente 82% do Distrito Federal não foi afetado por incêndios, 18% uma única vez, 6% duas vezes e 2% três vezes. Áreas com quatro ou mais ocorrências de incêndios representaram 1% da área territorial do Distrito Federal. A maior área atingida por fogo pelo menos uma vez na área de estudo, foi observada no período de 1987 a 1996, totalizando 83.952 hectares de vegetação nativa queimada. Os resultados desta pesquisa podem ser utilizados para apoiar a definição de estratégias de prevenção e combate de incêndios, como parte das atividades do IBAMA, Corpo de Bombeiros e outras instituições que atuam na conservação do meio ambiente no Distrito Federal.

**Palavras-chaves:** Bioma Cerrado; Incêndios florestais; Classificação por Árvore de Decisão; Distrito Federal; Unidades de Conservação.

## **ABSTRACT**

Forest fires frequently occur in the Cerrado biome mostly due to climatic and anthropogenic factors. The fire may result in negative effects (e.g. reduction of the woody species recruitment) or positive effects (e.g. the increase in vegetation diversity) if used as prescribed fire. In the Federal district, the fires have been occurring every year, annually varying on frequency and on amount of burned area. The objective of this study was to identify the fire-affected areas between 1987 and 2017 and analyze factors that contributed to fire occurrence and propagation. Landsat 5 (TM sensor), Landsat 7 (sensor ETM +), and Landsat 8 (OLI sensor) imagery, Path/Row 221/071, acquired between 1987 and 2017, was used to detect fire scars in the study area. The fire scars on vegetation were detected in each image by applying Principal Component Analysis (PC1, PC2, and PC3) and Decision tree classification. Based on this study results, I observed that the largest fire-affected areas throughout the Federal District were detected in 2017 and 1994, encompassing 43,087.77 hectares and 42,808.5 hectares of burned areas, respectively. The most fire-affected protected areas in the study area and period were observed within the Brasília National Park, the Contagem Biological Reserve, and the IBGE Ecological Reserve. During the three decades of analysis, approximately 82% of the Federal district was not affected by fires, 18% once, 6% twice, and 2% three times. Areas affected four or more times by forest fires represented 1% of entire territory of the Federal District. The largest area affected by fire at least once in the study area was observed between 1987 and 1996, encompassing 83,952 hectares of burned native vegetation. These study results can be used to support the definition of fire prevention and firefighting strategies, as part of IBAMA's activities, firefighters, and other environmental agencies in the Federal District.

**Keywords:** Cerrado Biome; Forest fires; Decision tree classification; Federal District; Conservation units.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	PROBLEMAS DE PESQUISA .....	2
3.	OBJETIVOS .....	3
3.1	OBJETIVO GERAL .....	3
3.2	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	3
4.	JUSTIFICATIVA.....	3
5.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
5.1	IMAGENS DE SATÉLITE.....	4
5.2	SATÉLITE LANDSAT: SENSOR TM, ETM+ E OLI .....	5
5.3	CERRADO EM RELAÇÃO AOS INCÊNDIOS E A OCUPAÇÃO URBANA .....	5
5.4	DANOS, CAUSAS E FREQUÊNCIA DE INCÊNDIOS NO DISTRITO FEDERAL .....	6
5.5	PROGRAMAS DE MONITORAMENTO E PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS NO BRASIL.....	7
5.6	CICATRIZES DE FOGO.....	8
5.7	ANÁLISE POR COMPONENTE PRINCIPAL E ÁRVORE DE DECISÃO.....	8
6.	METODOLOGIA .....	9
6.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	9
6.1.1	UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL .....	10
6.2	BASE DE DADOS .....	12
6.3	MÉTODOS DE GEOPROCESSAMENTO.....	14
6.3.1	Correção atmosférica.....	14
6.3.2	Componente principal .....	15
6.3.3	Perfil horizontal.....	15
6.3.4	Árvore de decisão.....	16
6.3.5	Filtragem .....	18
6.3.6	Correção geométrica .....	18
7.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
7.1	Áreas afetadas por fogo no Distrito Federal.....	18
7.2	Cicatrizes de fogo em Unidades de Conservação .....	19
7.3	Frequência de incêndios registradas no Distrito Federal.....	22
8.	CONCLUSÃO .....	24
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA.....	25

## ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo (Distrito Federal) no Brasil. ....	10
Figura 2: Exemplo de imagem utilizada para o presente trabalho. Imagem TM/Landsat órbita/ponto 221/71 de 13/09/1989, composição colorida das bandas 3,4 e 5. ....	14
Figura 3: Fluxograma das etapas de empilhamento de bandas, correção atmosférica e componente principal. ....	15
Figura 4: Perfil horizontal dos componentes. ....	16
Figura 5: Árvore de decisão utilizada para classificar as imagens. ....	17
Figura 6: Área em hectares afetada por incêndios entre os anos de 1987 a 2017. ....	19
Figura 7: Recorrência do fogo no DF entre os anos de 1987 a 2017. ....	23

## ÍNDICES DE TABELAS

Tabela 1: Base de dados de imagens Landsat que recobrem todo o território do Distrito Federal .....	13
Tabela 2: Valores utilizados na árvore de decisão. ....	17
Tabela 3: Frequência da ocorrência do fogo para as Unidades de Conservação.....	20
Tabela 4 : Frequência da ocorrência do fogo no Distrito Federal entre 1987 e 2017. ....	22

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA - Área de Proteção Ambiental

CBMDF- Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

CPMA/DF- Companhia de Polícia Militar Ambiental do Distrito Federal

DF- Distrito Federal

ESECAE - Estação Ecológica de Águas Emendadas

FAL-UnB- Fazenda Água Limpa

FLONA- Floresta Nacional de Brasília

IBRAM- Instituto Brasília Ambiental

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JBB- Jardim Botânico de Brasília

PNB/ICMBio- Parque Nacional de Brasília / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

PCA - *Principal Component Analysis*

Prevfogo/Ibama- Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais

RBC- Reserva Biológica da Contagem

SNUC- Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

SUSDEC- Subsecretaria do Sistema de Defesa Civil

UC - Unidade de Conservação



## 1. INTRODUÇÃO

O termo Cerrado é comumente utilizado para designar o conjunto de ecossistemas (savanas, matas, campos e matas de galeria) que ocorrem no Brasil Central (EITEN, 1977; RIBEIRO et al., 1981). As transformações ocorridas nesse bioma conduziram grandes danos ambientais como fragmentação de habitats, extinção da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, degradação de ecossistemas, alterações nos regimes de queimadas, desequilíbrios no ciclo do carbono e possivelmente modificações climáticas regionais (KLINK et al., 2005).

As condições climáticas na região do Cerrado brasileiro são favoráveis a ocorrência e propagação do fogo. O clima dessa região é estacional, o período chuvoso, tem a duração de outubro a março, é seguido por um período seco, de abril a setembro. A precipitação média anual é de 1.500 mm e as temperaturas são geralmente amenas ao longo do ano, entre 22° C e 27° C em média (KLINK et al., 2005).

O fogo tem seus efeitos negativos para a vegetação do cerrado, dependendo da sua frequência e intensidade. Entre os efeitos adversos de queimadas frequentes no cerrado, já foi observado o baixo recrutamento de espécies lenhosas, cujas consequências foram a redução na densidade arbórea e a diminuição da diversidade de espécies (SAMBUICHI, 1991).

Entretanto, incêndios florestais podem enriquecer a vegetação, quando o fogo é utilizado de forma controlada, esse atua como técnicas de manejo (exemplo-controle de pragas), sendo uma alternativa barata e perigosa. Efeitos negativos de incêndios é que geram prejuízos econômicos e paisagísticos, ecológicos, podendo ocorrer em Unidades de Conservação, áreas de preservação, fazendas, margens de estradas, proximidades de aglomerados urbanos e áreas de reflorestamento, dentre outras localidades (FIEDLER et al., 2006).

Para atuar diretamente na prevenção de incêndios, os dados de Sensoriamento Remoto podem ser utilizados para o monitoramento de alvos na superfície terrestre em tempo real. Sendo esse monitoramento sem o contato físico com o objeto (ELACHI, 1987). Para isso, são usados sensores que estão acoplados em satélites, que adquirem imagens periodicamente, possibilitando a detecção de focos de incêndios.

O Brasil investe em tecnologias que permitem o monitoramento e controle de focos de calor, sendo possível o combate as queimadas. Um exemplo dessas tecnologias é o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que fornece dados em tempo real

de focos de calor nas últimas horas com base em seus satélites (GRANEMANN et al., 2009). As imagens disponibilizadas nessa plataforma são de acesso livre e com base nelas é possível analisar incêndios que ocorrem em todo o país.

No Distrito Federal existe o Plano de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, instituído pelo Decreto nº 17.431, de 11 de junho de 1996. Esse plano tem por objetivo estabelecer ações preventivas e de combate aos incêndios florestais no Cerrado que se caracteriza por longos períodos de estiagem. A gestão desse plano é feita pelo Grupo de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais no Distrito Federal sendo que o órgão responsável pela coordenação do plano é a Secretaria do Meio Ambiente do Distrito Federal; e os órgãos executores são CBMDF, IBRAM, Susdec, CPMA/DF, Prevfogo/Ibama, PNB, JBB, Reserva Ecológica do IBGE, FAL-UnB e Estação Ecológica de Águas Emendadas.

Juntos, os avanços das tecnologias de satélites e a legislação ambiental, tornam possível o monitoramento de incêndios, aprimorando estudos relacionados a essa área de interesse e permitindo que áreas isoladas e de difícil acesso sejam monitoradas e controladas. No presente estudo, buscou-se entender variação espaço-temporal da ocorrência dos incêndios florestais no Distrito Federal entre 1987 e 2017, utilizando imagens dos satélites Landsat-5, 7 e 8, com enfoque especial nos incêndios ocorridos dentro de áreas protegidas. Os resultados deste estudo contribuem para a definição de estratégias de prevenção e combate aos incêndios florestais no Distrito Federal, ampliando o conhecimento sobre as áreas atingidas por fogo na região de estudo.

## **2. PROBLEMAS DE PESQUISA**

Os incêndios florestais ocorrem no Distrito Federal com alta frequência nos períodos secos de todos os anos devido às condições climáticas e ambientais favoráveis à ocorrência e propagação do fogo. A maioria dos incêndios são provocados pela ação do homem. Embora seja um problema socioambiental relevante e recorrente, pouco se conhece, de forma sistemática, da série temporal das áreas afetadas por fogo no Distrito Federal. A ocorrência temporal das áreas afetadas pelo fogo é crucial para o entendimento técnico-científico do fenômeno, que pode subsidiar a definição de estratégias de prevenção e combate aos incêndios florestais no futuro na área de estudo. Diante desta problemática, tomou-se as seguintes questões como norteadoras desta pesquisa: Qual a área afetada por incêndios florestais no Distrito Federal entre 1987 a 2017? Onde estão localizadas as áreas com maior frequência de

ocorrência do fogo? Quais as Unidades de Conservação mais atingida por fogo no período de análise?

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Buscou-se com esta pesquisa identificar as áreas afetadas por fogo nos últimos 30 anos no Distrito Federal e analisar os fatores que contribuíram para sua ocorrência e propagação.

#### **3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Avaliar a metodologia de detecção de cicatrizes do fogo na vegetação no Distrito Federal;
- Detectar as áreas atingidas por fogo no Distrito Federal utilizando dados de sensores remotos;
- Avaliar as variáveis climáticas de maior efeito na ocorrência do fogo;
- Estimar as áreas impactadas por fogo dentro das principais Unidades de Conservação.

### **4. JUSTIFICATIVA**

As transformações ocorridas no Cerrado nos últimos anos geram grandes danos ambientais como fragmentação de habitats, erosão dos solos, poluição de aquíferos e degradação de ecossistemas. Essas mudanças ocorridas nesse bioma afetam diretamente o ser humano, sendo assim são necessárias ações políticas em defesa do Cerrado e a geração de pesquisas.

O proposto trabalho é um estudo complementar a série temporal do trabalho de pesquisa realizado por Camila Valéria, ex-aluna do Departamento de Engenharia Florestal da UNB, que mapeou os incêndios florestais ocorridos entre os anos de 1999 e 2010, ampliando a série temporal para o período de 1987 a 2017.

A partir desta nova base de dados, será possível entender melhor os fatores que mais influenciaram na ocorrência do fogo na vegetação do cerrado e como o fogo atingiu as Unidades de Conservação no período de estudo, possibilitando a definição de estratégias de prevenção, monitoramento e combate aos incêndios florestais na região.

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 IMAGENS DE SATÉLITE

Sensoriamento remoto é definido como um conjunto de instrumentos e técnicas empregados na aquisição e medidas de alvos terrestres sem o contato direto com esses alvos (NASA, 2016). Os dados obtidos por esses sensores podem ser utilizados, para o estudo de urbanização, meteorologia e monitoramento de bacias hidrográficas, solos, geologia e vegetação. Para o mapeamento e monitoramento são utilizadas bandas espectrais, as mais utilizadas são as que cobrem as faixas do visível (azul, verde e vermelho) e do infravermelho (próximo e médio) (FAGUNDES, 1987).

O sensoriamento é uma técnica muito utilizada em pesquisas na atualidade, mas ela procede desde à corrida espacial com a teorias de eletromagnetismo, o aprimoramento da aerofotografia, desenvolvimento de radares e de sensores infravermelhos. Foi nesse período, a partir de 1960, que foram desenvolvidos foguetes lançadores de satélites, o que possibilitou colocar no espaço satélites artificiais para várias finalidades. O primeiro desses satélites meteorológicos foi o TIROS-1 (*Television IR Operational Satellite*), lançado em 1960 pelos Estados Unidos (MENESES et al., 2012).

Em 1970 o Brasil utilizou as atividades de sensoriamento remoto para o levantamento dos recursos naturais da Amazônia na região do médio Tapajós. Esse projeto foi chamado de RADAMBRASIL (BRASIL, 1975), que incluiu o levantamento em todo território nacional.

Dados de sensoriamento remoto são os mais indicados para monitorar mudanças espaciais e temporais sobre áreas relativamente extensas (SKOLE et al., 1994). O monitoramento da ocupação dos solos do Cerrado é um dos mais difíceis de serem obtidos, principalmente pelo seu tamanho, pela acentuada sazonalidade das suas principais fitofisionomias, pelo rápido avanço das atividades agrícolas em algumas das suas regiões, pela elevada diversidade vegetal e pela confusão espectral entre algumas classes de uso antrópico e de vegetação natural (SANO et al., 2005).

As técnicas de pré-processamento são assim denominadas porque elas não visam transformações das imagens, as quais têm, como principal objetivo, melhorar a qualidade visual da cena. A ordem da correção das imagens vai ser dependente dos objetivos do trabalho, podendo iniciar pela correção radiométrica, atmosférica ou geométrica (MENESES et al., 2012).

## **5.2 SATÉLITE LANDSAT: SENSOR TM, ETM+ E OLI**

O programa Landsat representou no século XX uma modelagem para recursos naturais, principalmente porque permitiu incorporar, características requeridas pelos usuários dos dados. No Brasil esse programa foi de fundamental importância, pois possibilitou consolidar e capacitar uma ampla comunidade de usuários (MORAES, 2008).

De acordo com Novo (2008), o sensor TM foi um sistema avançado de varredura multiespectral, na época em que o satélite foi lançado pela primeira vez, há um quarto de século. Ele foi concebido para proporcionar as seguintes características: resolução espacial fina, melhor discriminação espectral entre objetos da superfície terrestre, maior fidelidade geométrica e melhor precisão radiométrica em relação ao sensor MSS. As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 geram imagens nas faixas do visível, infravermelho próximo e médio, e têm resolução espacial de 30 metros. A banda 6 é a do infravermelho termal e tem resolução espacial de 120 metros (VINAGRE, 2015).

O sensor ETM+ foi lançado a bordo do Landsat 7, oferecendo a versatilidade e eficiência obtidas nas versões anteriores. Conseguiu melhorar a acurácia do sistema, manteve os mesmos intervalos espectrais e ampliou a resolução da banda 6 (infravermelho termal) para 60 metros (NASA, 2017).

O sensor OLI dará continuidade aos produtos dos sensores TM e ETM+ além de incluir duas novas bandas espectrais, a primeira para estudos de áreas costeiras e a outra para a detecção de nuvens do tipo *cirrus* (NASA, 2017). OLI gera 9 bandas espectrais, sendo as bandas 1, 2, 3 e 4 nas faixas do visível, as 5, 6 e 7 nas faixas do infravermelho próximo e médio (VINAGRE, 2015).

## **5.3 CERRADO EM RELAÇÃO AOS INCÊNDIOS E A OCUPAÇÃO URBANA**

O Cerrado é um dos biomas mais ameaçados devido ao uso alternativo do solo, como desmatamento e incêndios florestais, ocasionando alteração na paisagem, fragmentação dos habitats, extinção de espécies, invasão de espécies exóticas e podendo levar à erosão dos solos, à poluição dos aquíferos, ao assoreamento dos rios e ao desequilíbrio no ciclo de carbono, entre outros prejuízos (BRASIL, 2011).

O fogo é um processo ecológico que atua na composição e ciclagem de nutrientes (KAUFFMAN et al., 1994) e vem atuando nesse bioma de forma negativa, como por exemplo gerando impactos no solo, na produtividade e nos ciclos hidrológicos.

O fogo no Cerrado ocorre em períodos secos e em curtos intervalos de tempo. Esse comportamento resulta em fitofisionomias mais abertas, em consequência das altas taxas de mortalidade, alterações nas taxas de recrutamento e consequente no favorecimento da vegetação rasteira (MIRANDA e SATO, 2005).

O Distrito Federal (DF) vem passando por um intenso processo de urbanização, pela implantação de atividades agrícolas e outras atividades econômicas que levam a degradação do solo desse bioma. O DF tem sérios problemas de uso e ocupação do solo, devido ao ordenamento territorial sem rigor e isso agrava o acirramento dos conflitos socioambientais e legais (UNESCO, 2003).

Com essa ocupação desordenada, a ocorrência de grandes incêndios pode ser considerada uma grave ameaça para a conservação da biodiversidade e manutenção de processos ecológicos. Esses incêndios são particularmente graves para áreas pequenas, em ecossistemas muito sensíveis ao fogo, áreas isoladas por cidades ou monoculturas agrícolas e áreas com espécies raras e/ou ameaçadas de extinção. Nessas áreas, há maior possibilidade de grandes incêndios comprometerem a manutenção de populações de algumas espécies (MEDEIROS et al., 2004).

#### **5.4 DANOS, CAUSAS E FREQUÊNCIA DE INCÊNDIOS NO DISTRITO FEDERAL**

O fogo no Cerrado é bem anterior à presença do ser humano nesse bioma (CONSTANTINO, 2013). Contudo, com o decorrer dos anos foram ocorrendo incêndios devido a ação humana que causam prejuízos ao meio ambiente.

Entre os danos causados pelo fogo estão os prejuízos causados na vegetação do Cerrado. Entre os efeitos adversos de queimadas frequentes no cerrado, já foram observados o baixo recrutamento de espécies lenhosas, cujas consequências foram a redução na densidade arbórea, o aumento do entouceiramento e a diminuição da diversidade de espécies (SAMBUICHI, 1991).

Existem dois fatores necessários a causar um incêndio. O primeiro é a fonte de ignição e o segundo são as condições favoráveis de propagação (LAGARES, 2006). Esses dois fatores possibilitam avaliar o potencial de risco de incêndios de uma região, permitindo estabelecer potencialmente aonde e como o fogo vai se propagar.

A frequência de incêndios no Distrito Federal depende das estações secas, que normalmente são de julho a setembro. Atualmente, devido a ação antrópica essa frequência de fogo no Cerrado é também verificada em épocas de chuvas.

## **5.5 PROGRAMAS DE MONITORAMENTO E PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS NO BRASIL**

No Brasil, o sistema de monitoramento de queimadas via sensoriamento remoto iniciou em 1987 com a implementação do projeto Sensoriamento Remoto de Queimadas por Satélite (SEQE), desde então, o sistema de detecção de incêndios florestais vem sendo aperfeiçoado pelo INPE (Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais).

O INPE também realiza monitoramento de incêndios através do Programa Queimadas. No próprio site do Instituto pode-se obter informações em tempo real dos principais focos de calor detectados nas últimas horas, áreas queimadas e monitoramento de focos nas áreas de APP (Áreas de Proteção Ambiental).

O governo federal criou através do Decreto nº. 97.635, o Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais - PREVFOGO, no dia 10 de abril de 1989, que atribui ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) a missão de coordenar ações necessárias à organização, implementação e operacionalização das atividades com a educação, pesquisa, prevenção, controle e combate aos incêndios florestais e queimadas (RAMOS, 1995).

No ano de 2001, o Prevfogo/Ibama foi elevado à categoria de Centro Especializado em Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais dentro da estrutura do Ibama, com autonomia técnica administrativa e financeira, e deu início a um programa de remuneração dos serviços de brigadistas, garantido assim uma atividade de prevenção permanente nas Unidades de Conservação nos períodos críticos de ocorrências de incêndios florestais (MORAIS, 2004).

Na região Amazônica o monitoramento de incêndios é feito pelo Programa de Prevenção e Controle às Queimadas e aos Incêndios Florestais no Arco do Desflorestamento (PROARCO). Esse monitoramento se deve a queimadas descontroladas ocorridas no sul da Amazônia em 1997 e em 1998 em Roraima (GONÇALVES, et al., 2012).

No Distrito Federal existe o Plano de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais, em vigor desde 1996, este é voltado para a prevenção e combate aos incêndios florestais

na estação seca, de maio a outubro de cada ano. Os objetivos do plano são: proteger contra incêndios florestais prioritariamente as UC, os recursos naturais nelas existentes, integrar, coordenar e articular as ações preventivas e de combate aos incêndios florestais e promover a participação e integração da comunidade nas ações do Plano (GDF, 1996).

## **5.6 CICATRIZES DE FOGO**

No estudo de queimadas com dados orbitais há duas abordagens, a primeira detecta o fogo ativo e a outra identifica-se cicatrizes de queimadas (FRANÇA, 2000). Cicatrizes de queimadas não apresentam o que se costuma chamar de assinatura espectral, que permite identificá-las facilmente, de modo automatizado, nas imagens de sensoriamento remoto (TATAGIBA, 2010).

Um dos primeiros trabalhos de mapeamento de cicatriz do fogo tiveram origem com o satélite Landsat-1 em 1972 (LOMBARDI, 2003). Ao longo dos anos foi possível observar os avanços de trabalhos relacionando com imagens de satélite para a detecção de focos de incêndios. Trabalhos como o de Pereira e Setzer (1993) analisaram cicatrizes de fogo nas bandas 5 do sensor TM/ Landsat e na banda 7, em que foi possível detectar os fogos ativos e as frentes de fogo presentes na imagem, os quais não puderam ser detectados por nenhuma outra banda do sensor TM/Landsat.

Sensores como o TM e o ETM se mostraram grande aplicabilidade no mapeamento de queimadas (TATAGIBA, 2010). O uso de dados de sensores de alta resolução espacial e temporal é muito útil para estimar áreas queimadas em regiões pequenas (FRANÇA, 2000).

## **5.7 ANÁLISE POR COMPONENTE PRINCIPAL E ÁRVORE DE DECISÃO**

A análise de componentes principais (PCA) é uma técnica estatística que transforma um conjunto de dados multivariados de variáveis correlacionadas em um conjunto de novas variáveis não correlacionadas que são combinações lineares das imagens iniciais (SCHNEIDER, et al., 2003). As técnicas de análise multivariada permitem simplificar e organizar o montante de dados levantados (OLIVEIRA et al., 2007).

A PCA pode ser resumida em três passos (RICHARDS, 1986): derivação da matriz de correlação ou de variância-covariância, cálculo dos autovetores e autovalores e transformação linear do conjunto de dados. Esse método transforma o conjunto de



variáveis por uma combinação linear em atributos descorrelacionados e ordenados de forma a diminuir a variabilidade (OLIVEIRA et al., 2007).

O pesquisador australiano, Ross Quinlan desenvolveu a denominada árvore de decisão. Esse método pode ser empregado por exemplo para a área ambiental como detecção de incêndios ou até mesmo para mineração e na área da saúde como banco de dados do Serviço de Transplante de Medula Óssea. Árvore de decisão são representações simples do conhecimento e um meio eficiente de construir classificadores que predizem classes baseadas nos valores de atributos de um conjunto de dados (SHIBA et al., 2005).

Esse método possui a vantagem de que faz decisões levando em consideração as regras que são mais relevantes, além de ser um método de fácil compreensão. Suas desvantagens é que possui pouca robustez a dados de grande dimensão, sua exatidão é afetada por atributos pouco relevantes e alguns algoritmos ainda tem dificuldade em lidar com dados contínuos (SIMÕES, 2008).

## **6. METODOLOGIA**

### **6.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área do presente estudo inclui todo o território do Distrito Federal (Figura 1). O Distrito Federal envolve a área total de 5.779,997 km<sup>2</sup>, apresentando clima marcado por uma forte sazonalidade, com dois períodos que compreendem entre maio e setembro com baixa taxa de precipitação e entre dezembro a março que correspondem a 47% da precipitação anual (CAMPOS, 2004). A precipitação média anual é de 1.500 mm, com uma distribuição irregular, onde as menores alturas pluviométricas anuais ocorrem na porção leste (BAPTISTA, 1998).

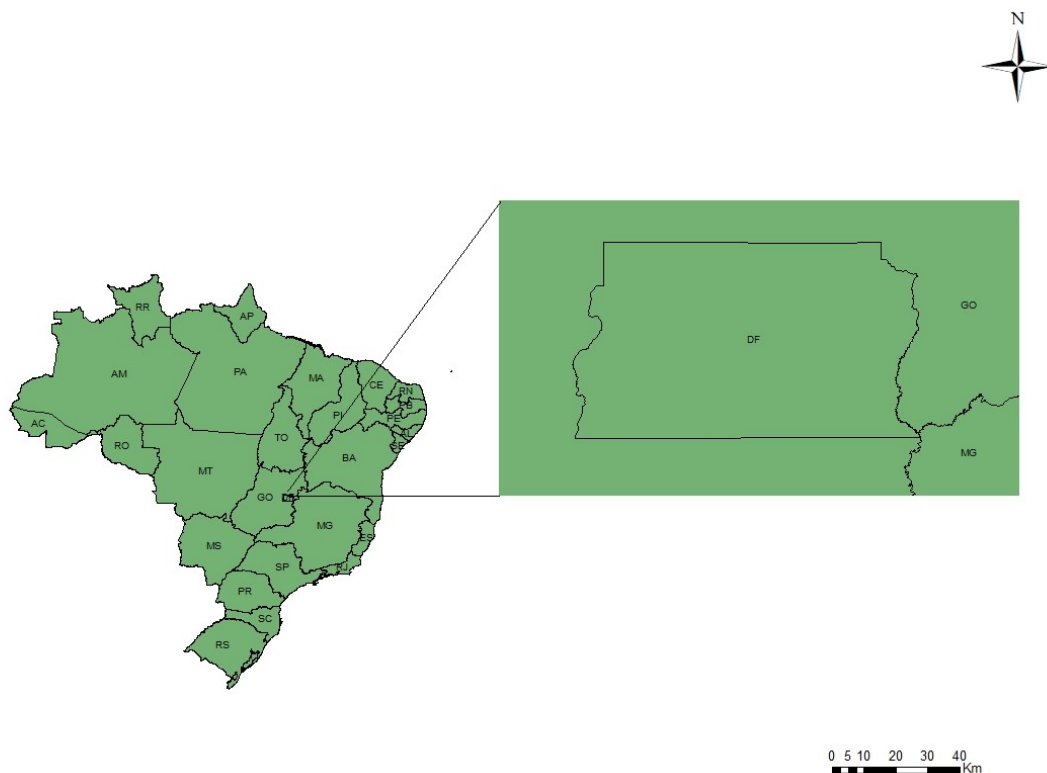


Figura 1: Localização da área de estudo (Distrito Federal) no Brasil.

A área deste estudo está localizada no Centro Oeste Brasileiro, sua vegetação é de porte médio com altura entre 15 a 25 m. Compreende uma larga variedade de fisionomias savânicas como matas de galeria que desenvolvem ao longo dos rios e matas secas sobre solos mais ricos (UNESCO, 2002).

A vegetação do cerrado já está adaptada a um regime de queima, pois esse fator estimula a floração e a germinação de sementes e as raízes estão adaptadas a busca de água em regiões profundas. Porém, com a desordenada ocupação de áreas com vegetação nativa para a construção de centros urbanos e expansão agropecuária esse bioma encontra-se ameaçado.

### **6.1.1 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO DISTRITO FEDERAL**

No Distrito Federal, a maioria dos incêndios florestais ocorrem dentro de unidades de conservação (UC). As UC's são mais propensas ao fogo por estarem próximas de aglomerados urbanos e quando isso ocorre gera diversos prejuízos a flora e a fauna. As principais unidades de conservação do Distrito Federal com grandes extensões e com mais risco de incêndios são: são o Parque Nacional de Brasília, APA (Área de Proteção

Ambiental) Gama e Cabeça de Veado, Estação Ecológica de Águas Emendadas, Floresta Nacional de Brasília (FLONA), Reserva Biológica da Contagem e reservas científicas que pertencem à Universidade de Brasília, ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e ao Jardim Botânico.

O Parque Nacional de Brasília se enquadra na categoria de Unidade de Conservação de Proteção Integral, prevista pelo SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação). Situado entre as coordenadas E 168.595 e 191.147 e N 8.275.503 e 8.252.825 do fuso UTM 23, localizando-se dentro dos limites do Distrito Federal, na Região Administrativa de Brasília.

A Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE) possui uma área total de aproximadamente 10.500 hectares, localiza-se em Planaltina, na porção nordeste do Distrito Federal e abriga as nascentes de afluentes das bacias Amazônica e Platina. A ESECAE abriga muita das fitofisionomias presentes no Cerrado, entre elas as formações campestres (campo limpo e cerrado), cerrado *sensu stricto*, matas de galerias e veredas (RIBEIRO e FILHO, 2005).

A Floresta Nacional de Brasília (FLONA), abrange uma área total de aproximadamente 9.346 hectares localizada na região noroeste do Distrito Federal. A vegetação nativa era típica do bioma Cerrado, no entanto, ao longo das últimas três décadas, mais de 40% da área foi convertida em plantios homogêneos de *Pinus* sp e *Eucalyptus* sp. Ainda hoje há predominância de reflorestamento, muito embora estejam abandonados, sem manejo e destinação (GONÇALVES, 2007).

A Reserva Biológica da Contagem (RBC), com uma área de 3.449 hectares é uma UC de proteção integral, da esfera federal, administrada pelo ICMBio (SHIRAIISHI, 2011). A área da RBC é totalmente sobreposta à APA do Planalto Central e à APA da Cafuringa. Na APA de Cafuringa, as centenas de cursos d'água existentes percorrem pequenos trechos em área plana, para em seguida despencarem escarpa abaixo por entre os paredões rochosos, onde se localizam as mais belas cachoeiras do DF; e logo abaixo das escarpas, os cursos d'água ainda estreitos percorrem regiões intermediárias entre as escarpas e as áreas mais planas, para se juntarem e formarem outros cursos d'água maiores e mais largos no Vale do Rio Maranhão (FORTES et al., 2007).

A Fazenda Água Limpa (FAL), de propriedade da Universidade de Brasília, no Distrito Federal, faz parte da Área de Proteção Ambiental (APA), Bacia do Gama, Cabeça de Veado. Possui uma área de aproximadamente 4.340 hectares, destinada a preservação (2.340 ha), conservação (800 ha) e produção (1.200 ha). O clima da região é do tipo Aw,

segundo a classificação de Köppen, com temperatura máxima de 28,5 °C e mínima de 12 °C. A umidade relativa entre maio e setembro fica abaixo de 70% e a umidade mínima ocorre em agosto, com uma média de 47%, podendo cair para 15% nos períodos mais secos. A precipitação média anual é de 1.600 mm, com uma pronunciada estação seca de junho a setembro (FIEDLER et al., 2006).

A Reserva Ecológica do IBGE (RECOR) ocupa 1300 hectares em altitudes variáveis entre 1048 e 1160 m. A área esteve protegida do fogo e outros grandes distúrbios por cerca de 20 anos (PEREIRA et al., 1989, 1993). O córrego do Pitoco nasce na RECOR e contribui para a microbacia dos córregos do Gama, que por sua vez deságua no Lago Paranoá, compondo a bacia do rio São Bartolomeu, integrante da bacia do rio Paraná (JÚNIOR, 2005).

O Jardim Botânico de Brasília é importante na preservação do Distrito Federal, pois abriga extensões consideráveis de muitas das fisionomias do Cerrado (FONSECA et al., 2004). Esse, com a Reserva Ecológica do IBGE e a Fazenda Água Limpa, tem uma área de aproximadamente 10.000 hectares na porção sudeste de Brasília, que compõe a Área de Proteção Ambiental (APA) do Gama Cabeça de Veado e a Reserva da Biosfera do Cerrado, uma das últimas áreas contínuas que compõem os cerca de 46% de vegetação nativa remanescente no DF (UNESCO, 2002).

## **6.2 BASE DE DADOS**

Para o presente estudo, foram utilizadas imagens dos satélites da série Landsat adquiridas entre 1987 a 2017. A órbita/ponto 221/071 definida pelo *World Reference System II* para os satélites Landsat-5, Landsat-7 e Landsat-8, sensores TM, ETM+ e OLI, respectivamente, que recobre toda a área de estudo, foi utilizada neste estudo. Mais detalhes das imagens, satélites e sensores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Base de dados de imagens Landsat que recobrem todo o território do Distrito Federal

Satélite	Sensor	Data de Aquisição
LANDSAT 5	TM	06/07/1987
LANDSAT 5	TM	09/08/1988
LANDSAT 5	TM	13/09/1989
LANDSAT 5	TM	30/07/1990
LANDSAT 5	TM	02/08/1991
LANDSAT 5	TM	21/09/1992
LANDSAT 5	TM	08/09/1993
LANDSAT 5	TM	13/10/1994
LANDSAT 5	TM	16/10/1995
LANDSAT 5	TM	14/07/1996
LANDSAT 5	TM	03/09/1997
LANDSAT 5	TM	06/09/1998
LANDSAT 5	TM	08/08/1999
LANDSAT 5	TM	26/08/2000
LANDSAT 7	ETM+	21/08/2001
LANDSAT 7	ETM+	11/10/2002
LANDSAT 5	TM	18/07/2003
LANDSAT 5	TM	22/09/2004
LANDSAT 5	TM	09/09/2005
LANDSAT 5	TM	12/09/2006
LANDSAT 5	TM	30/08/2007
LANDSAT 5	TM	01/09/2008
LANDSAT 5	TM	19/08/2009
LANDSAT 5	TM	23/09/2010
LANDSAT 5	TM	10/09/2011
LANDSAT 8	OLI	15/09/2013
LANDSAT 8	OLI	04/10/2014
LANDSAT 8	OLI	21/09/2015
LANDSAT 8	OLI	07/09/2016
LANDSAT 8	OLI	12/10/2017

O satélite Landsat-5, sensor TM (*Thematic Mapper*) utilizado no presente estudo, tem resolução espacial de 30 metros e está inativo desde 2011. O satélite Landsat-7, sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*) com resolução espacial de 30 m está ativo desde 1999, mas apresenta um problema no sistema de varredura que vem causando falhas nas imagens a partir de 2003. Já o satélite Landsat-8, sensor OLI (*Operational Land Imager*) se encontra ativo desde 2013 e tem resolução espacial de 30 nas bandas multiespectrais. Não foram encontradas imagens Landsat disponíveis para 2012. A Figura 2 é um exemplo da imagem utilizada para o presente estudo.



Figura 2: Exemplo de imagem utilizada para o presente trabalho. Imagem Landsat-5 TM, órbita/ponto 221/71, adquirida em 13/09/1989, composição colorida das bandas RGB 3/4/5.

As imagens foram selecionadas entre os meses de agosto a outubro, pois são os meses que menos chovem no Distrito Federal, com maior probabilidade de ocorrência de incêndios florestais e com menor cobertura de nuvens.

## 6.3 MÉTODOS DE GEOPROCESSAMENTO

### 6.3.1 Correção atmosférica

A correção atmosférica consistiu no empilhamento das bandas das imagens baixadas no INPE utilizando o programa ENVI 4.5 ®. Para o Landsat 5, 7 e 8 foram utilizadas as bandas 1 a 5 e a 7 que corresponde as faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Após o empilhamento foi necessário fazer a correção atmosférica (correção radiométrica), esse processo consiste em amenizar os efeitos atmosféricos nas imagens.

Devido a fenômenos como espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética a atmosfera afeta a radiância refletida pela superfície que é captada pelo sensor e assim causa efeitos nas imagens orbitais como a diminuição da faixa de valores digitais registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies e alteração do brilho de cada ponto da imagem (WEISS et al., 2015). A correção dos efeitos atmosféricos

é importante nos casos em que o usuário deseja conhecer as grandezas radiométricas dos diferentes alvos, para efeito de comparação e quando se pretende realizar comparações de imagens de diferentes períodos (NOVO,2008) como foi o caso do seguinte trabalho.

A qualidade das informações contidas nas imagens foi possível com a correção, essa é uma etapa importante para processos de análise temporal pois são considerados dados ao longo de anos.

### 6.3.2 Componente principal

Na etapa seguinte foram utilizadas as imagens já corrigidas para realizar o componente principal (Figura 3). A ACP é um método estatístico para analisar dados multivariados, em que são removidas as correlações entre as bandas. Essa etapa é importante pois isola componentes de ruído e reduz a dimensionalidade de ruído de dados.

A nova imagem gerada é composta por componentes principais e as bandas originais são chamadas de bandas CP, a mesma quantidade de bandas de entradas será a de saída. De acordo Silva (2011) a primeira CP1 tem maior variância seguindo assim uma ordem decrescente até chegar o último componente, onde este tem a menor variância e apresenta mais ruídos. Essa técnica quando empregada torna-se mais produtiva, rápida e eficiente o modo como se analisa as imagens.

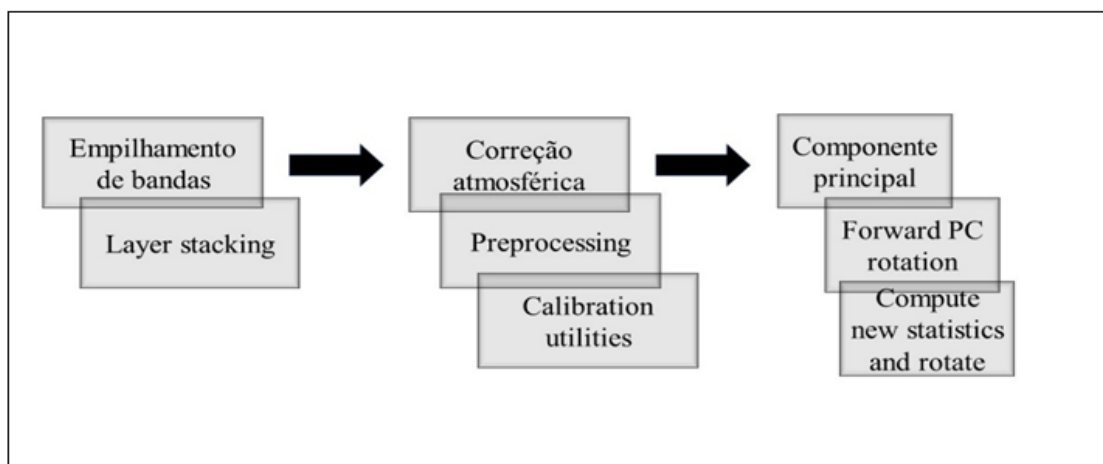


Figura 3: Fluxo das etapas pré-processamento e processamento das imagens.

### 6.3.3 Perfil horizontal

Para utilização das bandas Componente Principal (CP), que relacionavam as queimadas, foram feitos ajustes que melhor identificavam esse tipo de feição. Após esses ajustes foi estabelecida a seguinte combinação para a composição de bandas RGB (vermelho, verde e azul):

- Red: PC banda 1;
- Green: PC banda 2;
- Blue: PC banda 5.

Com a composição de bandas foi possível fazer a análise do perfil horizontal (Figura 4) da imagem para áreas queimadas, sendo que cada componente representa uma linha do gráfico. Os valores mostrados no perfil horizontal no eixo das ordenadas, são importantes para a construção da árvore de decisão.

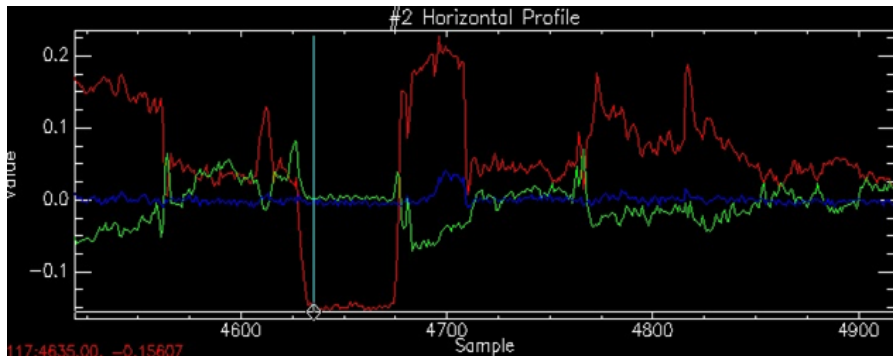


Figura 4: Perfil horizontal dos componentes principais PC1(vermelho), PC2 (verde) e PC5 (azul).

#### 6.3.4 Árvore de decisão

A árvore de decisão (Figura 5) foi usada com base nos valores do perfil horizontal, ela representa a disjunção de conjunções de restrições nos valores dos atributos. A sua construção envolve a escolha de um atributo e adicionado um ramo para cada valor de atributo com base na composição de bandas RGB realizada no perfil horizontal.

Essa técnica executa classificações através de um processamento de multi-etapas usando uma série de decisões binárias para alocação de pixels. Cada decisão separa pixels, pertencentes à um arranjo de imagens, dentro de duas classes chamadas de nó, baseadas numa determinada expressão.

Uma árvore é composta por nó que representa todos os dados, *split* que é o conjunto de todos os nós internos e *leaves* que são os nós-terminais caracterizados por não possuírem nó descendente. A árvore é dividida em dois nós descentes: um do lado esquerdo, quando satisfazem o teste lógico e o nó direito, quando não satisfaz o teste e assim segue até o próximo nó.



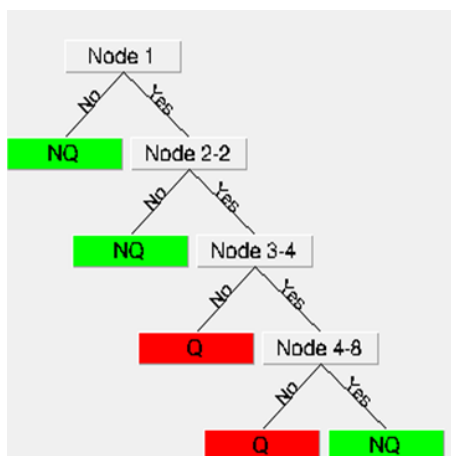


Figura 5: Árvore de decisão utilizada para classificar as imagens.

Com base nos valores colocados em cada atributo da árvore foi possível saber se ocorreu incêndio ou não para a área analisada. Para o seguinte trabalho foram analisadas até o nó 3, onde foi possível analisar as áreas queimadas, utilizando algoritmos com valores ajustados para cada imagem (Tabela 2).

Tabela 2: Valores utilizados na árvore de decisão.

ANO	PC1	PC2	PC5
1987	< 0.02	< -0.01	< -0.05
1988	< 0.05	< -0.01	< 0.005
1989	< 0.05	< 0.02	< 0.005
1990	< -0.01	< 0.01	< 0.005
1991	< 0.05	< -0.01	< 0.005
1992	< 0.01	< -0.001	< 0.005
1993	< 0.05	< 0.02	< -0.01
1994	< 0.05	< -0.001	> 0.005
1995	< 0.05	< -0.01	> 0.005
1996	< 0.03	< -0.001	< 0.005
1997	< 0.03	< -0.01	< 0.005
1998	< -0.03	< -0.005	< 0.01
1999	< 0.01	< -0.01	< 0.005
2000	< -0.005	< -0.01	< 0.001
2001	< 0.05	< -0.01	< 0.005
2002	< 0.05	< -0.03	< 0.01
2003	< 0.05	< -0.01	< 0.005
2004	< -0.01	< -0.01	< 0.005
2005	< 0.03	< -0.01	> 0.05
2006	< 0.03	< -0.03	< 0.005
2007	< -0.01	< -0.01	> 0.005
2008	< -0.005	< -0.03	< 0.01
2009	< 0.007	< -0.006	< 0.005
2010	< -0.01	< -0.02	< 0.005
2011	< -0.1	< 0.0	< 0.01
2012	-	-	-
2013	< 0.05	< -0.01	< 0.01
2014	< 0.08	< -0.06	< 0.01
2015	< 0.08	< -0.02	< 0.01
2016	< 0.02	< 0.005	< -0.01
2017	< 0.31	> 0.0	< 0.0

### 6.3.5 Filtragem

A filtragem de uma imagem é considerada a principal operação de manuseamento de características espaciais. Dessa forma, a utilização de filtros, em busca da melhoria da qualidade da imagem, preservação da textura e redução do ruído em questão, são cada vez mais comuns (GONZALEZ e WOODS 1993).

De acordo com Piazza (et al., 2013), apesar da filtragem ser uma das principais operações de manipulação e de muitos filtros terem sido desenvolvidos, a comparação entre eles varia de acordo com o que o intérprete busca identificar, por exemplo, no seguinte trabalho foi estudado cicatrizes de fogo para as imagens analisadas. No presente estudo, a filtragem foi necessária para eliminar pixels isolados que representam erros de classificação. O filtro utilizado foi o suave 3 x 3 do próprio programa ENVI.4.5 ®. As imagens classificadas foram convertidas para arquivos vetores (tiff) em formato de polígonos. Esses polígonos que correspondem as áreas queimadas do DF, foram extraídas e posteriormente calculadas as suas áreas.

### 6.3.6 Correção geométrica

Essa foi a última etapa realizada no software ArcGis 10.2®, sendo a última etapa do método de geoprocessamento. Foi utilizado a ferramenta *georeferencing* para a realização da correção geométrica.

Correção geométrica é o processo pelo qual os elementos das imagens mantem em suas posições planimétricas apropriadas numa projeção cartográfica padrão. Isto facilita o uso da imagem e produtos derivados em sistemas de suporte à decisão espacial (JENSEN, 2009).

As imagens do sensor TM, ETM+ e OLI foram georreferenciadas no sistema de projeção UTM e Datum WGS 84. As imagens foram recortadas utilizando um arquivo vetorial em formato vetorial (*shapefile*) para o limite do Distrito Federal com as mesmas projeções das imagens.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 Áreas afetadas por fogo no Distrito Federal

No presente estudo, foram gerados dados que contribuem para o entendimento da ocorrência e recorrência dos incêndios em todo território do Distrito Federal. As maiores áreas impactadas por fogo no período de estudo no Distrito Federal foram 43.087,77 hectares e 42.808,5 hectares em 1994 e 2017, respectivamente. Os anos com menores

áreas impactadas por fogo no Distrito Federal foram 2002 e 1992, com uma área total queimada de 174,06 e 194,67 hectares, respectivamente (Figura 6).

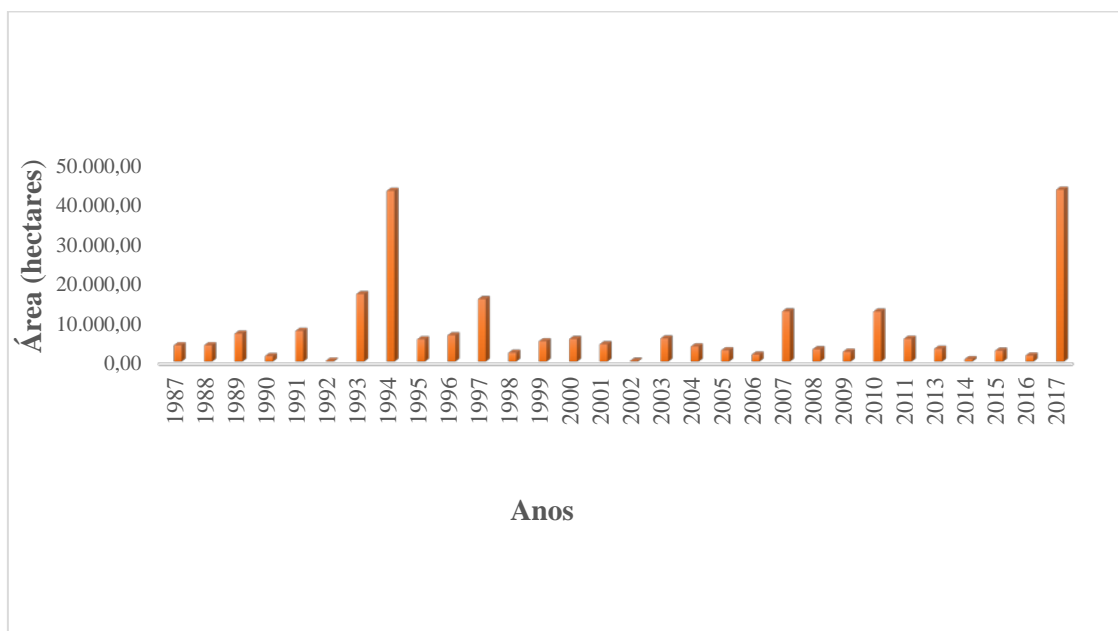


Figura 6: Área em hectares afetada por incêndios entre os anos de 1987 a 2017.

Considerando que em 2017 ocorreu a maior crise hídrica nos últimos 57 anos de história do Distrito Federal, os incêndios florestais podem ter ocorrido devido à baixa precipitação, altas temperaturas e baixa umidade do ar observadas naquele ano. Em 1994, a ocorrência do fenômeno El Niño pode ter sido o principal fator de influência da ocorrência de grandes incêndios na área de estudo. De acordo com Rasmusson et al. (1983), o El Niño teve uma ocorrência moderada entre 1994-1995. Esse fenômeno provoca alterações climáticas que aumentam o potencial de risco de queimadas e incêndios acidentais na cobertura vegetal (Justino et al 2002) e isso pode ser um fator agravante para os incêndios.

## 7.2 Cicatrizes de fogo em Unidades de Conservação

As Unidades de Conservação analisadas na presente pesquisa foram o Parque Nacional de Brasília, a Estação Ecológica de Águas Emendadas, a Floresta Nacional de Brasília, a Reserva Biológica da Contagem e as reservas científicas que pertencem à Universidade de Brasília e ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e ao Jardim Botânico.

No período de estudo, foram identificadas áreas afetadas por incêndios, na escala de zero a nove vezes, considerando áreas que não foram afetadas por fogo (zero) até as áreas em que o fogo se repetiu nove vezes. As UCs com maiores áreas impactadas por

fogo no período de estudo foram o Parque Nacional de Brasília e a Reserva Biológica da Contagem. Estas UC tiveram áreas que foram queimadas 9 vezes ao longo dos 30 anos analisados. A Estação Ecológica de Águas Emendadas foi a que menos vezes queimou no período analisado (Tabela 3).

Poucos estudos reportam a repetição de incêndios em unidades de conservação. Gonçalves et al., (2011) analisou a recorrência de incêndios no Parque Nacional da Chapada Diamantina entre os anos de 1985 e 2010 e essa recorrência apresentou até nove vezes para uma mesma área queimada. França et al., (2007) observou que o Parque Nacional das Emas apresentou áreas atingida sete vezes por fogo entre 1994 e 2003.

O Parque Nacional de Brasília é um dos mais afetados por incêndios (Tabela 3) provavelmente devido a sua localização nas bordas do lixão da Estrutural, onde a prática de queima de lixo é muito frequentemente observada. De acordo com Abdala (2002), o uso público do PNB é inadequado, que resulta em conflitos socioambientais no seu entorno. Assim o controle de incêndios nessa região se torna mais difícil. As causas de a Reserva Biológica da Contagem permanecer entre as que mais vezes queimaram se deve que nessa área a expansão territorial agravou muito ao longo dos anos. De acordo com Shiraishi (2011) a Reserva Biológica da Contagem apresenta conflitos ambientais relacionados ao uso, ocupação e crescimento urbano, assim incêndios nessa região podem ser frequentes. De acordo com essa mesma autora, moradores da Vila Basevi, Grande Colorado e Lago Oeste acessam a RBC frequentemente, através de trilhas de fácil acesso à procura das duas cachoeiras que se encontram nessa reserva: Cachoeira do Buriti e dos Deuses, sendo um ato proibido de acordo com o SNUC, já que reversa biológica não permite visitação.

A ESECAE apresentou a menor frequência de áreas atingidas por fogo no período de estudo. De acordo com Costa (2009), que analisou a ocorrência de incêndios nessa área, as principais causas de incêndios nessa UC se devem a incendiários, queima de pastagens e fagulhas de veículos automotores e queima de lixo (plásticos, papéis, filtros de cigarro ainda acesos) nas margens de rodovias e estradas vicinais que cortam a estação.

Tabela 3: Frequência da ocorrência do fogo para as Unidades de Conservação

Área (hectares)	Frequência da ocorrência do fogo									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>PNB</b>	12.834,70	12.491,13	10.322,43	3.866,89	396,85	57,55	12,49	1,98	0,18	0,09
<b>RBC</b>	2.078,13	849,37	320,26	114,63	23,79	4,27	3,30	1,93	0,18	0,09
<b>ESECAE</b>	4.947,60	2.829,11	844,31	505,07	64,70	0,39	-	-	-	-
<b>FLONA</b>	5.993,50	2.203,81	712,46	262,78	106,61	45,32	24,11	5,34	0,09	-
<b>FAL</b>	539,99	905,04	586,14	287,78	29,01	1,71	0,45	-	-	-
<b>IBGE</b>	141,08	494,87	489,69	109,37	37,25	5,41	1,09	0,18	-	-
<b>Jardim Botânico</b>	562,19	917,72	1.673,44	988,71	167,43	21,30	4,25	0,18	-	-

### 7.3 Frequência de incêndios registradas no Distrito Federal

Em relação a análise da frequência da ocorrência do fogo no Distrito Federal (Tabela 4), observou-se que entre 1987 e 1996 foi o período com a maior área (83.952 hectares) afetada por focos de incêndios (Anexos I, II e III).

Tabela 4: Frequência da ocorrência do fogo no Distrito Federal entre 1987 e 2017 em hectares.

<b>Frequência do fogo</b>	<b>1987-1996</b>	<b>1997-2006</b>	<b>2007-2017</b>	<b>1987-2017</b>
<b>0</b>	482.307	536.632	501.779	416.376
<b>1</b>	83.952	36.599	66.825	104.785
<b>2</b>	10.398	4.400	9.508	38.040
<b>3</b>	1.442	527	524	13.940
<b>4</b>	195	85	51	3.593
<b>5</b>	18	21	1	1.137
<b>6</b>	1	-	-	285
<b>7</b>	-	-	-	59
<b>8</b>	-	-	-	9
<b>9</b>	-	-	-	3
<b>10</b>	-	-	-	-

O maior número de recorrências de incêndios florestais, foi observado em pequenas manchas isoladas em todo o território do Distrito Federal no período deste estudo. A concentrações de maior recorrência do fogo foram observadas em áreas com predomínio de vegetação nativa e dentro de áreas protegidas (PNB, ESECAE) (Figura 7).

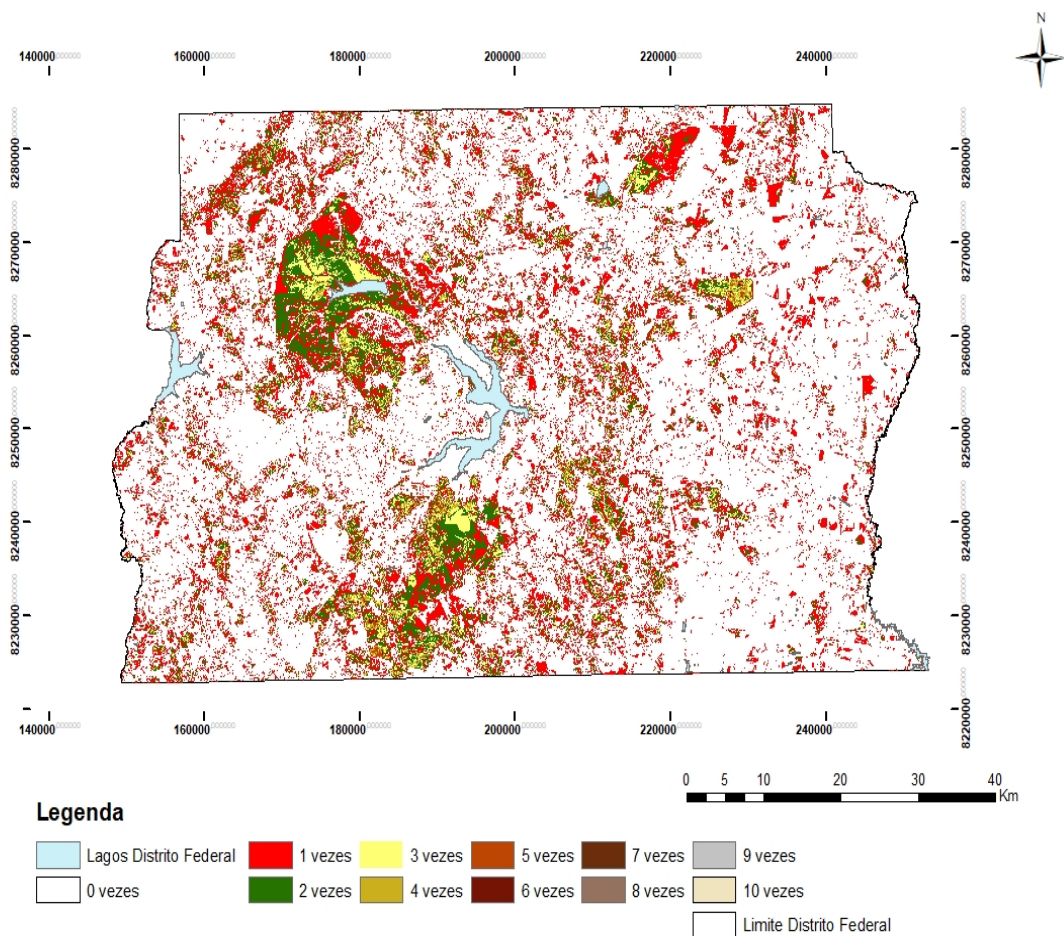


Figura 7: Distribuição da ocorrência e recorrência do fogo no Distrito Federal entre os anos de 1987 a 2017.

Entre 1987 e 2017, vários loteamentos clandestinos e assentamentos urbanos foram implantados no Distrito Federal. De acordo com Souza (2002), os anos 90 foram marcados por loteamentos clandestinos e a ação de grileiros sobre as terras públicas do Distrito Federal. Cerca de 170, 200 e 530 empreendimentos desse tipo foram implantados no Distrito Federal até 1989, 1992 e 1995, respectivamente.

No período de 1988 e 1989, o governo do Distrito Federal utilizou a habitação como medida populista e eleitoreira (Souza, 2002) e isso agravou a situação da ocupação nas cidades, por exemplo, a cidade satélite de Samambaia que antes era ocupada por chácaras, que foram desapropriadas e instalados loteamentos urbanos. No caso específico da Chácara Três Meninas, foi incorporada à cidade como Parque Ecológico e de Uso Múltiplo (GDF, 1997).

Durante os 30 anos analisados, aproximadamente 82% do Distrito Federal não foi afetado por incêndios, 18% uma única vez, 6% duas vezes e 2% três vezes. Áreas com

quatro ou mais ocorrências de incêndios representam apenas 1% do tamanho total do Distrito Federal.

## **8. CONCLUSÃO**

Os resultados desta análise indicam que o uso de imagens Landsat transformadas por Análise do Componente Principal (PCA), associada a técnica de árvore de decisão, é eficiente para a detecção de cicatrizes de fogo no Distrito Federal. Esta técnica de classificação, entretanto, requer ajustes dos valores de cada Componente Principal (PC) usado como entrada na árvore de decisão, variando conforme o sensor e a variação sazonal de cada ano.

O Parque Nacional de Brasília foi uma das Unidades de Conservação mais afetadas com o fogo no período e área de estudo. O fogo ocorreu com mais frequência nas proximidades das ocupações urbanas no período e área de estudo. Isso indica que a ocorrência e propagação do fogo no Distrito Federal está relacionada a expansão urbana, com consequente retirada de vegetação nativa em regiões próximas as Unidades de Conservação. Além disso, fatores climáticos (precipitação, número de dias sem chuva, temperatura e umidade relativa) que ocorrem de forma variada a cada ano, parece ter influenciado a ocorrência e propagação do fogo no Distrito Federal. Esses fatores e efeitos na ocorrência dos incêndios florestais ainda precisam ser melhor entendidos.

As atividades de prevenção e combate aos incêndios florestais são de responsabilidades de várias instituições, incluindo o Corpo de Bombeiros Militar, o IBAMA e outros órgãos ambientais. Essas instituições atuam de forma prioritária em áreas de Unidades de Conservação. As informações do presente trabalho de pesquisa, indicam áreas de maior incidência de incêndios numa série histórica e, portanto, poderão ser cruciais na definição de estratégias de prevenção e combate ao fogo no Distrito Federal.



## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

ABDALA, G. C. Uma abordagem sociológica do Parque Nacional de Brasília – estudo de caso. **Cadernos Unesco Brasil, série Meio Ambiente e Desenvolvimento**, Vol 4, 82p. 2002.

BAPTISTA, G.M.M. Caracterização climatológica do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UNB, **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**. Brasília. Vol.1, 21p. 1998.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. Folha SB.21 Tapajós; Rio de Janeiro, 1975.

BRASIL. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado -PPCerrado. (2011) Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 200p. [http://www.mma.gov.br/estruturas/201/\\_arquivos/ppcerrado\\_201.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/201/_arquivos/ppcerrado_201.pdf) (Acessado em 11 de novembro de 2017).

CAMPOS, J.E.G. Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências**. Vol.34, 7p. 2004.

CONSTANTINO, Z. G. **Indicadores para a gestão de riscos de incêndios florestais em áreas periurbanas do Distrito Federal, Brasil: estudo de caso do Núcleo Rural do Córrego do Urubu**. Dissertação (Mestrado)-Universidade Católica de Brasília. 139p. 2013.

COSTA, E. P; FIEDLER, N.C; MEDEIROS, M. B; WANDERLEY, F. B. Incêndios florestais no entorno de Unidades de Conservação - estudo de caso na Estação Ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal. **Ciência Florestal, Santa Maria**. Vol.19, 11p. 2009.

EITEN, G. Delimitação do conceito de Cerrado. **Arquivos do Jardim Botânico**, Rio de Janeiro 21. 9p. 1977.

ELACHI, C. Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing. **Chichester**, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley. 413p. 1987.

FAGUNDES, P.M. Sensores Remotos Orbitais com Aplicação em Cartografia para as Américas. In: **Congresso Brasileiro de Cartografia**, Brasília. Anais. Rio de Janeiro: SBC. 20p. 1987.

FIEDLER , N.C; RODRIGUES, T.O; MEDEIROS, M.B; Avaliação das condições de trabalho, treinamento, saúde e segurança de brigadistas de combate a incêndios florestais em Unidades de Conservação do Distrito Federal- Estudo de Caso. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.1, p.8, 2006.

FONSECA, M.S; JÚNIOR, M.C.S. Fitossociologia e similaridade florística entre trechos de Cerrado sentido restrito em interflúvio e em vale no Jardim Botânico de Brasília, DF. **Acta bot. bras.** 18(1): p.10, 2004.

FORTES, P. T. F. O; OLIVEIRA, G. I. M; CREPANI, E; MEDEIROS, J. S. Geoprocessamento aplicado ao planejamento e gestão ambiental na Área de Proteção Ambiental de Cafuringa, Distrito Federal Parte 2: processamento de dados espaciais. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p.7, 2007

FRANÇA, H. **Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA**. Tese de Doutorado. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, p.133, 2000.

FRANÇA, H.; RAMOS NETO M.B.; SETZER, A. O fogo no Parque Nacional das Emas. **Série Biodiversidade**, nº. 27. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p.140, 2007.

GONÇALVES, A. R. **Banco de sementes do solo de sub-bosque de *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.* abandonados na Floresta Nacional de Brasília.** Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Distrito Federal, p.84, 2007.

GONÇALVES, C. N.; MESQUITA, F. W.; LIMA, N. R.G; COSLOPE, L. A; LINTOMEN, B. S. Recorrência dos Incêndios e Fitossociologia da Vegetação em Áreas com Diferentes Regimes de Queima no Parque Nacional da Chapada Diamantina. **Biodiversidade Brasileira**, ano I, nº 2, p.18, 2011.

GONÇALVES, K.S; CASTRO, H.A; HACON, S.S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. **Ciência e saúde coletiva** vol.17 nº.6 Rio de Janeiro, p.10, 2012.

GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E. Digital image processing. New York: **Addison-Wesley Publishing Company**, p.122, 1993.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL- GDF. Decreto Nº 17.431, DE 11 DE JUNHO DE 1996. BRASÍLIA, 1996. <http://www.ibram.df.gov.br/>. Acesso em 12 de novembro de 2017.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL - GDF. Fundação Educacional. **Atlas Histórico e Geográfico do Distrito Federal**, Brasília, DF: Fundação Athos Bulcão. 192p. 1997.

GRANEMANN, D. C; CARNEIRO, G. L. Monitoramento de focos de incêndios e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. V. 1, nº . 1, p.7, 2009.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recurso terrestre/ JOHN R. JENSEN; tradução JOSÉ CARLOS NEVES EPIPHANIO (coordenador)...[et al.]. São José dos Campos , SP. **Editora Parêntese**, p. 585, 2009.

JÚNIOR, M.C.S. Fitossociologia e estrutura diamétrica na mata de galeria do Pitoco, na Reserva Ecológica do IBGE. **Cerne, Lavras**, v. 11, n. 2, p. 11, 2005.

JUSTINO, F. B; SOUZA, S. S; SETZER, A. Relação entre "focos de calor" e condições meteorológicas no Brasil. **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz de Iguaçu-PR, p.8, 2002.

KAUFFMAN, J. B. CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology**, vol. 82, p.12, 1994.

KLINK, C. A; MACHADO, R. B; A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, nº 1, p.9, 2005.

LAGARES, R. O. **Análise da efetividade e eficácia do plano de prevenção e combate a incêndios florestais no Distrito Federal**. Dissertação de mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. p.181, 2006.

LOMBARDI, R. J. R. Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat. São José dos Campos: **INPE**, p.172p, 2003.

MEDEIROS, M.B.; FIEDLE,N.C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, nº. 2, p. 12, 2004.

MENESES, P.R. ALMEIDA, T.D. Processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília**, Brasília, p. 266, 2012.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N. Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (org.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.439, 2005.

MORAIS, J.C.M. Tecnologia de combate aos incêndios florestais. **Floresta** 34 (2), p. 5, 2004.

NASA. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso em: 03 de dezembro de 2016.

NASA. Landsat 8. Disponível em: <http://www.nasa.gov/>. Acesso em: 13 de novembro 2017.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: **Blucher**, 4ª edição, p. 388, 2008.

OLIVEIRA, S. N.; JÚNIOR, O. A.C; SILVA, T. M; GOMES, R. A.T; MARTINS, E.S; GUIMARÃES, R. F; SILVA, N. C. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, nº1, p.18, 2007

PEREIRA, B. A. S.; FURTADO, P. P.; MENDONÇA, R. C.; ROCHA, G. I. Reserva ecológica do IBGE (Brasília, DF): aspectos históricos e fisiográficos. **Boletim da FBCN**, Rio de Janeiro, v. 24, p. 13, 1989.

PEREIRA, B. A. S.; SILVA, M. A.; Mendonça, R. C. Reserva ecológica do IBGE (Brasília, DF): lista das plantas vasculares. Brasília: **IBGE**, p.43, 1993.

PEREIRA, M.C.; SETZER . A.W. Spectral characteristics of fire scars in Landsat-5 TM images of Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**. V. 14, n. 11, p.17, 1993.

PIAZZA, E. M; MARIANO, L. G; HUMMEL, R. B; FELKER, R. M; COGHETTO,F; STEFANELLO, M. M. Análise comparativa de técnicas de filtragem espacial em área rural na região do Médio Alto Uruguai – RS. **Revista Eletronica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** - REGET e-ISSN 2236 1170 - v. 17 nº 17, p.5, 2013.

RAMOS, P. C.M. Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. **Anais/IPEF**: p.9, 1995.

RASMUSSEN E CARPENTER 1983, MONTHLY WEATHER REVIEW, ROPELEWSKI E HALPERT 1987, MONTHLY WEATHER REVIEW. Cold episode sources Ropelewski e Halpert 1989, **Journal of Climate**. Climate Diagnostics Bulletin. A intensidade dos ventos é baseada no padrão e magnitude das anomalias da TSM do Pacífico Tropical.

RIBEIRO, J.F.; SANO, M.; J. A. DA SILVA. Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos da vegetação do Cerrado. pp. 124-133 In: **Anais do XXXII Congresso Nacional de Botânica**. Sociedade Botânica do Brasil, Teresina, Brasil. p. 9, 1981.

RIBEIRO, R; FILHO, J. M. Estrutura da comunidade de pequenos mamíferos (Mammalia, Rodentia) da Estação Ecológica de Águas Emendadas, Planaltina, Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zoologia** **22 (4)**: p. 9, 2005.

RICHARDS J.A. Remote sensing digital images analysis: **An introduction**. Berlin: **Springer-Verlag**. p.281, 1986.

SAMBUICHI, R. H. R. **Efeitos de longo prazo do fogo periódico sobre a fitossociologia da camada lenhosa de um cerrado em Brasília, DF**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, p. 144 1991.

SANO, E.E.; FERREIRA, L.G. Monitoramento semidetalhado (escala de 1:250.000) de ocupação de solos do Cerrado: considerações e proposta metodológica. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, INPE, p. 7, 2005.

SCHNEIDER, M.J; BELLON, O.R.P; ARAKI, H. Experimentos em fusão de imagens de alta resolução. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 9, nº 1, p. 13, 2003.

SHIBA, M. H; SANTOS, R. L; QUINTANILHA, J.A; KIM, H.Y. Classificação de imagens de sensoriamento remoto pela aprendizagem por árvore de decisão: uma avaliação de desempenho. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, INPE, p. 7, 2005.

SHIRAISHI, J. C. **Conflitos ambientais em Unidades de Conservação: percepções sobre a Reserva Biológica da Contagem, DF.** Dissertação (Mestrado), Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, p. 115. 2011.

SILVA, C. V. J. **Avaliação espaço-temporal dos incêndios florestais no Distrito Federal entre 1999 e 2010.** Dissertação para obtenção de título de Engenheiro Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, p. 54, 2011.

SIMÕES, A.C.A. Mineração de dados baseada em árvores de decisão para análise do perfil de contribuintes. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco. **Cln. Ciência da Computação**, p. 127, 2008.

SKOLE, D. L.; CHOMENTOWISKI, W. H.; SALES, W. A.; NOBRE, C. A. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. **Biosciences**, v. 44, p. 8, 1994.

SOUZA, V. F. **Impacto do processo de ocupação urbana ao meio ambiente do Distrito Federal.** Monografia apresentada à Faculdade de Ciências da Saúde do Centro Universitário de Brasília como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Licenciado em Ciências Biológicas. Brasília, p. 47, 2002.

TATAGIBA, M. M. A. **Estudo da Dinâmica Espacial e Temporal dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.** Dissertação (Mestrado) Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, p. 76, 2010.

Vegetação do Distrito Federal: tempo e espaço. 2.ed. – Brasília: **UNESCO**, p. 80, 2002.

VINAGRE, J. **Mapeamento de Áreas Queimadas usando Séries Temporais Normalizadas Derivadas de Dados NBR-MODIS Durante o Período 2001-2014 no Parque Nacional das Emas.** Dissertação (Mestrado) Geografia, Universidade de Brasília, p. 66, 2015.

WEISS, C. V. C; CAMARGO, D. C. S.; ROSCA, E. H; ESPINOZA, J. Análise comparativa entre métodos de correção atmosférica em imagens do sensor Operational Land Imager (OLI), plataforma Landsat 8. **Scientia Plena**, volume 11, nº 02, p. 8, 2015.



# ANEXOS

ANEXO I: Recorrência de fogo para os anos de 1987 a 1996 respectivamente.



ANEXO II: Recorrência de fogo para os anos de 1997 a 2006 respectivamente.



ANEXO III: Recorrência de fogo para os anos de 2007 a 2017 respectivamente.

