



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA –UnB  
FACULDADE UnB PLANALTINA –FUP  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

VITOR CARLOS PEREIRA

**USO DE IMAGENS WPM/CBERS 04A PARA ANÁLISE DA SITUAÇÃO  
DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO DISTRITO  
FEDERAL**

Brasília, DF  
2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA –UnB  
FACULDADE UnB PLANALTINA –FUP  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

VITOR CARLOS PEREIRA

**USO DE IMAGENS WPM/CBERS 04A PARA ANÁLISE DA SITUAÇÃO  
DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO DISTRITO  
FEDERAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Rodrigo Studart Corrêa

Brasília, DF

2021

Vitor Carlos Pereira

Título: USO DE IMAGENS WPM/CBERS 04A PARA ANÁLISE DA SITUAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO DISTRITO FEDERAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovada em 29 de setembro de 2021.

#### **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Rodrigo Studart Corrêa – Ph.D.  
Presidente/PPGCA UnB

Dr. Alexander Paulo do Carmo Balduino - D.Sc.  
Membro Externo / IBAMA

Prof. Edílson de Souza Bias - D.Sc.  
Membro Interno/ PPGGA UnB.....

Profª. Erina Vitório Rodrigues - D.Sc.  
Membro Suplente/ PPGCA UnB

Ficha catalográfica elaborada automaticamente, com os dados  
fornecidos pelo(a) autor(a)

PPP436u      Pereira, Vitor Carlos  
u              USO DE IMAGENS WPM/CBERS 04A PARA ANÁLISE DA SITUAÇÃO  
                 DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO DISTRITO FEDERAL /  
                 Vitor Carlos Pereira; orientador Rodrigo Studart Corrêa. --  
                 Brasília, 2021.  
                 87 p.

                 Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências Ambientais)  
                 - Universidade de Brasília, 2021.

                 1. Áreas de Preservação Permanente. 2. Sensoriamento  
                 Remoto. 3. Alta Resolução. 4. GEOBIA. 5. Segmentação. I.  
                 Studart Corrêa, Rodrigo, orient. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, José Carlos e Fátima, por sempre terem me proporcionado todo o suporte necessário para conseguir alcançar meus objetivos e sempre tiveram paciência, amor e apoio incondicional.

À minha esposa, Luiza, pela paciência, apoio e amor.

Ao meu orientador, Professor Rodrigo Corrêa, por todos os ensinamentos e suporte prestados para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca, Prof. Edílson Bias, Dr. Alexander Paulo e Profa. Erina Rodrigues, por terem aceitado participar da banca de avaliação deste trabalho.

A todos os professores do PPGCA, em especial ao Professor Antônio Felipe, por todo o conhecimento transmitido de forma enérgica e alegre.

Por fim, a Universidade de Brasília, instituição pela qual tenho especial carinho e à qual devo a maior parte da minha instrução formal.

## RESUMO

PEREIRA, Vitor Carlos. Uso de Imagens WPM/CBERS 04A para Análise da Situação das Áreas de Preservação Permanente no Distrito Federal, 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2021.

Área de Preservação Permanente (APP) é definida pela Lei nº 12.651/2012 como uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Diante de sua importância, é evidente a necessidade do acompanhamento periódico da situação dessas áreas, visando à identificação de trechos de vegetação alterada/degradada, bem como o período em que houve tal alteração, estabelecendo assim, o passivo de áreas a serem recuperadas, o que permite uma melhor gestão pelas autoridades competentes. Nesse sentido, o sensoriamento remoto é uma ferramenta que pode ser de grande contribuição, uma vez que, permite monitorar extensas áreas da superfície de forma rápida, diminuindo os custos com visitas ao campo. O objetivo desta pesquisa foi analisar o estado das Áreas de Preservação Permanente no Distrito Federal por meio da utilização da classificação de uso de solo com análise orientada a objetos. Os resultados apontaram que o Distrito Federal possui 9% de sua área total constituído por APPs, sendo que dessas, 74,7% (13.216,6 ha) encontram-se antropizadas. Desse total de APPs antropizadas, 1,4% apresentam-se consolidadas de acordo com o Novo Código Florestal e o passivo a ser recuperado é de 23,8% (12.466,6 ha). Foi analisada a influência de fatores como inserção em Unidades de Conservação, localização em áreas urbanas ou rurais e fatores socioeconômicos no grau de antropização das APPs, entretanto, não foram encontradas relações significativas para os mesmos.

Palavras-chave: Áreas de Preservação Permanente. Sensoriamento Remoto. Alta Resolução. Classificação. Segmentação. GEOBIA.

## ABSTRACT

PEREIRA, Vitor Carlos. Use of WPM/CBERS 04A Images for Situation Analysis of Permanent Preservation Areas in the Federal District, 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2021.

Permanent Preservation Area (APP) is defined by Law N° 12,651/2012 as a protected area, covered or not by native vegetation, with the environmental function of preserving water resources, the landscape, geological stability and biodiversity, facilitating the flow plant and fauna, protect the soil and ensure the well-being of human populations. Given its importance, the need for periodic monitoring of the situation of these areas is evident, aiming at the identification of stretches of altered/degraded vegetation, as well as the period in which such change occurred, thus establishing the liability of areas to be recovered, the which allows for better management by the competent authorities. In this sense, remote sensing is a tool that can be of great contribution, since it allows you to monitor large areas of the surface quickly, reducing costs with field visits. The objective of this research was to analyze the state of Permanent Preservation Areas in the Federal District through the use of land use classification with object-oriented analysis. The results showed that the Federal District has 9% of its total area made up of APPs, and of these, 74.7% (13,216.6 ha) are anthropized. Of this total of anthropized APPs, 1.4% are consolidated in accordance with the New Forest Code and the liability to be recovered is 23.8% (12,466.6 ha). The influence of factors such as insertion in Conservation Units, location in urban or rural areas and socioeconomic factors on the degree of anthropization of APPs was analyzed, however, no significant relationships were found for them.

Keywords: Permanent Preservation Areas. Remote Sensing. High Resolution. Classification. Segmentation. GEOBIA.

## FIGURAS

Figura 1: Imagem do Distrito Federal, CBERS 04A, composição RGB Bandas 1, 2 e 3. ....	29
Figura 2: Fluxograma da metodologia desenvolvida neste trabalho. ....	31
Figura 3: Procedimentos efetuados nos processos de melhoramento de imagem. ....	36
Figura 4: Resultado da fusão das bandas multiespectrais com a banda pancromática. ....	36
Figura 5 : Resultado do processo de segmentação <i>multiresolution</i> . ....	41
Figura 6 : Resultado do processo de <i>Spectral Difference Segmentation</i> . ....	42
Figura 7: Imagem do Distrito Federal, CBERS 04A, composição pseudocores naturais, com detalhe para os polígonos de amostras coletados para cálculo da acurácia. ....	47
Figura 8: Cenário Real - Áreas de Preservação Permanente em faixas marginais de cursos d'água do Distrito Federal considerando a largura mínima de 30 metros. ....	50
Figura 9: Cenário Ideal - Áreas de Preservação Permanente em faixas marginais de cursos d'água do Distrito Federal considerando toda a vegetação riparia influenciada pelo curso hídrico. ....	51
Figura 10: Detalhe da diferença entre o cenário real (30 metros) e o cenário ideal (APP máxima). ....	51
Figura 11: Resultado da classificação orientada a objetos, considerando três classes de uso do solo, Vegetação Nativa, Antrópico e Água. ....	59
Figura 12: Mapa resultado da análise multitemporal das alterações da cobertura vegetal entre 1985 e 2020 no Distrito Federal. ....	62
Figura 13: Mapa de Cobertura do Solo do Distrito Federal para o ano de 2020, utilizando as classes: Vegetação Primária, Vegetação Regenerada, Antrópico e Água. ....	62
Figura 14: Percentual estimado de áreas de preservação permanente (APPs) com Vegetação Nativa, Consolidada e Passivo, por tipo APP, em todo o Distrito Federal. ....	64
Figura 15: Distribuição de áreas de preservação permanente no Distrito Federal, conforme definido pelo Novo Código Florestal. ....	65
Figura 16: Mapa da distribuição das APPs por tipo de Unidade de Conservação. ....	67
Figura 17: Antropização das Áreas de Preservação Permanente por inserção em Unidade de Conservação. ....	67
Figura 18: Box-plot da porcentagem de APPs antropizadas no Interior de Unidades de Conservação de Uso Sustentável, Proteção Integral e fora de Unidade de Conservação. ....	68
Figura 19: Mapa de Antropização de APPs por Região Administrativa do Distrito Federal. ....	70
Figura 20: Mapa da distribuição das Áreas de Preservação Permanente por Macrozona definida no PDOT. ....	72
Figura 21: Antropização das Áreas de Preservação Permanente por Macrozonas do PDOT. ....	72
Figura 22: Box-plot da porcentagem de APPs antropizadas em áreas rurais ou urbanas segundo o PDOT. ....	73

## TABELAS

Tabela 1: Características Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (INPE, 2019).....	28
Tabela 2: Cenas e datas selecionadas para obtenção dos dados CBERS 04A (WPM). .....	32
Tabela 3: Conjunto de dados secundários utilizado no presente estudo.....	33
Tabela 4: Peso das bandas CBERS 04A no processo de segmentação. ....	41
Tabela 5: Valores dos parâmetros de escala, forma e compacidade utilizados na segmentação. ....	41
Tabela 6: Feições naturais do Cerrado de interesse para o mapeamento e características relevantes para sua identificação. ....	44
Tabela 7: Feições antrópicas de interesse para o mapeamento e características relevantes para sua identificação. As feições de interesse foram agrupadas na classe antrópico. ....	45
Tabela 8: Qualidade da classificação associada aos valores do coeficiente <i>Kappa</i> , adaptado de Landis e Koch (1977). ....	48
Tabela 9: Áreas onde foi analisada o percentual de APPs antropizadas (UC Uso Sustentável, UC de Proteção Integral e Fora de UC).....	54
Tabela 10: Porcentagem de APP Antropizada em áreas urbanas e rurais, por Região Administrativa (RA). ....	55
Tabela 11: Acurácia da classificação final de cobertura e uso da terra. ....	60
Tabela 12: Estimativas de Área de Preservação Permanente com Vegetação Nativa ou Antropizada. ....	63
Tabela 13: Estimativas de áreas de preservação permanente de cursos hídricos consolidadas e passivo em todo o Distrito Federal. ....	66
Tabela 14: Distribuição das Áreas de Preservação Permanente por tipo de Unidade de Conservação.....	68
Tabela 15: Distribuição das Áreas de Preservação Permanente pelo Macrozoneamento do PDOT.....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

APPs – Áreas de Preservação Permanente

CBERS – *China-Brazil Earth Resources Satellite*

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal

GEOBIA – *Geographic object base image analysis*

GLCM – *Gray level co-occurrence matrices*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais

IVS – Índice de Vulnerabilidade Social do Distrito Federal

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MUX – Câmera Multiespectral CBERS 04<sup>a</sup>

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR – *Near-Infrared*

PCA – *Principal component analysis*

PDOT – Plano Distrital de Ordenamento Territorial

PLANAVEG – Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa

SAVI – *Soil adjusted vegetation index*

SCP – *Semi-Automatic Classification Plugin*

SCIA - Setor Complementar de Indústria e Abastecimento

SIA - Setor de Indústria e Abastecimento

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SIRGASS - Sistema de Referência Geocêntrico Oficial do Brasil

SISDIA – Sistema Distrital de Informações Ambientais

UCs – Unidades de Conservação

UTM – Universal Transversa de Mercator

WFI - Câmera imageadora de Campo Largo CBERS 04A

WPM - Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura CBERS 04A

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. OBJETIVO GERAL.....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
3. HIPÓTESES.....	18
4. ARCABOUÇO TEÓRICO-METODOLÓGICO.....	19
4.1. IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE .....	19
4.2. HISTÓRICO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO BRASIL.....	21
4.3. ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE RIPÁRIAS.....	22
4.4. MONITORAMENTO DE ALTERAÇÕES NO USO E COBERTURA DA TERRA.....	24
4.5. UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE APP'S .....	25
4.6. ANÁLISE DE IMAGEM ORIENTADA AO OBJETO GEOGRÁFICO (GEOBIA) .....	26
4.7. O PROGRAMA CBERS .....	27
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	29
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	29
5.2. METODOLOGIA APLICADA .....	31
5.3. AQUISIÇÃO DOS DADOS .....	32
5.3.1. IMAGEM CBERS 04A .....	32
5.3.2. AQUISIÇÃO DE DADOS SECUNDÁRIOS .....	33
5.4. PRÉ-PROCESSAMENTO .....	35
5.5. FUSÃO DAS IMAGENS.....	35
5.6. DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS A UTILIZADOS NA CLASSIFICAÇÃO .....	37
5.6.1. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	37
5.6.1.1. NDVI.....	37
5.6.1.2. SAVI.....	38
5.6.2. TEXTURA BASEADA NA MATRIZ DE CO-OCORRÊNCIA DE NÍVEL CINZA 38	
5.6.3. ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA).....	39
5.6.4. ESTATÍSTICAS LOCAIS PARA A BANDA DO VERMELHO E NIR .....	39
5.7. SEGMENTAÇÃO .....	39
5.8. CLASSIFICAÇÃO.....	43
5.9. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO MAPEAMENTO .....	46

5.10.	ANÁLISES GEOESPACIAIS.....	49
5.10.1.	ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NO DISTRITO FEDERAL	49
5.10.2.	DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE CURSOS HÍDRICOS.....	49
5.10.3.	DEMAIS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE .....	52
5.10.4.	DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE APP COM AUSÊNCIA DE COBERTURA.....	52
5.10.5.	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NA PRESERVAÇÃO DAS APP'S .....	53
5.10.6.	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO RURAL OU URBANA NA ANTROPIZAÇÃO DAS APPS .....	55
5.10.7.	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE FATORES SOCIOECONÔMICOS NA CONSERVAÇÃO DE APPS .....	56
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	59
6.1.	CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS .....	59
6.2.	ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NO DISTRITO FEDERAL .....	60
6.3.	MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	63
6.4.	APP CONSIDERADAS EM ÁREAS CONSOLIDADAS SEGUNDO O CÓDIGO FLORESTAL .....	66
6.5.	DISTRIBUIÇÃO DA APP'S PELA INSERÇÃO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO .....	67
6.6.	ANTROPIZAÇÃO DE APPs POR REGIÃO ADMINISTRATIVA DO DF .....	70
6.7.	DISTRIBUIÇÃO DA APPs PELAS MACROZONAS DO PDOT.....	71
6.8.	INFLUÊNCIA DE FATORES SOCIOECONÔMICOS NA CONSERVAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	73
7.	CONCLUSÕES.....	75
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

## 1. INTRODUÇÃO

Área de Preservação Permanente é definida pela Lei nº 12.651/2012 como sendo uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Pela definição, fica clara a importância de se preservarem áreas não alteradas e recuperar áreas cuja vegetação foi removida. Análise feita por Brancalion et al. (2016) expõem que as perdas de vegetação nativa dessas áreas podem comprometer a manutenção de serviços ambientais, como a purificação de água, a proteção do solo, a polinização de cultivos agrícolas e a regulação climática, expandindo e agravando problemas ambientais já observados em diversas regiões brasileiras, como a falta d'água, deslizamentos de encostas, inundações e secas.

Guidotti et al. (2020) afirmam que, apesar da necessidade evidente de se protegerem as Áreas de Preservação Permanente, em especial, as zonas ribeirinhas, as sociedades humanas têm historicamente usado essas áreas para assentamentos e produção de alimentos, aproveitando a disponibilidade abundante de água e alta fertilidade do solo, o que pode resultar na contaminação dos cursos hídricos com agroquímicos e sedimentos e, em última instância, degradar a qualidade da água, reduzir a biodiversidade local e provocar o encolhimento do curso hídrico. Diante disso, proteger e recuperar essas áreas se tornaram-se um grande desafio em paisagens dominadas pela agricultura, onde o interesse dos proprietários privados de maximizar seus lucros e produção agrícola pode colidir com os interesses coletivos de impor restrições de uso da terra (CALMON et al., 2011; LATAWIEC et al., 2015). Caso semelhante ocorre nas cidades, onde a expansão acelerada e o planejamento ineficaz dos processos de ocupação facilitam a ocupação de áreas protegidas, o que ocorre, entre outros fatores, devido a especulação imobiliária sobre a terra e o adensamento de áreas periféricas pela população de baixa renda (CYRILLO, 2011).

No Brasil, a regulamentação da exploração, da conservação e da recuperação da vegetação nativa começou em 1934, com o primeiro Código Florestal Brasileiro, que buscava poupar da expansão desenfreada da agricultura sobre trechos de vegetação nativa localizados em áreas que desempenhassem um papel ambiental importante, como as margens de rios e nascentes (BRANCALION et al., 2016b). O Código Florestal Brasileiro de 1934 estabeleceu as chamadas Áreas de Preservação Permanente (APPs), que visavam proteger áreas

ambientalmente frágeis e importantes para apoiar o bem-estar humano, como encostas íngremes, nascentes de água, zonas ribeirinhas e topos de montanhas (BRANCALION et al., 2016b; GUIDOTTI et al., 2020). Passados 30 anos, o Código Florestal de 1934 foi substituído pela Lei nº 4.471, de 1965, uma versão do Código Florestal mais efetiva e objetiva, com critérios mais claros para a conservação e o uso racional da vegetação nativa em propriedades rurais. Por exemplo, as dimensões das Áreas de Preservação Permanente (APPs) passaram a variar conforme a largura dos cursos d'água (BRANCALION et al., 2016b).

A Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012), conhecida como O Novo Código Florestal, foi aprovada em 25 de maio de 2012, estabelecendo novos critérios que resultaram na diminuição da vegetação protegida em relação à Lei nº 4.771/195 como, por exemplo, mudanças na referência da calha de cursos hídricos e novos mecanismos que perdoaram ou anistiarão os descumprimentos ao antigo código florestal ocorrido até julho de 2008 (GUIDOTTI et al., 2020).

Diante das alterações feitas na legislação ao longo dos últimos oitenta anos, é evidente a necessidade do acompanhamento periódico da situação das Áreas de Preservação Permanente, visando à identificação de áreas onde a vegetação tenha sido alterada após julho de 2008, estabelecendo assim, o passivo de áreas a serem recuperadas, o que permite uma melhor gestão pelas autoridades competentes.

Nesse sentido, para se identificar e espacializar a extensão de vegetação degradada em Área de Preservação Permanente, a utilização de Sistemas de Informação Geográficas (SIG), são ferramentas de grande contribuição, pois permitem o monitoramento de extensas áreas da superfície de forma rápida, diminuindo assim, os custos com visitas ao campo (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001).

Entre as tecnologias SIG, destaca-se o sensoriamento remoto que, conforme Ponzoni e Shimabukuro (2009), viabiliza estudos sobre a vegetação em função de suas características fisionômicas, florísticas e fitoecológicas. A partir dos dados obtidos do sensoriamento remoto, é possível a análise espacial da distribuição da condição da vegetação e a identificação de trechos onde a restauração bem-sucedida está ocorrendo (YUAN et al., 2018), analisando o limiar de vegetação entre áreas perturbadas e reabilitadas (ALDAY et al., 2014).

Dentre as tecnologias de sensoriamento remoto para mapeamentos terrestres, destaca-se a *Geographic object base image analysis* (GEOBIA), que veio se opor ao método tradicional de classificação de imagens, a abordagem em *pixels*, que apresenta limitações nas imagens de

alta resolução espacial, conforme relatado em trabalhos anteriores (BAATZ; SCHAPE, 2000; BLASCHKE, 2010; BURNETT; BLASCHKE, 2003).

O paradigma GEOBIA consiste, de forma abrangente, das etapas de segmentação e classificação da imagem. A segmentação define a divisão da imagem em grupos com características semelhantes levando em consideração fatores como compacidade, escala e suavidade, formando assim regiões espacialmente contínuas, disjuntivas e homogêneas. Já a classificação baseia-se na definição de regras de decisão que revelam as propriedades dos objetos expressas por seus atributos, classificando os segmentos (NETA; BIAS; SANTOS, 2018).

Chen; Hay e St-Onge (2012) concluíram que a GEOBIA mostrou uma abordagem mais eficiente quando comparada aos classificadores baseados na classificação por pixel. Mesma constatação de Brandtberg e Warner (2006); Lu e Weng (2007) e Yu *et al.* (2006) que encontraram resultados que demonstraram que a GEOBIA fornece uma estrutura para superar as limitações da classificação de imagem convencional baseada em pixels, pois, a técnica considera a classificação das imagens com base nas informações topológicas (vizinhança, contexto) e geométricas (forma, tamanho) dos objetos. Passo *et al.* (2013), avaliou a eficiência da classificação baseada em objeto sobre imagens de alta resolução espacial e concluiu que a abordagem baseada em objeto é uma alternativa promissora para a redução do problema da mistura espectral encontrado em classificadores tradicionais.

O CBERS 04A, sexto satélite da família CBERS, foi lançado e colocado em órbita no dia 20 de dezembro de 2019. Ele conta com três câmeras, duas brasileiras (MUX e WFI) e uma chinesa (WPM). A multiplicidade de sensores torna o CBERS 04A capaz de atender a diversas aplicações, como monitorar desmatamentos, queimadas, o nível de reservatórios, desastres naturais, a expansão agrícola e o desenvolvimento das cidades, entre outras. Cada câmera possui um nível de resolução capaz de gerar imagens no detalhamento necessário conforme a aplicação (INPE, 2021).

O Distrito Federal (DF), unidade da federação localizada na região central do Brasil, estando no centro de distribuição do bioma Cerrado (CAVALCANTI; RAMOS, 2001), o segundo maior bioma brasileiro (IBGE, 2004), representando um *hotspot* de biodiversidade, ameaçado pelo rápido processo de mudança da cobertura vegetal nativa (FRANÇOSO *et al.*, 2015). Além disso, o DF desempenha papel fundamental no processo de distribuição dos recursos hídricos pelo país, constituindo-se como local de origem das grandes regiões hidrográficas brasileiras e da América do Sul (LIMA; SILVA, 2008), sendo banhado por cursos

d'água pertencentes a três das mais importantes bacias hidrográficas brasileiras: São Francisco (Rio Preto), Tocantins/Araguaia (Rio Maranhão) e Paraná (Rios São Bartolomeu e Descoberto).

Em trabalho realizado pela UNESCO (2002), estimou-se que em 2001 as matas ao longo de cursos d'água apresentavam um percentual de 47% de desmatamento. Vivaldi *et al.* (2009) em seu trabalho analisou os remanescentes vegetais nas Áreas de Preservação Permanente do Distrito Federal e identificou que as APPs do DF correspondem a 15% do total da área do Distrito Federal, que, no geral, apresentaram índices elevados de atividade fotossintética, indicando alto grau de cobertura vegetal.

Diante da importância ambiental e hidrológica do Distrito Federal, faz-se necessário um monitoramento constante da sua cobertura vegetal, em especial, das suas Áreas de Preservação Permanente. Assim, o presente estudo visa avaliar a utilização da abordagem GEOBIA na classificação de imagens de alta resolução, tendo como objeto a cobertura vegetal nas Áreas de Preservação Permanente no Distrito Federal.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho foi avaliar o estado das Áreas de Preservação Permanente do Distrito Federal por meio da utilização da classificação de uso do solo com análise orientada a objetos, feita a partir de imagens de alta resolução espacial do satélite CBERS 04A.

### **2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar a extensão das Áreas de Preservação Permanente no Distrito Federal, identificando suas áreas que permanecem com cobertura vegetal nativa e quais apresentam-se antropizadas.
- Analisar o quantitativo de Áreas de Preservação Permanente em zonas ripárias existentes no Distrito Federal, considerando dois cenários: a largura mínima de 30 metros estabelecida no Novo Código Florestal e o valor total de matas ripárias existentes em 2020.
- Avaliar, segundo o Novo Código Florestal, qual o atual passivo do Distrito Federal, em termos de Áreas de Preservação Permanente que necessitam ser recuperadas.

- Analisar quais regiões do Distrito Federal tem maiores porcentagens de Áreas de Preservação Permanente Antropizada.
- Verificar a influência que os diferentes regimes de proteção das Unidades de Conservação têm na manutenção das Áreas de Preservação Permanente.
- Verificar se existe diferença significativa entre a degradação de APPs em áreas urbanas e rurais.
- Verificar a influência de fatores socioeconômicos na degradação de áreas de preservação permanente.

### **3. HIPÓTESES**

As políticas de proteção das áreas de preservação permanente definidas pela Lei no 12.651/2012 contribuíram para a diminuição do percentual de APPs antropizadas quando comparados aos valores obtidos por estudos anteriores.

Para a APPs de cursos hídricos, a manutenção da vegetação riparia total, respeitando o seu serviço ecossistêmico, representaria um importante acréscimo quando comparado à manutenção apenas do mínimo estabelecido na legislação (30m).

Regimes de proteção de Unidade de Conservação mais restritivos contribuem para a proteção das APPs.

Pela maior concentração populacional, APPs localizadas em grandes centros urbanos são mais susceptíveis à antropização do que APPs em zonas predominantemente rurais.

## **4. ARCABOUÇO TEÓRICO-METODOLÓGICO**

### **4.1.IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE**

Segundo o atual Código Florestal Brasileiro, Áreas de Preservação Permanente se configuram como: “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012).

A delimitação de Áreas de Preservação Permanente é uma estratégia amplamente utilizada para a conservação do ambiente, com o objetivo de preservar a manutenção de serviços ecossistêmicos, principalmente os relacionados aos recursos hídricos (MEDEIROS; ARAÚJO, 2011).

Ademais, a preservação das APPs, gera uma série de benefícios ao ecossistema, principalmente, pelos serviços ecológicos prestados pela flora, incluindo todas as associações por elas proporcionadas com os componentes bióticos e abióticos do ecossistema (SKORUPA, 2003).

Perdas adicionais de vegetação nativa podem comprometer ainda mais a manutenção de serviços ambientais, como a purificação de água, a proteção do solo, a polinização de cultivos agrícolas e a regulação climática. Ao mesmo tempo, a redução da proteção da vegetação nativa remanescente e da área a ser restaurada, bem como a alteração da função ambiental das APPs, pode expandir e agravar problemas ambientais já observados em diversas regiões brasileiras, como falta. d’água, deslizamentos de encostas, inundações e secas (BRANCALION et al., 2016b).

Além de pôr em risco a oferta de água, a supressão e a ausência da restauração da vegetação nativa podem comprometer a sua qualidade (BRANCALION et al., 2016b). A consolidação de atividades agropecuárias em APPs e o estreitamento das faixas a serem recuperadas nas margens de rios e riachos podem prejudicar a função de filtro desempenhada pela vegetação nativa, que retém solo, agrotóxicos e fertilizantes (BICALHO et al., 2010). A redução de APPs também favorece o aporte de mais sedimentos para os cursos d’água, o que pode danificar as turbinas das hidrelétricas, diminuir a vida útil das represas e reduzir a produção de energia.

Proteger e recuperar ecossistemas ribeirinhos tornaram-se um grande desafio em paisagens dominadas pela agricultura, onde o interesse dos proprietários privados de maximizar os lucros da produção agrícola pode colidir com os interesses coletivos de impor restrições de uso da terra (CALMON et al., 2011; LATAWIEC et al., 2015).

As APPs também prestam um serviço ambiental de impacto regional e até global ao estocarem compostos de carbono e evitarem a emissão de gases de efeito estufa. Somente as Unidades de Conservação no Brasil (Lei nº 9.985/2000) cobrem 17% do território nacional (FERREIRA; VALDUJO, 2014) e impediram a emissão de 2,8 bilhões de toneladas de carbono para a atmosfera em relação ao cenário de desmatamento dessas áreas.

Outro serviço sob risco evidente é a estabilização de áreas mais vulneráveis a distúrbios, como topos de morro, encostas e vales. Todos os anos, centenas de pessoas morrem e milhares ficam desalojadas no Brasil em decorrência de desastres causados pelo uso ilegal da terra, enquanto governos gastam grandes quantias para mitigar essas perdas (MIN, 2014).

O cumprimento efetivo do Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) é fundamental para a preservação do que resta da flora, da fauna e dos mananciais brasileiros, uma vez que 53% da vegetação nativa remanescente no país se encontram em propriedades rurais particulares e não em Unidades de Conservação (SOARES-FILHO et al., 2014). A implantação do Novo Código Florestal também é essencial para recuperar as florestas que foram eliminadas das áreas legalmente protegidas em propriedades rurais e, assim, garantir os serviços ambientais, tais como o suprimento de água para a agropecuária e para o consumo humano, além de moderar os efeitos das variações climáticas em cada ecossistema. Tais serviços são indispensáveis tanto para o desenvolvimento agrícola como para o bem-estar e a segurança das populações que vivem no campo e nas cidades.

A restauração das APPs está alinhada às políticas internacionais de mitigação das mudanças climáticas, como o Desafio de Bonn (uma meta de 150 milhões de hectares restaurados até 2020), a Iniciativa 20 20 (20 milhões de hectares restaurados até 2020) e o Acordo de Paris, no qual o Brasil se comprometeu a restaurar 12 milhões de hectares até 2030 (BRANCALION et al., 2016a). Além disso, políticas nacionais, como a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Lei nº 8972, de 23 de janeiro de 2017) e o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG), regulam e fortalecem as bases para alcançar as metas nacionais (NUNES et al., 2019).

A vegetação nativa cobre aproximadamente 60% do território brasileiro, 40% em alguma forma de área pública protegida, como Unidades de Conservação e terras indígenas, e 60% em áreas públicas ou privadas (FERREIRA et al., 2012; SOARES-FILHO, 2018). Assim, as estratégias de conservação e restauração precisam incluir áreas públicas e privadas para garantir a manutenção dos serviços ecossistêmicos nas florestas, ciclos de água, qualidade da água, regulação do clima, sequestro de carbono e conservação da biodiversidade (CASTELLO et al., 2013; GRIMALDI et al., 2014).

## **4.2.HISTÓRICO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO BRASIL**

No Brasil, a regulamentação da exploração, da conservação e da recuperação da vegetação nativa em extensão nacional começou em 1934, com o primeiro Código Florestal Brasileiro, que buscava poupar da expansão desenfreada da agricultura trechos de vegetação nativa localizados em áreas que desempenhassem um papel ambiental importante, como as margens de rios e nascentes (BRANCALION et al., 2016b). O Código Florestal Brasileiro de 1934 estabeleceu as chamadas Áreas de Preservação Permanente (APPs) para proteger áreas ambientalmente frágeis de importância para apoiar o bem-estar humano, como encostas íngremes, nascentes de água, zonas ribeirinhas e topos de montanhas (BRANCALION et al., 2016b; GUIDOTTI et al., 2020).

Após mais de 30 anos, a Lei nº 4.471, de 1965, criou uma versão do Código Florestal mais efetiva e objetiva, com critérios mais claros para a conservação e o uso racional da vegetação nativa em propriedades rurais. Por exemplo, as dimensões das Áreas de Preservação Permanente (APPs) passaram a variar conforme a largura dos cursos d'água (BRANCALION et al., 2016b).

A Constituição Federal de 1988, que prevalece sobre as leis federais e estaduais, já contemplava em seu artigo 225 a proteção da flora e da fauna brasileiras e a preservação da função ecológica desempenhada por elas.

A partir da publicação da Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605, de 1998), os órgãos de controle e defesa ambiental passaram a intervir de forma mais efetiva e o descumprimento do Código Florestal de 1965 passou a originar sanções cíveis, administrativas e penais, bem como a imposição de medidas reparatórias.

Desde o fim dos anos 1990, parlamentares brasileiros já justificavam a necessidade de reformular o Código Florestal de 1965 (Lei nº 4.771/1965) com base em uma série de

argumentos. Segundo eles, era preciso corrigir a insegurança jurídica e as demandas adicionais de recuperação geradas pelas sucessivas alterações na lei. Também se deveria facilitar a regularização das propriedades que haviam descumprido a legislação anterior e tornar a legislação ambiental socialmente mais justa, ao amenizar as exigências de conservação nas pequenas propriedades rurais. Além disso, os parlamentares sugeriram reformar todo o Código Florestal de 1965 para autorizar a manutenção de certas atividades agropecuárias e a instalação de infraestrutura em áreas legalmente protegidas, mas historicamente usadas, como os cultivos de café, banana e uva em encostas íngremes e topos de morro e as plantações de arroz em várzeas. Assim, seria possível estabelecer um novo ponto de partida, com regras supostamente mais claras e condizentes com a realidade do meio rural brasileiro naquele momento.

A Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012), conhecida como a nova versão do Código Florestal, foi aprovada em 25 de maio de 2012, estabeleceu novos critérios, que resultaram na diminuição da vegetação protegida em relação à Lei nº 4.771/1965, como, por exemplo, mudanças na referência da calha de cursos hídricos e novos mecanismos que perdoaram ou anistiam os descumprimentos ao antigo código florestal ocorrido até julho de 2008 (GUIDOTTI et al., 2020).

### **4.3. ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE RIPÁRIAS**

As zonas ripárias são áreas de saturação hídrica da microbacia, encontradas principalmente ao longo das margens e nas cabeceiras da rede de drenagem (ATTANASIO et al., 2012). Exercem importante função do ponto de vista hidrológico e ecológico, contribuindo assim para a manutenção da saúde ambiental e da resiliência da microbacia hidrográfica (PERT et al., 2012).

O ecossistema ripário, em sua integridade, inclui a dinâmica da zona ripária, sua vegetação e suas interações e desempenha funções relacionadas à geração do escoamento direto em microbacias, ao aumento da capacidade de armazenamento e à manutenção da qualidade da água (efeito-tampão), além de promover estabilidade das margens dos rios, equilíbrio térmico da água e formação de corredores ecológicos (FAIL; HAINES; TODD, 1987; LIMA; ZAKIA, 2006; LOWRANCE et al., 1997; NAIMAN; DÉCAMPS, 1997).

Os ecossistemas ripários são conhecidos como Matas de Galeria ou Matas Ciliares. Estas, apesar de em muitas situações serem nomenclaturas utilizadas como sinônimos, se diferenciam, pois Mata Ciliar caracteriza a vegetação florestal presente às margens dos grandes

rios, onde as copas das árvores de uma margem não tocam as da outra margem (FELFILI et al., 2000).

Segundo Ribeiro e Walter (2008), as matas de galeria representam a vegetação florestal que acompanha os rios de pequeno porte e córregos dos planaltos do Brasil Central, formando corredores fechados (galerias) sobre o curso de água. Esta fisionomia geralmente localiza-se no fundo dos vales ou nas cabeceiras de drenagem onde os cursos de água ainda não escavaram um canal definitivo. A altura média do estrato arbóreo varia entre 20 e 30 metros, apresentando uma superposição das copas que fornecem cobertura arbórea de 70 a 95%.

Em geral, as matas de galeria apresentam-se em uma transição brusca com formações savânicas e campestres (SCARIOT; SOUSA-SILVA; FELFILI, 2005), isso ocorre principalmente pela influência da umidade do solo, que sob a mesma condição de fertilidade, é o fator preponderante na distribuição espacial das espécies (FELFILI, 1995). Diante disso, essas florestas acabam sendo catalizadoras e mantenedoras da diversidade de espécies, desempenhando uma função importante como refúgio natural da fauna principalmente durante a estação seca, quando o abrigo, umidade e alimento são escassos nas formações abertas (DIAS, 1992).

Essas formações florestais ripárias são áreas estratégicas e de alta fragilidade ambiental que desempenham papel importante na preservação de mananciais e recursos hídricos, para a estabilidade climática, hidrológica e geomorfológica, fluxo gênico de fauna e flora e proteção ao solo (OKUYAMA et al., 2012).

Visando a proteção dessas formações florestais, o Código Florestal de 2012, estabeleceu uma série de larguras mínimas de Áreas de Proteção Permanente ripárias. As faixas de APPs são definidas de acordo com a largura do corpo d'água, sendo a área mínima de vegetação a existir em cada margem, de 30 metros, entretanto, a efetividade dessas faixas de vegetação remanescente depende de vários fatores, dentre eles o tipo de serviço ecossistêmico considerado e a largura de vegetação preservada (SILVA et al., 2012).

Ao longo dos últimos anos, muitos estudos têm sido realizados sobre a bordado largura ideal para os fragmentos de vegetação ripária, como por exemplo: Mendonça et al. (2011) observaram que largura da mata em 30 metros não foi suficiente para reter sedimentos transportado por enxurradas provenientes de uma área cultivada a montante com algodão em sistema de preparo convencional do solo. Hansen et al. (2010) realizaram uma análise abordando estudos desenvolvidos na Austrália e apontaram que para a ideal manutenção das

espécies da fauna e da flora em matas ripárias, a largura-tampão recomendada em cada margem seria de: 100 metros em regiões de alta intensidade de uso do solo, 70 metros em áreas de moderado uso do solo e, no mínimo, 40 metros para locais com baixa intensidade de uso do solo. Metzger (2010) considerou que seria necessário um mínimo de 100 metros de área florestada em cada margem dos córregos do Cerrado para a manutenção da biodiversidade local. Já Silva-Júnior (2001) avaliou a efetividade do Código Florestal de 1965 na proteção de diversidade arbórea de matas de galeria no Distrito Federal e constatou que faixas de mata com larguras de 30 metros para os córregos estreitos não se mostraram efetivas para a proteção de toda a complexidade florística e estrutural encontrada nesses ambientes.

Assim, pode-se considerar que, do ponto de vista científico, a definição da largura da APP deveria respeitar o serviço ecossistêmico mais exigente, incluindo-se nessa avaliação a conservação da biodiversidade (SILVA et al., 2012). Esse respeito ao serviço ecossistêmico da vegetação riparia foi expressado no artigo 301 da Lei Orgânica do Distrito Federal que define como áreas de preservação permanente, entre outras, todos os remanescentes de matas ciliares ou de galerias.

#### **4.4.MONITORAMENTO DE ALTERAÇÕES NO USO E COBERTURA DA TERRA**

O mapeamento, a caracterização e a análise da dinâmica do uso e da cobertura da terra através de um monitoramento sistemático e periódico, utilizando sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, são fatores cruciais para lidar com o desafio de ordenar a ocupação do Distrito Federal (SANO et al., 2008). Por estar inserido no Bioma Cerrado, iniciativas de mapeamento do bioma têm sido utilizadas como fonte de dados para o monitoramento do uso e cobertura do solo no Distrito Federal (SANO et al., 2008).

Estimativas sobre a cobertura vegetal nativa e conversões para uso antrópico no Bioma Cerrado foram realizadas por meio de dados cadastrais (SANO, E. E.; JESUS, E. T. DE; BEZERRA, 2001) ou obtidos a partir de dados de sensores remotos (AGUIAR; MACHADO; MARINHO-FILHO, 2004; BRASIL, 2007; EVA et al., 2004; FERREIRA; VENTICINQUE; ALMEIDA, 2005; MACHADO et al., 2004; ROCHA et al., 2011; SANO et al., 2009).

Em 2013, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) fomentou a união de um grupo de instituições públicas brasileiras com ampla experiência em sensoriamento remoto, geoprocessamento e mapeamentos de larga escala para realizar a primeira versão do projeto intitulado Mapeamento do Uso e Cobertura Vegetal do Cerrado – TERRACLASS CERRADO. Esse projeto, idealizado para gerar dados compatíveis com a escala cartográfica 1:250.000,

utilizou como base de mapeamento 118 cenas do satélite Landsat 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI) do ano de 2013. A área mínima mapeável foi de 6,25 hectares (BRASIL, 2015) forma errada de citar. Segundo esse mapeamento, em 2013 aproximadamente 44% (88 milhões de hectares) do Bioma Cerrado já haviam sido convertidos em diferentes tipos de uso, com 55% (111 milhões de hectares) ainda cobertos por vegetação nativa (BRASIL, 2015; SANO et al., 2019). Entre 2002 e 2011, a taxa média de desmatamento no Cerrado foi por volta de 1% ao ano, cerca de 2,5 vezes maior do que a da Amazônia (STRASSBURG et al., 2017).

O projeto Mapbiomas foi lançado em julho de 2015, com o objetivo de contribuir para o entendimento da dinâmica do uso e mudança de cobertura da terra no Brasil e em outros países tropicais. Esse projeto é baseado no processamento digital das imagens do Landsat, abrangendo os anos de 1985 até os dias atuais recobrando todo o Brasil (MAPBIOMAS, 2020) Segundo dados do Mapbiomas, entre 1985 e 2019, o Distrito Federal perdeu 63.923,18 ha de cobertura vegetação nativa (MAPBIOMAS, 2020).

#### **4.5.UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE APPs**

Conforme Rosa (2005), a utilização de geotecnologias, como o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é fundamental para os estudos ambientais em geral, sendo elas utilizados na identificação, a tomada de decisão e o monitoramento das áreas de interesse.

O sensoriamento remoto e o processamento digital de imagens são considerados técnicas promissoras para reduzir a necessidade de métodos de mensuração em campo, sobretudo para grandes áreas e locais de difícil acesso (MASCARO et al., 2014; ZAHAWI et al., 2015). O sensoriamento remoto de coberturas vegetais e da atividade fotossintética tem sido utilizado em estudos de sazonalidade de vegetação nativa (BECERRA; SHIMABUKURO; ALVALÁ, 2009; DE OLIVEIRA SILVEIRA et al., 2008; HUETE et al., 2006), caracterização e identificação de fitofisionomias (COUTO JUNIOR et al., 2011; LIESENBERG; PONZONI; GALVÃO, 2007), desmatamento (JAMALI et al., 2015) e conservação da biodiversidade (TRACEWSKI et al., 2016), mas é negligenciado em estudos de restauração ecológica (BRANCALION et al., 2013; CORRÊA; DE MELO FILHO; DE MELLO BAPTISTA, 2007; PINHEIRO et al., 2009; STARR et al., 2013).

O sensoriamento remoto tem a capacidade de fornecer informações em períodos multidimensionais e múltiplos para complementar e direcionar a avaliação da vegetação (LI et al., 2010). Além disso, a análise espacial pode ser usada com imagens de sensoriamento remoto

para analisar a distribuição da condição da vegetação e o estado da vegetação, onde a recuperação bem-sucedida está ocorrendo (YUAN et al., 2018), analisando o limiar de vegetação entre áreas perturbadas e restauradas (ALDAY et al., 2014).

Segundo INPE (2006), os dados de sensoriamento remoto são fundamentais nos estudos ambientais, por fornecerem percepção sinóptica, que consiste na observação das feições naturais e/ou antrópicas e de suas inter-relações em grandes extensões de área; resolução temporal, que permite a coleta de informações em diferentes épocas do ano e em anos distintos, o que facilita os estudos da dinâmica ambiental de uma região; resolução espectral, que permite a obtenção de informações sobre um alvo em distintas faixas ou bandas espectrais, acrescentando assim uma infinidade de informações sobre as características físico-químicas dos alvos; resolução espacial, que possibilita a obtenção de informações em diferentes escalas, desde continentais, regionais e até locais.

Conforme Blaschke e Kux(2007), a grande vantagem dessas geotecnologias é que propiciam a aquisição e a manipulação de dados em diversas resoluções e escalas, desde imagens de satélites, aeronaves tripuladas, até imagens de Veículos Aéreos Não Tripulados.

#### **4.6. ANÁLISE DE IMAGEM ORIENTADA AO OBJETO GEOGRÁFICO (GEOBIA)**

O desenvolvimento recente de tecnologias voltadas ao imageamento espacial tornou possível a obtenção de dados com elevada resolução espacial, o que permite a extração, avaliação e monitoramento de forma mais detalhada. No entanto, esse detalhamento, acrescentou vários desafios, especialmente em termos de modelagem e procedimentos auto adaptativos. Nesse contexto, a abordagem de análise de imagem baseada em objetos (GEOBIA) provou ser uma alternativa à análise de imagem baseada em *pixels*, facilitando a extração de informações temáticas a partir de imagens de sensoriamento remoto (BAATZ; SCHAPE, 2000).

A GEOBIA baseia-se na ideia de que pixels não ocorrem isoladamente, mas sim integrados em uma imagem repleta de padrões espaciais que podem ser explorados de forma integrada a partir de métodos e técnicas de análises que utilizam como unidades básicas objetos ao invés de pixels (HAY; CASTILLA, 2006). Para Hay e Castilla (2008), na abordagem orientada a objetos, o fato de os elementos considerados não serem os pixels (manter um padrão: pixels ou pixels. Pixels é mais comum) isolados, mas grupos deles, propicia um significativo aumento no número de variáveis consideradas na classificação, pois além das informações espectrais, torna-se possível descrever cada região usando parâmetros em relação à forma do

objeto (área, altura, largura, densidade, altura da borda, entre outros), à textura, às relações entre objetos vizinhos, entre outros. Conforme observado por Blaschke et al. (2005), outra vantagem de uma análise por meio de GEOBIA é a facilidade de obtenção de informações em mais de uma escala de trabalho. Segundo o autor, não existe uma única escala correta para que sistemas sejam descritos espacialmente, sendo a escala mais apropriada aquela que permite a identificação de alvos semanticamente relevantes para os objetivos específicos que se almeja com uma representação do espaço geográfico.

Para Bertani, et al. (2013), a GEOBIA fornece um arcabouço metodológico que coloca à disposição tipos de análises mais diversificadas e customizáveis, com resultados mais acurados e ágeis. Além disso, possibilita a amostragem de imagens de diferentes sensores com diferentes resoluções, resultando em um conjunto de dados com alta dimensionalidade (DRONOVA, 2015).

#### **4.7.O PROGRAMA CBERS**

O Programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) teve início no final da década de 1980 e contemplou o desenvolvimento e construção de dois satélites de sensoriamento remoto: os satélites CBERS-1 e 2. Em 2002, foi assinado um acordo para a continuação do programa CBERS, com a construção de dois novos satélites, os CBERS-3 e 4, com novas cargas úteis. Porém, em função de o lançamento do CBERS-3 ser viável apenas para um horizonte em que o CBERS-2 já tivesse deixado de funcionar, com prejuízo para ambos os países e para os inúmeros usuários do CBERS. O Brasil e a China, em 2004, decidiram construir o CBERS-2B e lançá-lo em 2007. O CBERS-2B operou até o começo de 2010. O satélite CBERS-2B é muito semelhante aos CBERS-1 e 2, mas o IRMSS é substituído pela HRC - Câmera Pancromática de Alta Resolução.

O CBERS-3 foi lançado em 9 de dezembro de 2013, mas devido a uma falha ocorrida com o veículo lançador Longa Marcha 4B, o satélite não foi colocado na órbita prevista, resultando em sua reentrada na atmosfera da Terra. Após a falha do lançamento, Brasil e China decidiram antecipar o lançamento do CBERS-4 em um ano, sendo lançado em 7 de dezembro de 2014 com sucesso da base de Taiyuan, localizada a 500 km de Pequim (INPE, 2019).

Dando continuidade ao programa, no dia 20 de dezembro de 2019, foi lançado o CBERS 4A, também construído em parceria com a CAST Chinesa. Os sensores a bordo são semelhantes aos embarcados nos CBERS 3 e 4 (CBERS segunda geração). Porém, com melhorias na câmera imageadora chinesa, em relação à resolução geométrica e espectral disponível nas versões

anteriores. O CBERS 04A possui três sistemas imageadores: a Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM), a Câmera Multiespectral (MUX) e a Câmera Imageadora de Campo Largo (WFI);

A câmera WPM é a principal carga útil do CBERS 04A e seu objetivo é fornecer imagens com resolução panorâmica de 2m e resolução multiespectral de 8m simultaneamente na órbita do satélite. Suas principais características são estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1: Características Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (INPE, 2019).**

Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM)	
Características	Dados
Bandas Espectrais	P (pancromática): 0,45 - 0,90 $\mu\text{m}$ B1 (Azul): 0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$ B2 (Verde): 0,52 - 0,59 $\mu\text{m}$ B3 (Vermelho): 0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$ B4 (Infravermelho próximo): 0,77 - 0,89 $\mu\text{m}$
Resolução	2 m (pancromática) 8 m (multiespectral)
Largura da Faixa Imageada	92 km
Revisita	31 dias

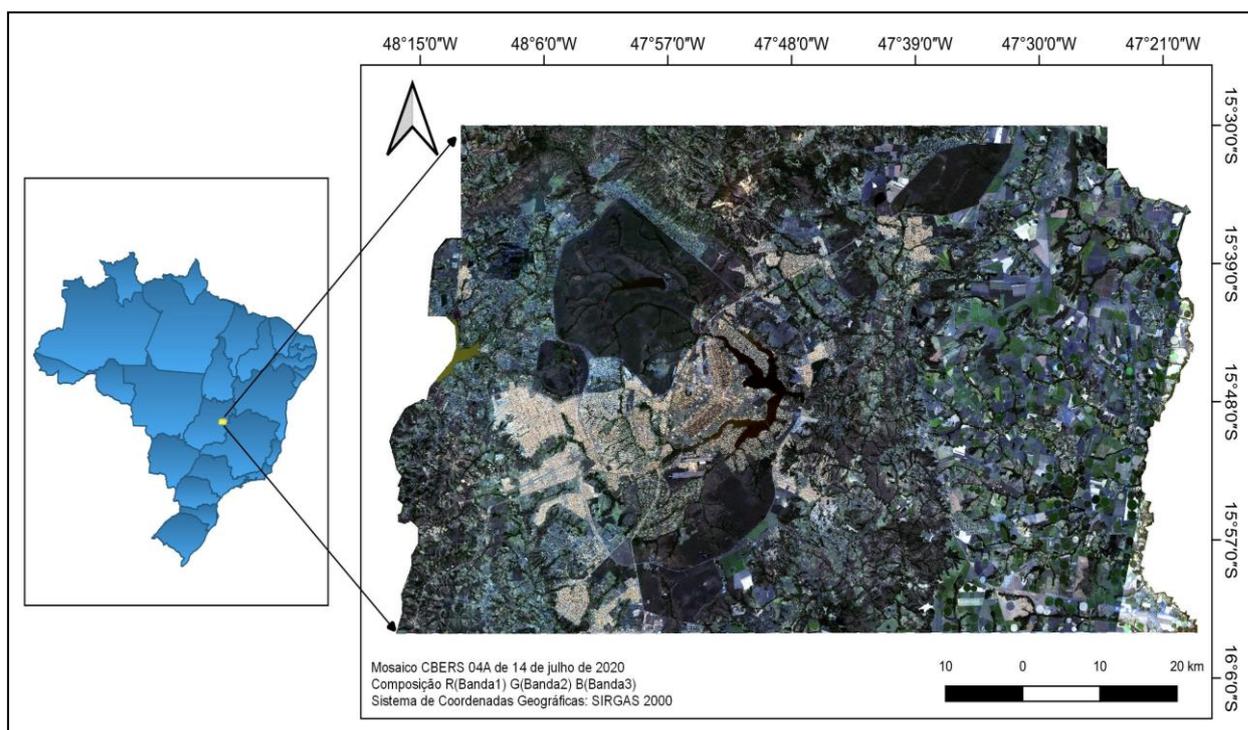
## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal – DF está localizado entre os paralelos de 15°30' e 16°03' de latitude sul e os meridianos de 47°25' e 48°12' de longitude oeste, a oeste de Greenwich (FRANÇA; SANO, 2011), na Região Centro-Oeste do Brasil. Ele ocupa uma área de 5.783 km<sup>2</sup>, que corresponde a 0,06% da área do território brasileiro (CODEPLAN, 2017).

Segundo a classificação climática *Köppen-Geiger* por Peel, Finlayson e McMahon, (2007), no Distrito Federal existem três tipos de clima, o Tropical de Savana – Aw, o subtropical úmido com invernos secos – Cwa e o Clima subtropical de altitude- Cwb, destacando-se o Aw, em que são nítidas duas estações, a primavera-verão - período chuvoso, e o outono-inverno-período seco.

**Figura 1: Imagem do Distrito Federal, CBERS 04A, composição RGB Bandas 1, 2 e 3 (autoria própria).**



Quanto aos solos, predominam no Distrito Federal (DF) os Latossolos, que ocupam 54,5% da área, sendo caracterizados como solos altamente intemperizados, resultantes da remoção de sílica e de bases trocáveis do perfil. Em consequência, concentram minerais secundários do grupo da caulinita, óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de Fe e Al como

hematita, goethita, gibbsita e outros (REATTO et al., 2004). Os Cambissolos se estendem por 31% do território distrital, restando 14% da área coberta por outras oito ordens de solo (9%) e corpos d'água (5%) (REATTO et al., 2004).

Inserido no centro da distribuição do Cerrado, o DF é bastante representativo quanto às fitofisionomias que caracterizam esse bioma (CAVALCANTI; RAMOS, 2001), compreendendo fitofisionomias naturais incluídas desde as típicas formações florestais, até formações campestres, destacando-se as formações savânicas, principalmente o Cerrado sentido restrito (CAVALCANTI; RAMOS, 2001).

O Distrito Federal integra a rede mundial de Reservas da Biosfera, com a Reserva da Biosfera do Cerrado, conforme a Lei Distrital nº 742, de 1994. A Reserva da Biosfera do Cerrado possui as seguintes zonas núcleo: o Parque Nacional de Brasília, as Estações Ecológicas de Águas Emendadas, do Jardim Botânico de Brasília e da Universidade de Brasília, a Reserva Ecológica do IBGE e o Jardim Botânico de Brasília (FELIZOLA; LAGO; GALVÃO, 2001). De fundamental importância para o sucesso da Reserva da Biosfera do Cerrado, os corredores ecológicos formados pelos fragmentos de vegetação, principalmente em áreas ribeirinhas, são elos de vegetação nativa ou restaurada, que unem as três áreas nucleares e permitindo, dessa forma, a movimentação da vida selvagem e o fluxo gênico (UNESCO, 2002).

A dinâmica de formação da paisagem do Distrito Federal está intimamente relacionada aos intensivos processos de adensamento da malha urbana e do crescimento da ocupação agrícola que se intensificaram após a construção da capital no interior do Planalto Central nos anos 1950, sendo esses considerados os principais componentes das modificações territoriais e da redução da área ocupada pela vegetação de cerrado (UNESCO, 2002).

Felizola *et al.* (2001) analisaram a dinâmica da paisagem do Distrito Federal e apontaram 4 polos responsáveis pelo processo de dinamização do crescimento urbano, um de caráter centralizador, que corresponde ao Plano Piloto de Brasília e outro complementar que corresponde ao eixo formado pelas cidades satélites de Taguatinga, Ceilândia, Samambaia e Recanto da Emas. Além destes, também foi verificado a existência de 2 outros centros dinamizadores da ocupação urbana: Gama/Santa Maria e Sobradinho/Planaltina, onde existe um grande crescimento das atividades de parcelamento do solo com fins urbanos.

Mapeamento de uso do solo realizado em 2018 no âmbito do Projeto TerraClass Cerrado em escala de 1:250.000, mostrou que o Distrito Federal dispunha de 243.400 hectares de áreas

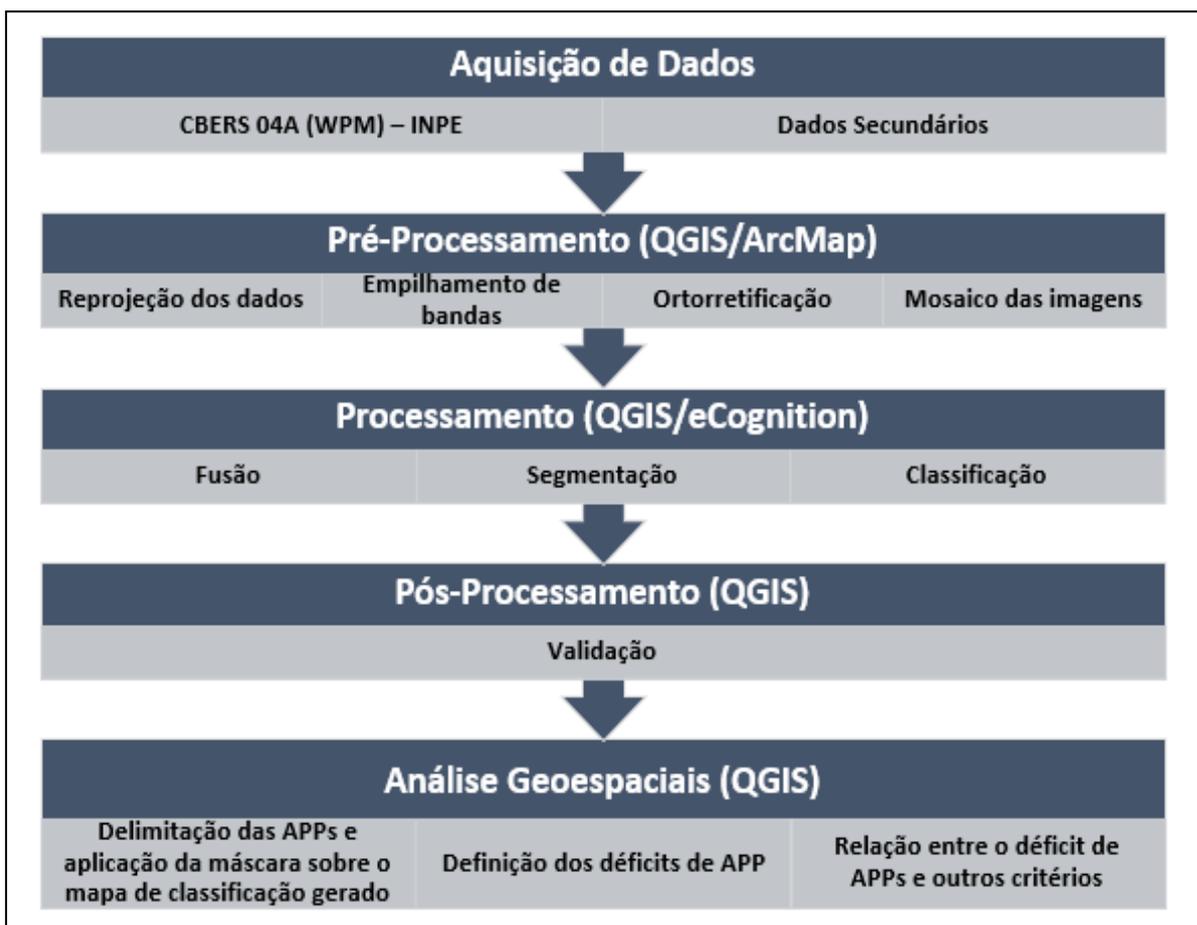
de vegetação natural correspondendo à 42,11% da área total do Distrito Federal.(Ministério do Meio Ambiente, 2015; Sano et al., 2019).

Já o projeto Mapbiomas (Escala 1:100.000) registrou em 2019 uma área ocupada por vegetação nativa no Distrito Federal de 244.530 hectares representando 42,45% da área total do Distrito Federal (MAPBIOMAS, 2020).

## 5.2.METODOLOGIA APLICADA

A metodologia utilizada no presente estudo segue o fluxograma apresentado na Figura 2 e consiste nas etapas de aquisição dos dados, processamento e validação da classificação realizada, tendo sido utilizados nessas etapas os *softwares* QGIS 3.16.6, ArcMap 10.6.1 e eCognition Developer 9.

**Figura 2: Fluxograma da metodologia desenvolvida neste trabalho.**



## 5.3.AQUISIÇÃO DOS DADOS

### 5.3.1. IMAGEM CBERS 04A

Foi utilizado como dado primário uma imagem obtida a partir da Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) embarcada no satélite CBERS 04A. Ela oferece além das três bandas espectrais do visível, 0,45-0,52 $\mu\text{m}$  (azul), 0,52-0,59 $\mu\text{m}$  (verde) e 0,63-0,69 $\mu\text{m}$  (vermelho), o infravermelho próximo (0,77-0,89 $\mu\text{m}$ ) e uma banda pancromática (0,45-0,90  $\mu\text{m}$ ). A câmera WPM, com resolução espacial de 2m na banda pancromática e 8m nas bandas multiespectrais, com revisita de 31 dias e faixa de imageamento de 92km, é apropriada para estudos urbanos que requerem informações detalhadas (INPE, 2019). O CBERS 04A foi escolhido pois, além de apresentar características de resolução temporal, espacial e espectral ideais para a finalidade do presente trabalho, ainda é disponibilizado de maneira gratuita pelo sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>), sendo o produto disponibilizado em formato GeoTIFF e pré-ortorretificado.

Foram selecionadas para o presente trabalho cinco cenas CBERS 04A (Tabela 2), recobrando toda a área do Distrito Federal e se observando a menor cobertura de nuvens entre julho e agosto, bimestre que em 2020 apresentou a menor taxa de precipitação (INMET, 2020). Esses meses representam parte da estação seca na região, quando são medidos os menores valores de atividade fotossintética no Cerrado (BECERRA; SHIMABUKURO; ALVALÁ, 2009; DE OLIVEIRA SILVEIRA et al., 2008).

**Tabela 2: Cenas e datas selecionadas para obtenção dos dados CBERS 04A (WPM).**

CENA	DATA
path: 207, row: 132	14/07/2020
path: 207, row: 133	14/07/2020
path: 206, row: 132	14/07/2020
path: 206, row: 133	14/07/2020
path: 205, row: 133	19/08/2020

Liesenberg, Ponzoni e Galvão (2007) analisaram a dinâmica sazonal e a separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do Cerrado com índices de vegetação e concluíram que a discriminação entre as fitofisionomias melhorou da estação chuvosa para a seca, período em que se verificou máxima separabilidade espectral. Segundo Huete *et al.* (2006), isso ocorre porque a disponibilidade hídrica das áreas floresta propiciaria uma estabilidade na atividade fotossintética e consequente produção de fitomassa foliar mantida na época seca.

### 5.3.2. AQUISIÇÃO DE DADOS SECUNDÁRIOS

No presente trabalho, foi utilizada uma série de dados geográficos obtidos a partir de plataformas governamentais oficiais ou plataformas de programas de mapeamento com dados validados, publicados e amplamente utilizados no meio acadêmico.

Na Tabela 3 listam-se os dados utilizados, citando sua fonte e breve explicação sobre os mesmos.

Todos os dados vetoriais obtidos das bases de dados tiveram suas geometrias corrigidas para correta adequação aos dados primários.

**Tabela 3: Conjunto de dados secundários utilizado no presente estudo.**

<b>Dados</b>	<b>Fontes</b>	<b>Descrição</b>
<b>Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017</b>	Catalogo de Metadados ANA disponível em: <a href="https://metadados.snirh.gov.br/">https://metadados.snirh.gov.br/</a>	A Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (BHO) é gerada a partir da cartografia digital da hidrografia do país e organizada de modo a gerar informações hidrológicamente consistentes. Uma característica essencial dessa representação é ser topologicamente consistente, isto é, representar corretamente o fluxo hidrológico dos rios, por meio de trechos conectados e com sentido de fluxo. Para o Distrito Federal possui detalhamento da hidrografia em escala de 1:10.000.
<b>Áreas de Preservação Permanente</b>	Sistema Distrital de Informações Ambientais – SISDIA	Áreas de Preservação Permanente estabelecidas na Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012: - APP - Borda de Chapada (Fonte: SEMA)

	Disponível em: <a href="https://sisdia.df.gov.br/webgis/">https://sisdia.df.gov.br/webgis/</a>	- APP – Topos de Morro (Fonte: SEMA) - APP - Declividade (Fonte: SEMA) - APP - Nascente (Fonte: SEMA) - APP - Lagos e Lagoas naturais (Fonte: SEMA/SEDUH/ADADSA) - APP – Reservatórios d’água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d’água naturais (Fonte: SEMA/SEDUH/ADADSA)
<b>Unidade de Conservação</b>	Sistema Distrital de Informações Ambientais – SISDIA  Disponível em: <a href="https://sisdia.df.gov.br/webgis/">https://sisdia.df.gov.br/webgis/</a>	Unidades de Conservação previstas Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (Lei Federal nº 9.985/2000) e em âmbito distrital pela Lei Complementar nº 827/2010, também conhecida como Sistema Distrital de Unidades de Conservação – SDUC.
<b>Mapas de cobertura do solo dos anos de 1985, 2008 e 2019</b>	Disponível em: <a href="https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/">https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/</a>	Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias) em escala de 1:100.000.
<b>Macrozoneamento do Plano Distrital de Ordenamento Territorial - PDOT</b>	Disponível em: <a href="https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/">https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/</a>	Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT/09, aprovado pela Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009, e atualizado pela Lei Complementar nº 854/2012.
<b>Índice de Vulnerabilidade Social do Distrito Federal–IVS-DF</b>	Disponível em: <a href="http://infodf.codeplan.df.gov.br/">http://infodf.codeplan.df.gov.br/</a>	O Índice de Vulnerabilidade Social é um indicador composto por uma cesta de indicadores simples que retratam aspectos da vulnerabilidade social vivenciada pela população do Distrito Federal, desagregados por Regiões Administrativas.

## 5.4. PRÉ-PROCESSAMENTO

As imagens CBERS são disponibilizadas pelo INPE em cinco níveis de produtos, desde a imagem bruta até a imagem ortorretificada. No presente trabalho, foram utilizadas as imagens em nível 4 de processamento, ou seja, com correção radiométrica e correção geométrica de sistema, refinada pelo uso de pontos de controle e de um Modelo Numérico de Elevação do Terreno (COSTA; DA SILVA; MACHADO E SILVA, 2007).

A primeira etapa de pré-processamento consistiu na reprojeção dos rasters e dados vetoriais obtidos para o Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000. Após esse procedimento, foi realizada verificação visual prévia da qualidade aparente das imagens CBERS 04A obtidas, observando-se, em especial, a ocorrência de erros relevantes nos dados, em extensão e intensidade que pudessem afetar de forma importante as etapas posteriores.

Depois de verificados, os arquivos foram submetidos à união de bandas em um mesmo arquivo (empilhamento), onde foi utilizada uma composição de bandas falsa-cor tendo como fonte as bandas 1,2,3 e 4, sendo utilizados os canais RGB (banda 2-B, banda 3-G e banda 4-R).

Após a composição de bandas, as cinco imagens CBERS 04A (WPM) geraram um mosaico, que foi unido em um único raster e, posteriormente, recortado com a utilização de máscara formada pela extensão do Distrito Federal.

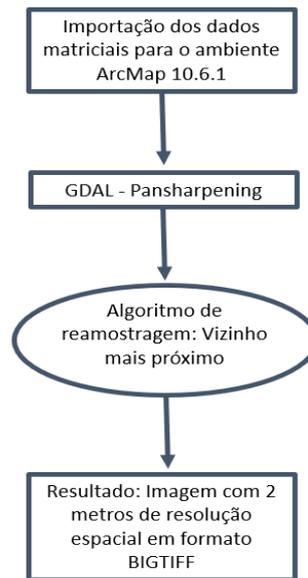
O raster gerado passou por novo georreferenciamento, que foi executado por meio do método *image-to-image*. Como imagem de referência foi utilizado um mosaico de ortofotos do Distrito Federal de 2015, com resolução de 0,24cm, fornecido pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN/DF). O procedimento de georreferenciamento se deu mediante a seleção de pontos espacialmente comuns entre as imagens, considerando-se como limite de erro aceitável 1 pixel ( $RMS \leq 1$ ).

## 5.5. FUSÃO DAS IMAGENS

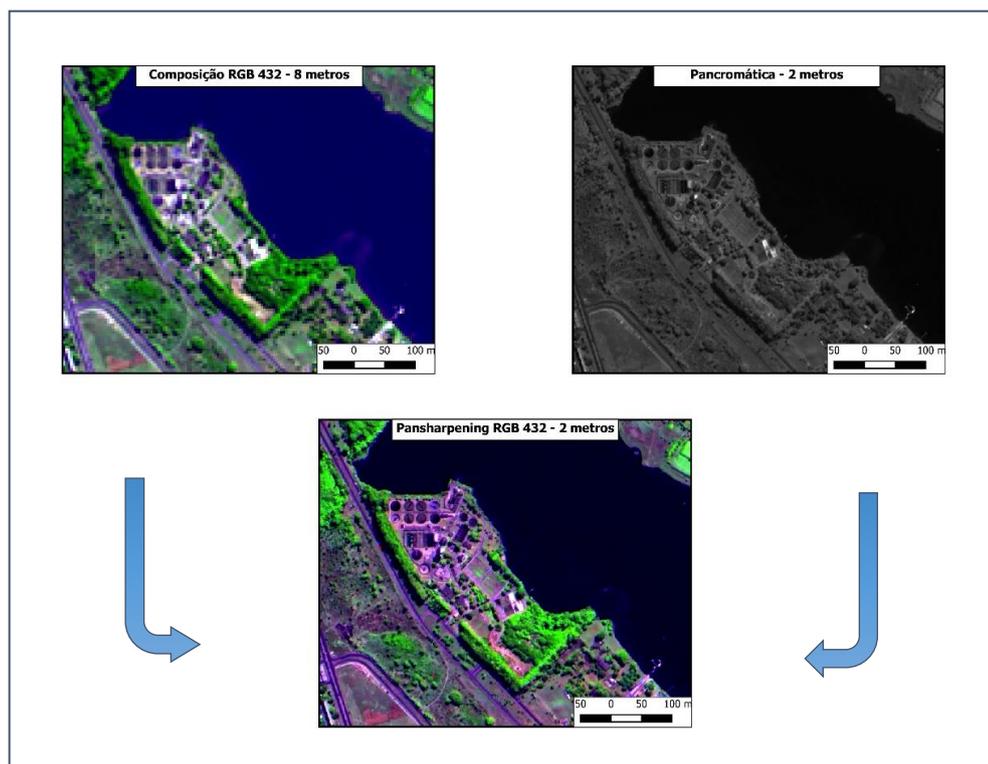
Ainda na fase de pré-processamento, procedeu-se a operação de melhoramento da imagem por meio de fusão. Essa técnica conhecida como *pansharpening* é usada de modo a integrar o detalhe geométrico de uma imagem de alta resolução pancromática, numa imagem multiespectral de menor resolução, com o objetivo de produzir uma imagem multiespectral de alta resolução (ZHANG, 2004). Hofmann (2001) recomenda a técnica de fusão, afirmando que é uma etapa de pré-processamento indispensável antes de uma classificação orientada a objetos. Foi utilizado o software ArcMap 10.6.1 para fusão de imagens seguindo os procedimentos

apontados na Figura 3, visando obter uma imagem que combine as características geométricas e espectrais da imagem pancromática, sem perder as suas características, a fim de obter uma imagem com uma resolução espacial de 2m para as duas composições coloridas anteriormente construídas, de modo a melhorar os desempenhos da segmentação e classificação.

**Figura 3: Procedimentos efetuados nos processos de melhoramento de imagem.**



**Figura 4: Resultado da fusão das bandas multiespectrais com a banda pancromática.**



## 5.6.DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS A UTILIZADOS NA CLASSIFICAÇÃO

No processo de classificação serão utilizados os seguintes atributos: Índices de Vegetação, Textura baseada em matriz de co-ocorrência de nível cinza (GLCM), Análise de Componentes Principais (PCA) e estatísticas locais para a banda do vermelho e NIR (Média, a Variância, a Distorção e a Kurtose).

### 5.6.1. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Visando ampliar os dados disponíveis para a etapa de classificação, foram gerados os índices espectrais de vegetação NDVI e SAVI a partir da imagem pancromática.

Os índices de vegetação são utilizados para realçar a Reflectância da vegetação por meio da combinação de determinadas regiões do espectro eletromagnético (HUETE et al., 2002). A combinação das bandas está baseada na Reflectância da vegetação, principalmente, nas regiões do visível (Vermelho) e no Infravermelho próximo (NIR). A Reflectância da vegetação está ligada aos pigmentos da planta que são responsáveis pela absorção, reflexão e transmissão da radiação eletromagnética incidente.

#### 5.6.1.1. NDVI

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) é o índice de vegetação mais empregado no mundo, que, ao realçar o contraste da radiação refletida nos intervalos espectrais do vermelho e infravermelho, que é diretamente proporcional à atividade fotossintética, favorece a identificação das distintas fitofisionomias, bem como os impactos relacionados à atividade antrópica (MASCARENHAS; FERREIRA; FERREIRA, 2011). Desenvolvido por Rouse et al. (1974), o índice se caracteriza como a diferença normalizada das reflectâncias das bandas do NIR e vermelho.

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (1)$$

Em que R é valor de reflectância na faixa espectral do vermelho e NIR é valor de reflectância na faixa espectral do NIR.

O NDVI é representado por valores que variam de -1 a 1 e quanto mais próximo de 1, maior será a cobertura vegetal densa e bem desenvolvida (Ponzoni & Shimabukuro, 2009). De maneira geral, em cenas com vegetação, o NDVI varia de 0,1 a 0,6 (Lourenço e Landim, 2007).

Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2009), o limite superior pode aproximar-se de 0,80, o que, de acordo com Silva, Ribeiro e Centeno (2007), está associado à vegetação vigorosa.

#### **5.6.1.2. SAVI**

O *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), desenvolvido por Huete (1988), foi proposto devido às limitações observadas no Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Desenvolveu-se então um índice que pudesse melhorar os valores de NDVI sem necessidades de medições em campo (JENSEN, 2007). Para tanto, foi proposto um índice melhorado a partir de uma constante, determinada “L” para o fator de ajuste com o substrato do dossel. A constante L pode apresentar valores variáveis de 0 a 1, variando segundo a própria cobertura vegetal.

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é obtido pela multiplicação de  $1 + L$  pela razão entre a diferença da reflectância do infravermelho próximo (NIR) pela reflectância do vermelho (R), dividida, respectivamente, pela soma das mesmas “L”. Para este índice, Huete (1988) propôs a expressão:

$$SAVI = \frac{(1 + L) * (NIR - R)}{(NIR + R + L)} \quad (2)$$

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) mede ou aproxima a distância entre o *pixel* e a linha do solo retirando o efeito dos solos claros ou escuros amenizando assim os efeitos do background do solo (HUETE, 1988). Os valores obtidos da classificação SAVI também variam em range negativo-positivo (-1,5 à 1,5), onde áreas com presença de alguma vegetação o valor é positivo e áreas sem vegetação, corpos d’água e nuvens o valor geralmente é negativo (HUETE, 1988; PONZONI; SHIMABUKURO; KUPPLICH, 2012).

#### **5.6.2. TEXTURA BASEADA NA MATRIZ DE CO-OCORRÊNCIA DE NÍVEL CINZA**

A textura é um efeito visual criado pela distribuição espacial de variações tonais em uma imagem (BARALDI; PANNIGGIANI, 2019). Diferentes características texturais são fonte potencial de informações acessórias e valiosas para melhorar a precisão de classificação (BERBEROGLU et al., 2000; HEROLD; HAACK; SOLOMON, 2004; MISHRA et al., 2017; RAJESH et al., 2001). A matriz de co-ocorrência de nível cinza (GLCM) é um método amplamente utilizado para extrair informações texturais de imagens (HARALICK; DINSTEN; SHANMUGAM, 1973; MARCEAU et al., 1990).

Foram extraídos um conjunto de oito características locais de Haralick: Energia (textura uniformidade) , Entropia (medida de aleatoriedade da imagem de intensidade), Correlação (quão correlacionado um pixel está a sua vizinhança), Momento de Diferença Inversa (mede a homogeneidade da textura), Inércia (contraste de intensidade entre um pixel e sua vizinhança), Sombra de Cluster, Destaque de Cluster, Correlação de Haralick.

### **5.6.3. ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)**

A Análise de Componentes Principais (PCA) é uma técnica de transformação estatística multivariada, que se baseia em propriedades estatísticas de representações vetoriais. A PCA fornece um meio sistemático de reduzir a dimensionalidade de dados multiespectrais. Para realizar a PCA, os eixos do espaço espectral são girados, o que altera as coordenadas de cada *pixel* no espaço espectral, bem como os valores dos dados. Os componentes principais são independentes uns dos outros; uma combinação de cores dos três primeiros componentes pode ser útil para fornecer separação visual máxima dos recursos da imagem (MUKHERJEE et al., 2009).

A ideia central da PCA é reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados consistindo de um grande número de variáveis interrelacionadas, mantendo o máximo possível da variação presente no conjunto de dados. Isso é conseguido transformando-se em um novo conjunto de variáveis, os principais componentes (PCs), que não são corrigidos, e que são ordenados para que os primeiros mantenham a maior parte da variação presente em todas as variáveis originais (DENG et al., 2008).

### **5.6.4. ESTATÍSTICAS LOCAIS PARA A BANDA DO VERMELHO E NIR**

Foram utilizados quatro procedimentos estatísticos locais para as bandas do vermelho e NIR: a Média, a Variância, a Distorção e a Kurtose.

## **5.7.SEGMENTAÇÃO**

A análise de imagens orientada a objetos é realizada a partir de um processo de segmentação que ocorre mediante um procedimento de otimização que, para um dado número de objetos, objetiva minimizar a heterogeneidade média e maximizar a homogeneidade de atributos relevantes (BLASCHKE, 2010). Os objetos com características comuns são agrupados em classes e estas são organizadas em forma de uma rede hierárquica, onde as classes de um nível inferior herdam as características da classe do nível superior. Parte-se do princípio

de que a informação semântica necessária à interpretação de uma imagem não se restringe às informações espectrais e radiométricas dos pixels, sendo composta pelas informações dos objetos da imagem, bem como pelas suas relações de vizinhanças (Baatz et al., 2004). Permite-se, dessa forma, combinar pixels com atributos similares em objetos maiores e, ao mesmo tempo, discriminar os alvos de interesse (VIEIRA et al., 2012).

O resultado de uma segmentação é influenciado por vários fatores, tais quais a qualidade da imagem, o número de bandas consideradas e a complexidade dos alvos na área de interesse da cena (BELGIU; DRĂGUȚ, 2014; FORTIN et al., 2000). Neste sentido, o melhor resultado da segmentação, é a que fornece informação otimizada para posterior processamento (HOFMANN; PUZICHA; JORDAN, 1999).

A segmentação multiresolução é uma técnica de união de regiões do tipo bottom-up que particiona a imagem em objetos a partir de um critério de homogeneidade (BAATZ; SCHAPE, 2000). Neste processo, os objetos serão fundidos ou não, de acordo com critérios de decisão, nomeadamente o critério de homogeneidade e o parâmetro de escala (BAATZ; SCHAPE, 2000).

No presente estudo, a segmentação multiresolução foi realizada por meio do software eCognition Developer 9, que apresenta além dos parâmetros de escala, compacidade e forma, apresenta a opção de atribuir diferentes pesos a cada uma das bandas das imagens que serão segmentadas.

O primeiro passo foi a definição do peso de cada banda utilizada, ou seja, a importância que cada banda iria possuir no processo da segmentação (Tabela 4). Nesse caso, o valor de 0,5 foi dado para as bandas do Azul e do Verde e 1,0 foi dados para o Vermelho e NIR, visto que são bandas importante para a delimitação dos corpos de água e separação entre a vegetação e o não vegetado.

Após a definição do peso, passou-se para etapa de definição do parâmetro escala, e o critério de homogeneidade, que inclui a forma e a compacidade. O parâmetro escala determina a heterogeneidade dos objetos, ou seja, objetos resultantes de dados heterogêneos irão ser menores do que dados homogêneos (TRIMBLE, 2007). Dessa forma, ao variar o parâmetro escala, os objetos criados vão variar de tamanho.

Já o parâmetro da forma modifica a relação entre os critérios: forma e cor. Aumentando ou diminuindo o seu valor, define-se a percentagem com que os valores espectrais da imagem irão contribuir para a homogeneidade dos objetos (TRIMBLE, 2007).

**Tabela 4: Peso das bandas CBERS 04A no processo de segmentação.**

<b>Bandas</b>	<b>Designação</b>	<b><i>Image Later Weights</i></b>
B1	BLUE	0,5
B2	GREEN	0,5
B3	RED	1
B4	NIR	1

Por fim, a critério da compacidade é usado para otimizar os objetos em uma imagem, sendo utilizado quando diferentes objetos na imagem estão bastante compactos, mas estão separados por objetos não compactos apenas por um contraste espectral relativamente fraco (TRIMBLE, 2007).

A metodologia da segmentação seguiu a proposta por Castro et al.(2017) com a realização de testes de segmentação alterando um dos parâmetros enquanto os demais permaneciam fixos. Ao fim, ficaram estabelecidos os valores descritos na Tabela 5.

**Tabela 5: Valores dos parâmetros de escala, forma e compacidade utilizados na segmentação.**

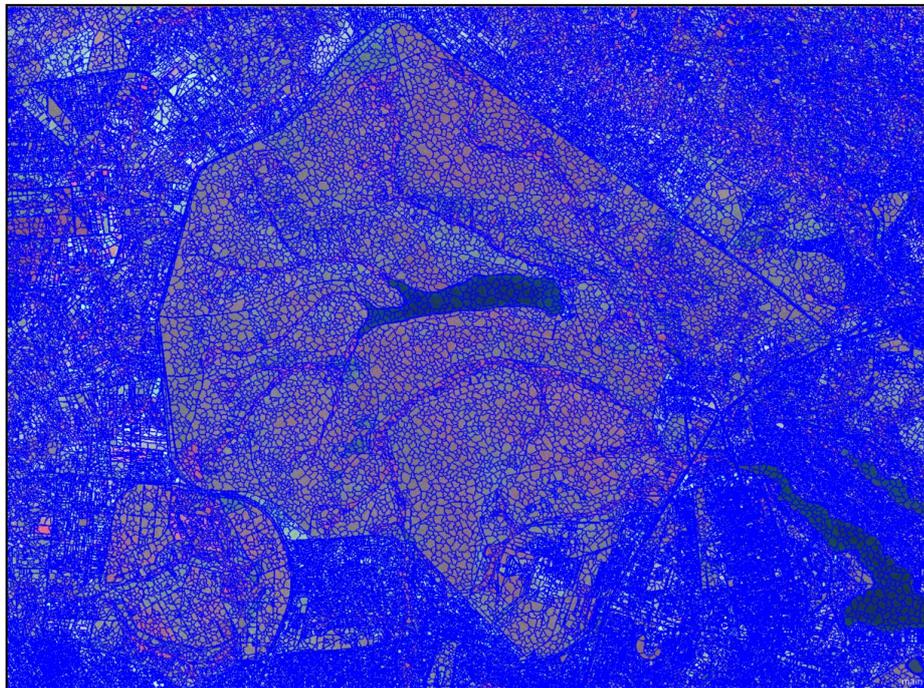
<b>Crítérios para segmentação</b>	<b>Valores</b>
<b>Escala</b>	80
<b>Forma</b>	0.4
<b>Compacidade</b>	0.8

Na Figura 5, verifica-se que os valores utilizados nos critérios para a segmentação mostraram-se satisfatórios para um ótimo delineamento dos objetos.

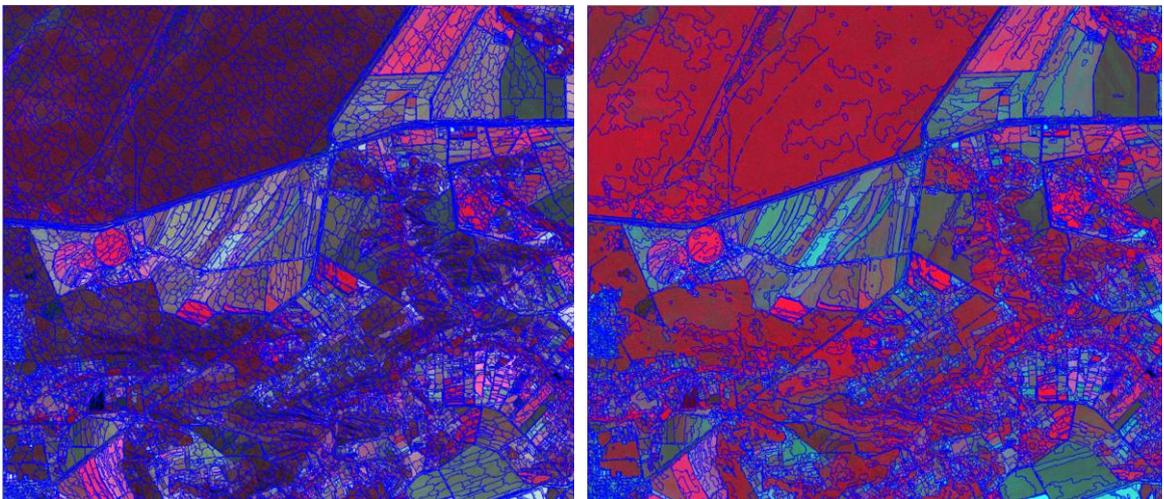
Após o processo de segmentação multiresolução, foi utilizado um novo processo de segmentação sobre os resultados obtidos visando aprimorar os segmentos para a classificação. A *Spectral Difference Segmentation* permite que sejam mesclados objetos de imagens vizinhas

se a diferença entre suas intensidades médias de camada estiver abaixo do valor dado pela diferença espectral máxima. Ele foi projetado para refinar os resultados de segmentação existentes, mesclando objetos de imagem espectralmente semelhantes produzidos por segmentações anteriores e, portanto, é uma segmentação de baixo para cima (TRIMBLE, 2007). Após vários testes, concluiu-se que o valor 10 apresentou resultados satisfatórios quanto à segmentação da imagem.

**Figura 5 : Resultado do processo de segmentação *multiresolution*.**



**Figura 6 : Resultado do processo de *Spectral Difference Segmentation*.**



## 5.8.CLASSIFICAÇÃO

Finalizada a fase de segmentação, iniciou-se o processo de classificação dos objetos anteriormente segmentados. O *software eCognition* suporta diferentes técnicas de classificação supervisionada e métodos diferentes para gerar áreas de interesse e construir uma base de conhecimento para a classificação orientada a objetos de uma imagem (TRIMBLE, 2007). A estrutura base de conhecimento para a análise e classificação de objetos de uma imagem é chamada hierarquia de regras, na qual, as regras são agrupadas de forma hierárquica, oferecendo uma variada gama de estratégias para análise.

Tendo em vista que o objetivo principal desse trabalho é quantificar a cobertura vegetal nativa, foram utilizados dois níveis de classificação visando a uma melhor delimitação entre vegetação nativa e os demais usos do solo.

O primeiro nível objetivou a obtenção da área útil da imagem a ser utilizada em etapas posteriores e a identificação da classe corpo d'água. Foram utilizadas regras de classificação baseadas nos índices de vegetação NDVI e SAVI para a segregação entre as classes: Vegetação (dividida entre Formação Florestal e Demais Formações), Não Vegetação (demais áreas sem cobertura vegetal) e Água. Para isso, foi utilizado o algoritmo “*Assign Class*”, que usa uma condição de limite (*Threshold Condition*) para determinar se um objeto pertence a uma classe ou não.

No segundo nível, visando à separação entre classes de vegetação, foi realizada a classificação supervisionada utilizando o algoritmo *Nearest Neighbor* - NN que utiliza amostras e seus atributos para a segregação das classes.

A classificação *Nearest Neighbor* no *eCognition* é baseada em um algoritmo de classificação difusa e objetos de imagem classificados têm uma associação a mais de uma classe. Quanto menor é a diferença entre os objetos da amostra e os objetos a serem classificados, maior é o valor de adesão. Quanto melhor o grau de adesão entre a melhor e a segunda melhor classe, melhor será a estabilidade de classificação de uma imagem objeto (LALIBERTE et al., 2006).

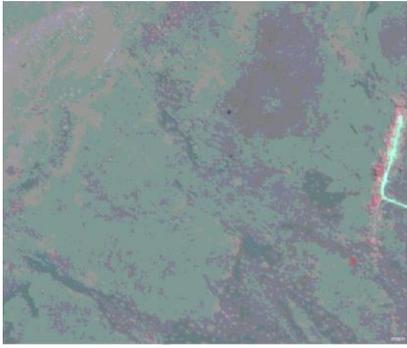
A coleta das amostras de treinamento foi feita para cada classe através das ferramentas “*Select Samples*” e “*Sample Editor*”. A primeira possui a função de coletar as amostras, enquanto a *Sample Editor* tem a função de mostrar os valores de cada atributo sobre a amostra coletada e o seu nível de pertencimento para cada classe.

As imagens foram submetidas à interpretação visual com o objetivo de coletar amostras de treinamento pertencentes às classes Vegetação Nativa e Vegetação Antrópica. Para a definição das classes, foi utilizado como referência as chaves de classificação utilizadas no Projeto TerraClass Cerrado. As feições relacionadas à classe Naturais referem-se a áreas florestais, de cerrado arborizado e formações campestres (Tabela 6). Já as feições relacionadas à classe Antrópica referem-se principalmente a área de agricultura (anual e perene), silvicultura e pastagem plantada (Tabela 7).

Para melhor identificação das classes por meio de interpretação visual, adotou-se composição colorida com a banda do infravermelho próximo – NIR no canal vermelho (R), banda do Vermelho no canal verde (G) e banda do verde 3 no canal azul (B).

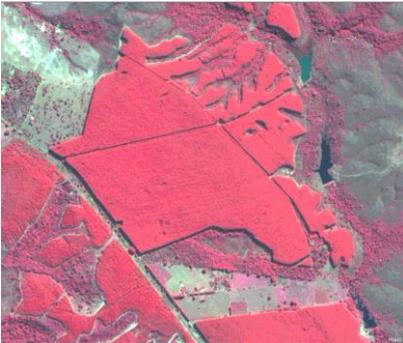
**Tabela 6: Feições naturais do Cerrado de interesse para o mapeamento e características relevantes para sua identificação.**

<b>Vegetação Nativa</b>		
<b>Feições</b>	<b>Imagem CBERS 04<sup>a</sup> Composição 4(R),3(G),2(B)</b>	<b>Interpretação Visual</b>
<b>Florestal</b>		Cor: vermelho
		Tonalidade: escura
		Textura: rugosa
		Forma: irregular a regular
		Contexto: áreas de vegetação arbórea com predominância de dossel contínuo
<b>Vegetação Nativa Não Florestal (Savânica)</b>		Cor: vermelho/marrom
		Tonalidade: escura
		Textura: rugosa
		Forma: irregular a regular

		Contexto: áreas de vegetação com formação arbustivo-herbáceas, sem dossel contínuo
<b>Vegetação Nativa Não Florestal (Campestre)</b>		Cor: verde
		Tonalidade: escura
		Textura: lisa
		Forma: irregular
		Contexto: áreas de vegetação predominantemente herbáceas com eventual ocorrência de espécies arbóreas e arbustivas

**Tabela 7: Feições antrópicas de interesse para o mapeamento e características relevantes para sua identificação. As feições de interesse foram agrupadas na classe antrópico.**

<b>Vegetação Antrópica</b>		
<b>Feições</b>	<b>Imagem CBERS 04<sup>a</sup> Composição 4(R),3(G),2(B)</b>	<b>Interpretação Visual</b>
<b>Agricultura (anual ou perene)</b>		Cor: verde claro, magenta, vermelho
		Tonalidade: clara a média.
		Textura: lisa.
		Forma: regular.

		<p>Contexto: áreas vegetadas geralmente compostas por uma única espécie de interesse comercial</p>
<p><b>Silvicultura</b></p>		<p>Cor: vermelho</p> <hr/> <p>Tonalidade: escura</p> <hr/> <p>Textura: lisa a intermediária</p> <hr/> <p>Forma: regular</p> <hr/> <p>Contexto: áreas com vegetação</p>
<p><b>Pastagem Plantada</b></p>		<p>Cor: verde claro</p> <hr/> <p>Tonalidade: média a clara</p> <hr/> <p>Textura: lisa a intermediária</p> <hr/> <p>Forma: regular a irregular</p> <hr/> <p>Contexto: áreas geralmente</p>

O processo de interpretação visual considerou características importantes dos objetos, tais quais: cor, tonalidade, textura. Foram coletadas, no total, 3.147 amostras, sendo 2.317 amostras para Vegetação Nativa e 830 para Vegetação Antrópica.

Por fim, nessa etapa foram considerados para a classificação atributos espectrais baseados no objeto (resposta espectral média ou desvio padrão para cada uma das bandas), índices de textura (homogeneidade, energia e entropia) e índices espectrais (NDVI, SAVI, NDWI).

## 5.9. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO MAPEAMENTO

A avaliação da qualidade do mapeamento foi realizada com base na coleta de amostras selecionadas tendo como referência um mosaico de ortofotos do Distrito Federal de 2015, com

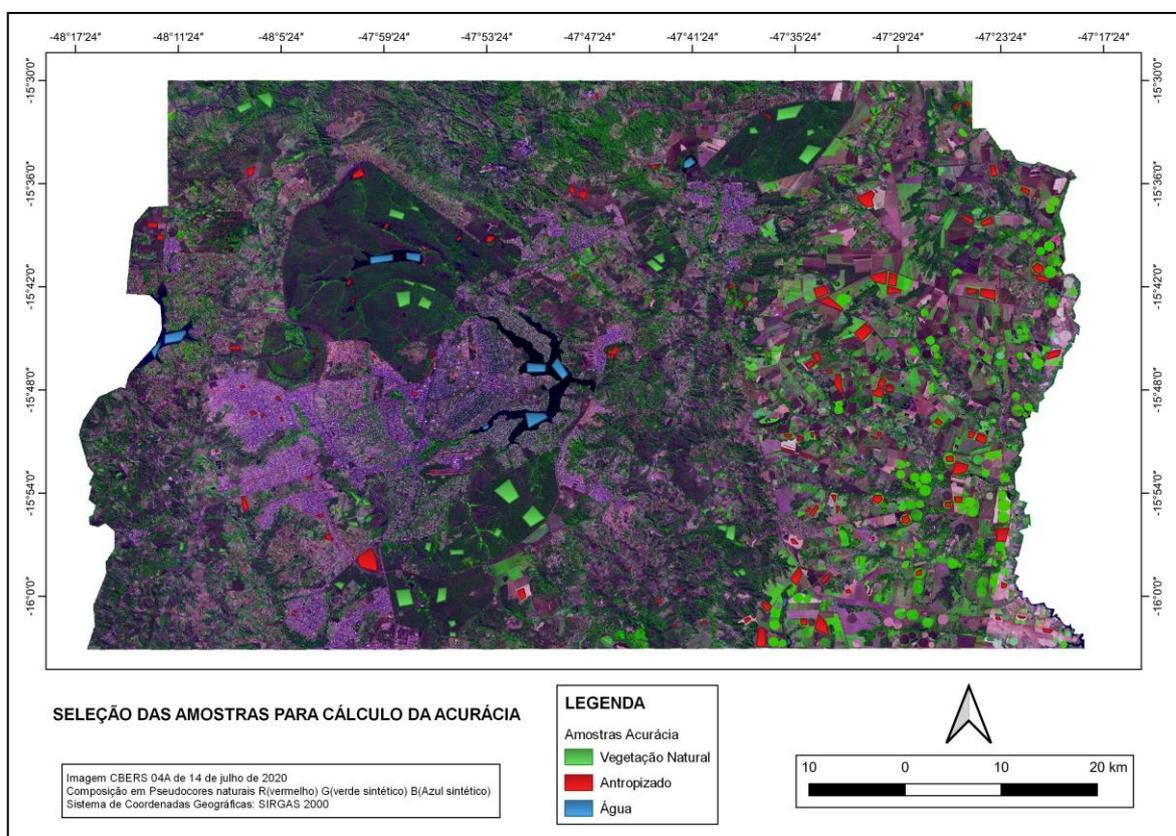
resolução de 0,24cm, fornecido pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN/DF). Também foi utilizado como apoio para a seleção das amostras uma composição de bandas em pseudo cores naturais, a partir da união entre as bandas do Vermelho, Azul Sintético (formula 3) e Verde Sintético (formula 4), visando melhorar o contraste das imagens, permitindo uma melhor discriminação dos alvos, sobretudo a vegetação.

$$\text{Azul Sintético} = (0.85 * \text{Verde}) - (0.15 * \text{NIR}) \quad (3)$$

$$\text{Verde Sintético} = (0.65 * \text{Verde}) - (0.35 * \text{NIR}) \quad (4)$$

Essa etapa foi realizada com a utilização da ferramenta *Accuracy* do *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) disponível no *software QGIS 3.16.6.*, tendo, ao final, sido coletadas 100 amostras da classe “Vegetação Nativa”, 140 amostras da classe “Antrópico” compreendendo a “Não vegetação” e a “Vegetação antrópica” e 15 amostras da classe “Água”, em distribuição proporcional, feita de acordo com o estabelecido em Congalton e Green (2019).

**Figura 7: Imagem do Distrito Federal, CBERS 04A, composição pseudocores naturais, com detalhe para os polígonos de amostras coletados para cálculo da acurácia.**



A partir das amostras, foi gerada a matriz de confusão, ferramenta útil para avaliar o nível de exatidão temática, relacionando a classificação da imagem com os dados de referência,

com a qual foi possível calcular o desempenho geral da exatidão temática, o índice de concordância *Kappa*, erro de comissão e omissão e a exatidão do utilizador e produtor., conforme metodologia descrita por Congalton e Green (2008).

Story e Congalton (1986) foram os primeiros a introduzir a matriz de confusão na comunidade de informação geográfica. Os autores explicam que a matriz de confusão, além de mostrar os erros de omissão e comissão, também pode ser usada para calcular a exatidão global (*overall accuracy*), a exatidão do produtor e do utilizador.

Segundo Lellisand *et al* (1999), a exatidão do produtor refere-se à probabilidade de determinada classe estar corretamente classificada de acordo com os dados de referência. Já a exatidão do utilizador, indica a probabilidade de uma classe classificada na imagem corresponda a mesma classe no terreno.

Os erros de comissão e omissão ocorrem respectivamente quando uma área é incluída em uma classe de ocupação do solo, mas não corresponde a essa classe e quando uma área é excluída de uma classe de ocupação do solo e na realidade ela corresponde a essa mesma classe.

O índice de concordância *Kappa* é outra medida de avaliação de qualidade da classificação de imagens, possível de realizar através da matriz de confusão.

**Tabela 8: Qualidade da classificação associada aos valores do coeficiente *Kappa*, adaptado de Landis e Koch (1977).**

<i>Índice De Kappa</i>	<i>Qualidade Do Mapa Temático</i>
<i>&lt;0,00</i>	<i>Péssima</i>
<i>0,00 – 0,20</i>	<i>Ruim</i>
<i>0,20 – 0,40</i>	<i>Razoável</i>
<i>0,40 – 0,60</i>	<i>Boa</i>
<i>0,60 – 0,80</i>	<i>Muito Boa</i>
<i>0,80 – 1,00</i>	<i>Excelente</i>

De acordo com Moreira (2001), esse índice apresenta a vantagem de que para o seu cálculo não se incluem somente os elementos da diagonal principal e sim todos os elementos

da matriz de erros, ou seja, estima a probabilidade de um *pixel* ser corretamente classificado em relação à probabilidade da classificação incorreta, portanto, tal índice demonstra oscilações de erros de omissão e inclusão.

A acurácia da classificação determinada por meio do coeficiente *Kappa* pode ser avaliada pela Tabela 8, desenvolvida por Landis e Koch (1977), que associa a um determinado intervalo de valores *Kappa* um grau de qualidade do mapa temático.

## **5.10. ANÁLISES GEOESPACIAIS**

### **5.10.1. ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NO DISTRITO FEDERAL**

Visando análise multitemporal das alterações de cobertura vegetal e posterior delimitação das Áreas de Preservação Permanente consolidadas, foram utilizadas Mapas de Uso e Cobertura de solo do projeto Mapbiomas dos anos de 1985 (primeira classificação realizada) e 2008 (ano estabelecido pelo Novo Código Florestal como marco temporal para consolidação de áreas rurais) e, ainda o mapa de uso do solo de 2020, elaborado no presente trabalho. A opção pela utilização dos dados Mapbiomas com escala de 1:10.000, deu-se por serem os dados de uso do solo do Distrito Federal que apresentam menor escala. Além disso, a classificação realizada pelo Mapbiomas utiliza uma série de dados e verificações que fazem os resultados se apresentarem de forma mais precisa do que outras classificações disponíveis.

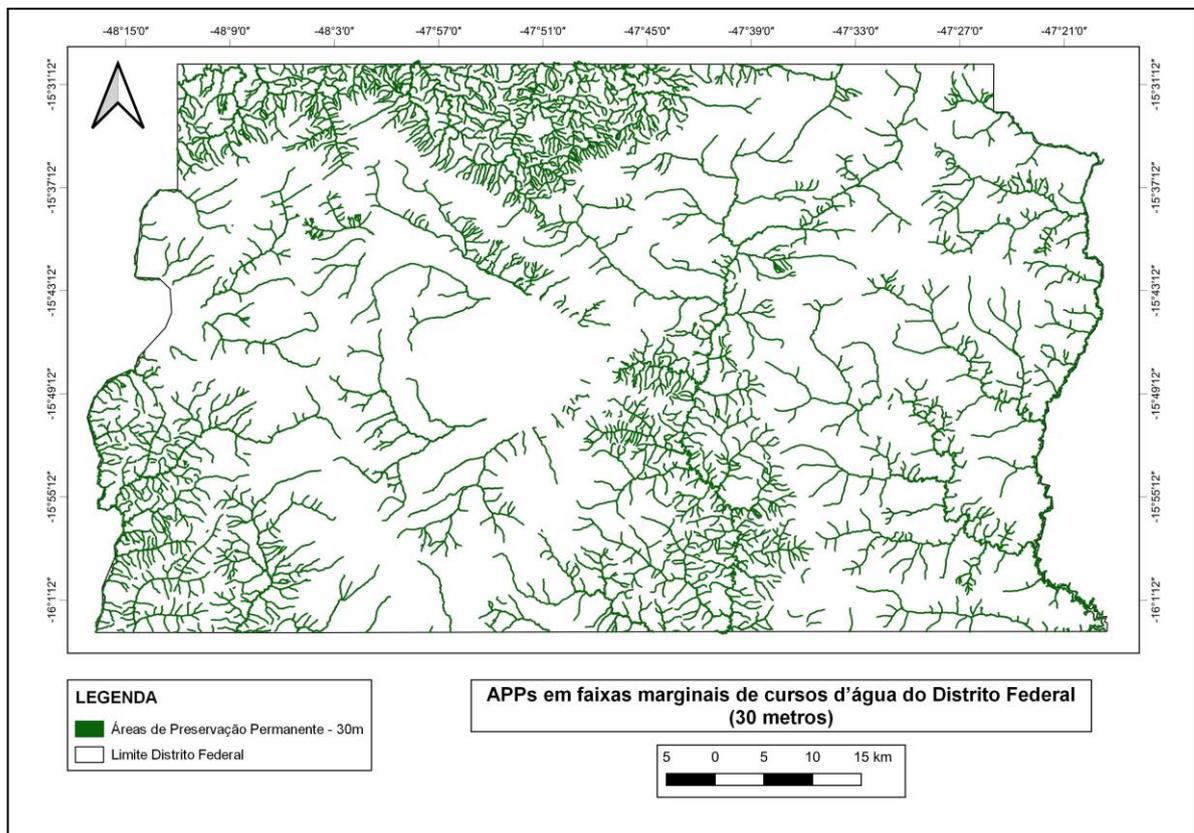
### **5.10.2. DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE CURSOS HÍDRICOS**

Para a delimitação das Áreas de Preservação Permanente de cursos hídricos, foram utilizados dois cenários distintos, um cenário real que considerou apenas a área mínima de 30 metros estabelecida no Novo Código Florestal de 2012 e um cenário ideal, no qual foram considerados todos os remanescentes de matas ciliares ou de matas de galerias, conforme o previsto no artigo 301 da Lei Orgânica do Distrito Federal.

No cenário real, foi gerado um buffer de 30 m a partir do arquivo vetorial da drenagem Linear obtido da Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (BHO) do catálogo de metadados da Agência Nacional de Águas – ANA, dado mais atual disponível e com escala mais adequada para o presente trabalho (1:10.000). A BHO é gerada a partir da cartografia

digital da hidrografia. Ela representa a rede hidrográfica em trechos entre os pontos de confluência dos cursos d'água de forma unifilar. Cada trecho é associado a uma superfície de drenagem denominada ottobacia, à qual é atribuída a codificação de bacias de Otto Pfafstetter. Uma característica essencial dessa representação é ser topologicamente consistente, isto é, representar corretamente o fluxo hidrológico dos rios, por meio de trechos conectados e com sentido de fluxo. A base de trechos de drenagem possui o atributo de domínio dos cursos d'água, aplicado com base no Artigo 20º da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 e os critérios técnicos estabelecidos pelas Resoluções ANA nº 399/2004 e nº 353/2013.

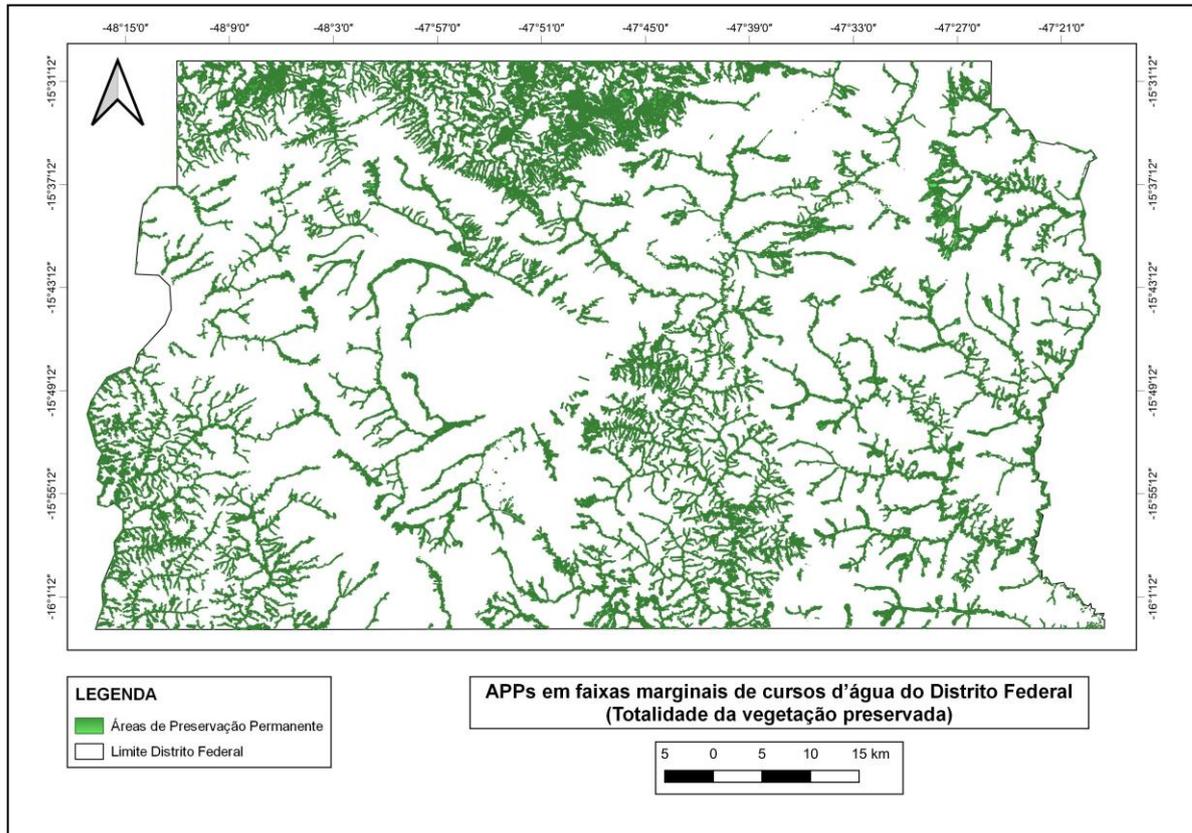
**Figura 8: Cenário Real - Áreas de Preservação Permanente em faixas marginais de cursos d'água do Distrito Federal considerando a largura mínima de 30 metros.**



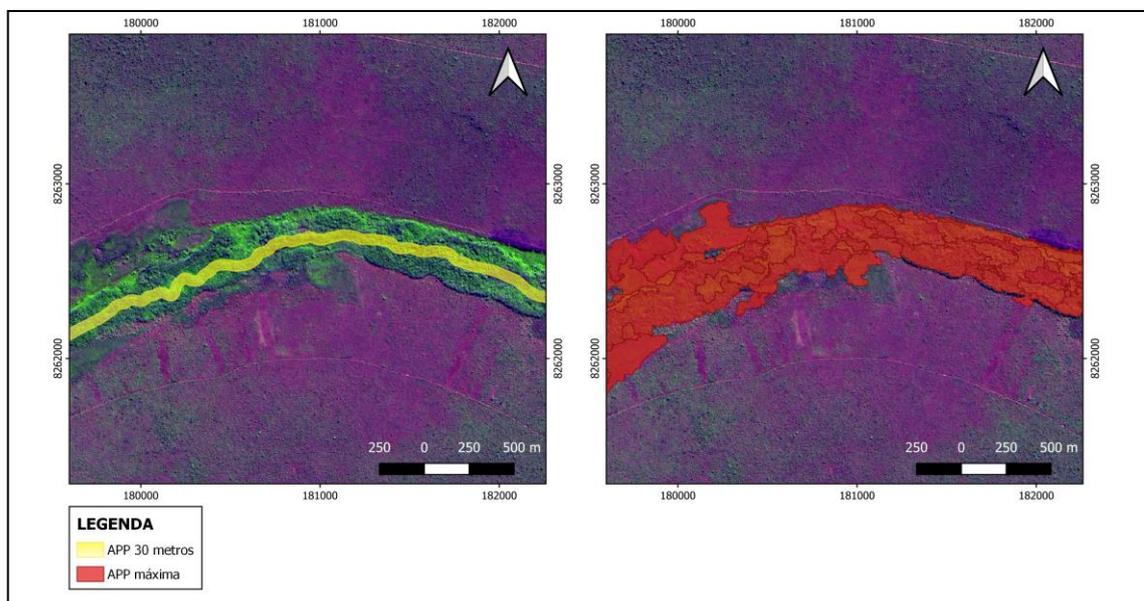
No segundo cenário, foram considerados como remanescentes de matas ciliares ou de matas de galerias, todas as áreas onde foram identificadas a presença de formações florestais nativas nas faixas marginais dos cursos d'água do Distrito Federal. Para isso, as áreas de 'Vegetação Nativa' obtidas a partir da classificação da imagem CBERS 04A foram reclassificadas, segregando as formações Florestais Naturais das formações Savânica e Campestre. Foi utilizado o algoritmo *Assign Class*, tendo sido estabelecido como condição de

limite (*Threshold Condition*) os valores de NDVI acima de 0,45, que foi verificado através de análise visual.

**Figura 9: Cenário Ideal - Áreas de Preservação Permanente em faixas marginais de cursos d'água do Distrito Federal considerando toda a vegetação riparia influenciada pelo curso hídrico.**



**Figura 10: Detalhe da diferença entre o cenário real (30 metros) e o cenário ideal (APP máxima).**



Após a separação da classe “Florestas Naturais”, utilizamos a ferramenta “Investigar” do QGIS 3.16.6 para selecionar apenas as feições em que houvesse intersecção ou aderência ao Buffer de 30 metros já obtido, resultando apenas nas formações florestais influenciadas diretamente pelo curso hídrico.

### **5.10.3. DEMAIS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE**

As áreas de preservação permanente no entorno dos lagos e lagoas naturais, no entorno dos reservatórios d’água artificiais, no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, nas encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, no topo de morros, montes, montanhas e serras e em veredas, foram obtidas diretamente na base de dados do Sistema Distrital de Informações Ambientais – SISDIA, base oficial do Governo do Distrito Federal.

Outras áreas de preservação permanente previstas na Lei nº 12.651/2012 e em leis específicas, não foram analisadas no presente trabalho devido à falta de bancos de dados disponíveis para a delimitação das mesmas.

### **5.10.4. DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE APP COM AUSÊNCIA DE COBERTURA**

O Novo Código Florestal de 2012 (Lei nº 12.651/2012) trouxe o conceito de áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente, no qual é autorizada a continuidade de atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural em áreas rurais consolidadas até 22 de julho de 2008. Além disso, a legislação estabelece que a largura de APP a ser restaurada depende do tamanho da propriedade.

Brançalion et al. (2016) apontaram que as alterações ocorridas com a Lei nº 12.651/2012, os requisitos para recuperar a vegetação nativa em APPs já convertidas para uso agrícola foram fortemente modificados. A legislação atual permite a continuidade da agricultura e da pecuária em porções APPs onde a vegetação nativa foi removida para uso da terra antes de 2008, mas apenas se as melhores práticas de conservação do solo e da água forem adotadas e se uma estreita faixa de proteção com vegetação nativa for restaurada adjacientemente para os cursos de água (*Guidotti et al., 2020*).

A largura dos amortecedores ripários que devem ser obrigatoriamente restaurados varia de acordo com a largura do curso de água e o tamanho da propriedade, seguindo o princípio

geral de que os pequenos proprietários devem ter demandas de restauração reduzidas (*Guidotti et al.*, 2020).

No presente trabalho, tendo em vista a impossibilidade de delimitação do tamanho das propriedades, foi considerada apenas a questão temporal. Assim, as APPs foram separadas em três grupos conforme suas características:

- APP Nativa (APPs com cobertura vegetal nativa);
- APP consolidada (APPs desmatadas antes de 22 de julho de 2008);
- APP a ser restaurada (inclui todas as APPs desmatadas após 22 de julho de 2008);

Tendo em vista o marco temporal de 22 de julho de 2008, utilizamos como referência para a delimitação das APPs consolidadas, o Mapa de Cobertura do Solo de 2008 MapBiomias.

A análise do desmatamento de APPs após 2008, foi realizada pela subtração entre os mapas de uso do solo de 2020 e 2008 (Mapbiomas).

#### **5.10.5. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NA PRESERVAÇÃO DAS APPs**

Visando verificar a influência que a inserção em área de Unidade de Conservação tem na manutenção das Áreas de Preservação Permanente, foi realizada a análise das APPs antropizadas segundo três recortes: áreas inseridas em Unidades de Conservação de Proteção Integral, Áreas Inseridas em Unidades de Conservação de Usos Sustentável, Áreas não inseridas em Unidades de Conservação. Ressalta-se que foram removidas as sobreposições, prevalecendo o caráter mais restritivo.

Foi feita uma Análise de Variância (ANOVA) visando verificar a existência de diferenças significativas nas porcentagens de APPs antropizadas nos três recortes supramencionados. As amostras foram coletadas das principais Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável, bem como da área fora de UC (Tabela 9).

Primeiramente, foram avaliadas as premissas de normalidade (*teste Shapiro-Wilk*) e homoscedasticidade (*Teste de Bartlett*) dos dados, onde foi verificado que os dados advinham de uma distribuição normal (UC de uso sustentável:  $W= 0.883$ ,  $p = 0.167$ ; UC de Proteção Integral:  $W= 0.899$ ,  $p = 0.245$ , Fora de UC:  $W= 0.883$ ,  $p = 0.326$ ), porém, sem homogeneidade das variâncias. Diante disso, os dados foram transformados de acordo com a função *Box-Cox* (BOX; COX, 1964). Após transformados, os dados atenderam a premissa de

homoscedasticidade ( $B = 5.609$  e  $p = 0.0605$ ). Adicionalmente, foi realizado o teste de Tukey a posteriori, para identificar diferenças entre as três categorias avaliadas.

**Tabela 9: Áreas onde foi analisada o percentual de APPs antropizadas (UC Uso Sustentável, UC de Proteção Integral e Fora de UC).**

<b>CATEGORIA</b>	<b>LOCAL</b>	<b>APP ANTROPIZADA (%)</b>
<b>UC Uso Sustentável</b>	APA Cafuringa	25,85
<b>UC Uso Sustentável</b>	APA Descoberto	31,27
<b>UC Uso Sustentável</b>	APA Gama e Cabeça de Veado	20,03
<b>UC Uso Sustentável</b>	APA São Bartolomeu	24,24
<b>UC Uso Sustentável</b>	APA Lago Paranoá	29,40
<b>UC Uso Sustentável</b>	APA Planalto Central	26,84
<b>UC Uso Sustentável</b>	ARIE Granja do Ipê	28,05
<b>UC Uso Sustentável</b>	ARIE Parque Juscelino Kubitschek	48,23
<b>UC Uso Sustentável</b>	Florestal Nacional de Brasília	15,42
<b>UC Proteção Integral</b>	Estação Ecológica de Águas Emendadas	6,02
<b>UC Proteção Integral</b>	Estação Ecológica do Jardim Botânico	37,29
<b>UC Proteção Integral</b>	Parque Nacional de Brasília	20,88
<b>UC Proteção Integral</b>	Reserva Biológica da Contagem	17,15
<b>UC Proteção Integral</b>	Reserva Biológica do Gama	23,26
<b>UC Proteção Integral</b>	Reserva Biológica do Guará	3,58
<b>UC Proteção Integral</b>	Reserva Ecológica do IBGE	4,22
<b>UC Proteção Integral</b>	Estação Ecológica UNB	10,17
<b>UC Proteção Integral</b>	Reserva Biológica Descoberto	35,72
<b>Fora de UC</b>	Arniqueiras/Águas Claras/ Núcleo Bandeirante/Guará/Parkway	24,34
<b>Fora de UC</b>	Santa Maria/Samambaia/Gama/Recanto das Emas/Riacho Fundo I e II	52,71
<b>Fora de UC</b>	Plano Piloto/Cruzeiro/Sudoeste/SIA	89,92
<b>Fora de UC</b>	Brazlândia/Sol Nascente/Taguatinga/Ceilândia/Vicente Pires	25,92
<b>Fora de UC</b>	Planaltina/Sobradinho I e II	12,51

### 5.10.6. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO RURAL OU URBANA NA ANTROPIZAÇÃO DAS APPs

O segundo critério analisado foi o Macrozoneamento estabelecido pelo Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT/2009, aprovado pela Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009, e atualizado pela Lei Complementar nº 854/2012. Esse zoneamento, divide o Distrito Federal em áreas Urbanas e Rurais.

Para a análise estatística, foi utilizada a análise de APPs antropizadas em áreas urbanas ou rurais por Região Administrativa do Distrito Federal (Tabela 10). Esses dados foram submetidos à análise das premissas de normalidade e homoscedasticidade, onde foi identificado que os mesmos atendiam apenas as premissas de homoscedasticidade. Por essa razão, foi utilizado o *teste de Willcox*, não paramétrico, para avaliar possíveis diferenças na porcentagem de APPs antropizadas entre áreas rurais e urbanas.

**Tabela 10: Porcentagem de APP Antropizada em áreas urbanas e rurais, por Região Administrativa (RA).**

RA	APP Antropizada (%)	
	Rural	Urbana
Águas Claras	25.38	23.63
Arniqueiras	27.36	-
Brazlândia	19.07	31.78
Candangolândia	2.99	-
Ceilândia	81.67	38.20
Fercal	23.45	18.63
Gama	65.75	43.37
Guara	12.83	-
Itapoã	8.54	10.06
Jardim Botânico	22.47	16.16
Lago Norte	21.77	7.02
Lago Sul	25.07	0.02
Núcleo bandeirante	20.04	19.70
Paranoá	19.95	29.56
Parkway	11.38	42.51
Planaltina	19.11	17.28
Plano Piloto	52.06	68.40
Recanto das Emas	53.00	41.77

<b>Riacho Fundo</b>	34.60	34.09
<b>Riacho Fundo II</b>	13.37	16.09
<b>Samambaia</b>	39.84	41.40
<b>Santa Maria</b>	10.24	32.22
<b>São Sebastiao</b>	25.44	27.87
<b>SIA</b>	75.93	-
<b>Sobradinho</b>	36.30	14.39
<b>Sobradinho II</b>	29.89	22.90
<b>Sol Nascente</b>	71.18	53.87
<b>Taguatinga</b>	62.34	25.79
<b>Varjão</b>	39.70	-
<b>Vicente Pires</b>	66.54	19.30
<b>SCIA</b>	-	13.92

#### **5.10.7. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE FATORES SOCIOECONÔMICOS NA CONSERVAÇÃO DE APPs**

Buscando identificar fatores que se relacionem à degradação das Áreas de Preservação Permanente no Distrito Federal, analisamos se existe relação entre alguns fatores socioeconômicos e a extensão de Áreas de Preservação Permanente antropizadas.

Os fatores socioeconômicos utilizados foram o Índice de Vulnerabilidade Social do Distrito Federal – IVS, a Densidade Populacional, a Precariedade Habitacional, a Moradia em Lote Não Regularizado e o Tempo de Deslocamento ao Trabalho (Tabela Anexo1).

O Índice de Vulnerabilidade Social do Distrito Federal – IVS é um indicador composto por uma cesta de indicadores simples que retratam aspectos da vulnerabilidade social vivenciada pela população do Distrito Federal, desagregados por Regiões Administrativas. Esse índice é uma iniciativa da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação do Distrito Federal disponibilizado no site <http://infodf.codeplan.df.gov.br>.

A Precariedade Habitacional contempla dois subcomponentes. Primeiro, verifica-se a ocorrência de todos os domicílios classificados como particular improvisado, com isso tem-se o subcomponente domicílios improvisados. Em segundo, verifica-se a ocorrência de Domicílios Particulares Permanentes dos tipos casa e apartamento, que não sejam de alvenaria ou madeira emparelhada. A precariedade habitacional é caracterizada pela existência de domicílios improvisados ou precários.

A Moradia em Lote Não Regularizado representa o percentual de indivíduos que vivem em um domicílio cujo terreno não foi regularizado entre a população total.

O Tempo de Deslocamento ao Trabalho descreve o percentual de pessoas de 14 anos ou mais de idade ocupadas que gastam mais de uma hora em deslocamento até o local de trabalho entre pessoas ocupadas nessa faixa etária.

Os dados de Precariedade Habitacional, Moradia em Lote Não Regularizado e Tempo de Deslocamento ao Trabalho foram extraídos da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios feita pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal – CODEPLAN em 2018.

Já a Densidade Populacional foi calculada através da relação entre Área da Região Administrativa (hectares) e sua população segundo dados da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios feita pela CODEPLAN em 2018 (CODEPLAN, 2018).

Foi realizada a análise através de um modelo de regressão linear múltipla, visando verificar a relação entre o percentual de APPs antropizadas (variável dependente) e os dados socioeconômicos oficiais (variáveis independentes). Essa é uma técnica multivariada cuja finalidade principal é obter uma relação matemática entre uma das variáveis estudadas (variável dependente ou resposta) e o restante das variáveis que descrevem o sistema (variáveis independentes ou explicativas), e reduzir um grande número de variáveis para poucas dimensões com o mínimo de perda de informação, permitindo a detecção dos principais padrões de similaridade, associação e correlação entre as variáveis. O nível de significância estatística utilizado nesta análise foi 5%.

Inicialmente, por análise gráfica, foi verificada ausência de relação linear entre APPs antropizadas e as variáveis independentes. Por esta razão, os preditores foram transformados para escala logarítmica. Em seguida, foram testadas as premissas de multicolinearidade ( $> 0,7$ ), além de normalidade ( $W = 0.975$ ,  $p = 0.692$ ) e homoscedasticidade ( $BP = 9,029$ ,  $p = 0.692$ ) dos resíduos do modelo, considerando todas as variáveis elencadas como predictoras (Tabela Anexo1) e APPs antropizadas como variáveis resposta. Por meio da análise da distância de Cooks foi identificada a ausência de *outliers* ( $< 0,1$ ). Considerando o cumprimento das premissas, foi gerado o modelo descrito na equação 3:

$$Y = 0.3166 + 0.0045DP + 0.0609IVS - 0.0302PH - 0.0125LR + 0.0385TD \quad (3)$$

Onde:

Y = Porcentagem de APP antropizada;

DP = Densidade Populacional

IVS = Índice de Vulnerabilidade Social

PH = Precariedade Habitacional

LR = Lote não regularizado

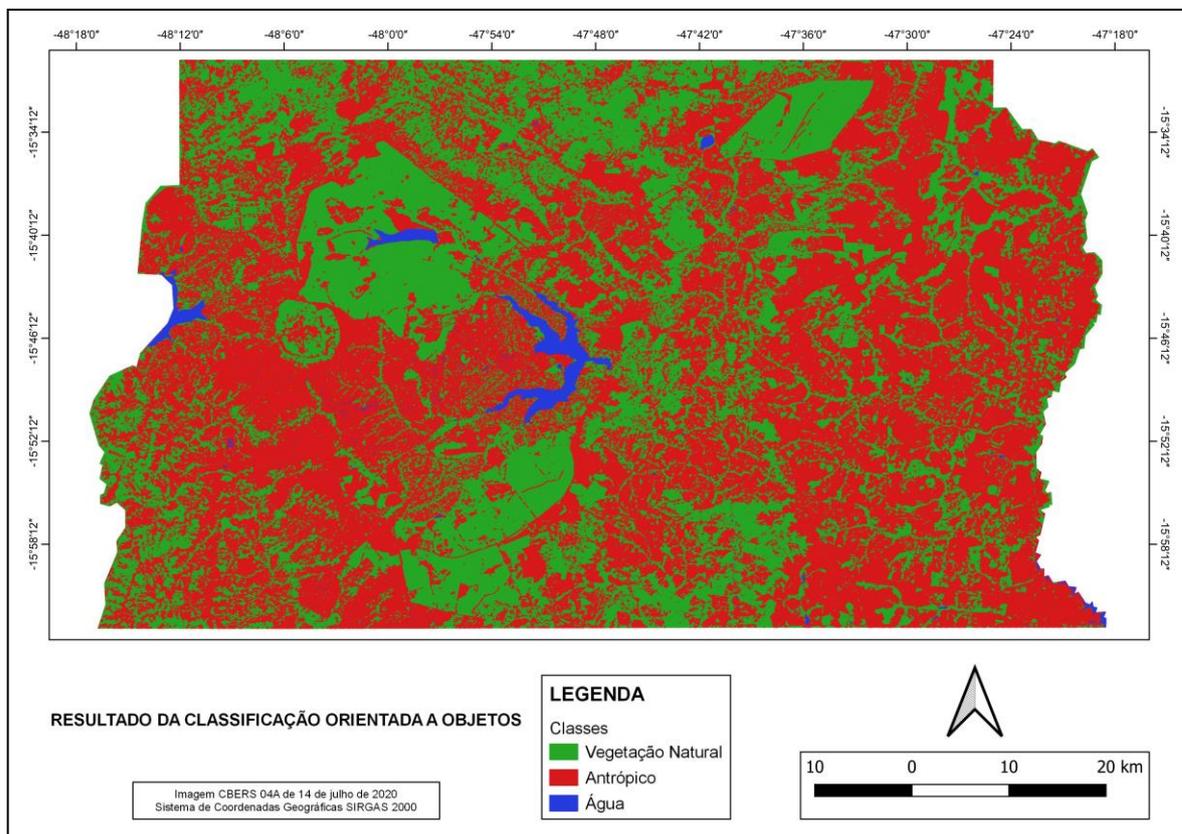
TD = Tempo de Deslocamento para o Trabalho

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1. CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

O resultado final obtido pelo processo de classificação orientada a objetos feito a partir da imagem CBERS 04A com 2 m de resolução espacial obtida no ano de 2020 revelou que o Distrito Federal apresenta de 239.097,41 ha de cobertura vegetal nativa o que representa aproximadamente 41,2% da área total mapeada (Figura 11). A área antropizada somou 334.949,63 ha, que representam 57,7% da área total mapeada. Tal resultado mostra uma discreta variação (5%) em comparação ao mapeamento de referência realizado para 2019 pela Projeto Mapbiomas, que identificou para áreas naturais e antrópicas, respectivamente, 253.412,00 e 319.218 ha. Tal diferença pode estar relacionada a uma série de fatores como: a diferença de resolução espacial entre as imagens CBERS 04A e as utilizadas pelo Mapbiomas (imagens Landsat com resolução espacial de 30 m), a técnica de classificação utilizada, bem como, a diferença temporal, uma vez que, não existia até o momento da finalização deste trabalho, mapeamento do Mapbiomas para o ano de 2020.

**Figura 11: Resultado da classificação orientada a objetos, considerando três classes de uso do solo, Vegetação Nativa, Antrópico e Água.**



Quanto à qualidade do mapeamento gerado, a análise feita mostrou que a acurácia global do mapeamento foi de 94,5%. A acurácia do usuário para Vegetação Nativa, Antrópico e Água foi de 87,4%, 99,5% e 99,6% respectivamente (Tabela 11). A menor precisão para a classe Vegetação Nativa pode ser explicada pela dificuldade em se diferenciar as fitofisionomias típicas do cerrado com áreas de pastagem ou florestas plantadas, conforme relatado anteriormente por Grecchi *et al.* (2013), Müller *et al.* (2015), Silva e Sano (2016) e Teixeira *et al.* (2005).

O resultado de acurácia da classificação semiautomática foi considerado satisfatório, pois apresentou acurácia global de 94,5% e índice *Kappa* de 89%, acima do valor de 80% estabelecido na tabela desenvolvida por Landis e Koch (1977) para classificações consideradas excelentes.

**Tabela 11: Acurácia da classificação final de cobertura e uso da terra.**

<b>Classe</b>	<b>Vegetação Nativa</b>	<b>Antrópico</b>	<b>Água</b>
<b>Vegetação Nativa</b>	0,3594	0,0521	0,0000
<b>Antrópico</b>	0,0018	0,5738	0,0009
<b>Água</b>	0,0000	0,0001	0,0121
<b>Total Classificado</b>	0,3611	0,6259	0,0130
<b>Acurácia do produtor (%)</b>	<b>99,51</b>	<b>91,67</b>	<b>93,07</b>
<b>Acurácia do Usuário (%)</b>	<b>87,35</b>	<b>99,54</b>	<b>99,56</b>
<b>Coefficiente <i>Kappa</i> por classe</b>	<b>0,80</b>	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>
<b>Acurácia Global (%)</b>	<b>94,52</b>		
<b><i>Kappa</i></b>	<b>0,89</b>		

As ferramentas de GEOBIA geralmente são avaliadas em estudos que analisam sua potencialidade em pequenas áreas (BLASCHKE *et al.*, 2014). Contudo, a aplicação desse conjunto de métodos e ferramentas no mapeamento de uso e cobertura da terra em regiões com

grande extensão, como o Distrito Federal, apresenta vantagens potenciais sobre métodos usualmente empregados, como a análise de imagens do tipo *pixel-pixel* ou a análise por região. Aplin e Smith (2008) e Yang, Liu e Gao (2015) indicaram como vantagem da GEOBIA, a possibilidade de identificação de características e padrões mais próximos daqueles utilizados por intérpretes humanos para a identificação dos alvos. Já Bertani; Rossetti e Albuquerque (2013) e Jhonnerie *et al.* (2015), apontaram como diferencial da ferramenta, a possibilidade de se integrar diferentes tipos de informação, possibilitando uma maior integração de dados, o que implica em aperfeiçoamento significativo na identificação de feições em estudo. As vantagens acima relacionadas foram confirmadas no presente trabalho, onde se utilizou uma ampla gama de características definidoras dos objetos, formadoras de sua assinatura estrutural.

## **6.2. ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NO DISTRITO FEDERAL**

A análise demonstrou-se que entre 1985 e 2008 houve 82.606,25 ha de vegetação nativa convertidos para algum uso antrópico no DF enquanto, entre 2008 e 2020, houve a conversão de 53.743,75 de áreas com vegetação nativa para uso antrópico. Tais dados mostram que, proporcionalmente, houve uma maior conversão de áreas de vegetação nativa para antrópico entre 2008 e 2020 (4.478,64 ha ano<sup>-1</sup>), quando comparado ao período de 1985 e 2008 (3.591,57 ha ano<sup>-1</sup>). Esse cenário está de acordo com estudo de Chelotti e Sano (2021), que analisaram o histórico de expansão das manchas urbanas do Distrito Federal e concluíram que houve uma aceleração do crescimento urbano entre 2013 e 2020. No total, entre 1985 e 2020 foram antropizados 136.350,1 hectares áreas com vegetação natural (perda de 3.895,71 ha ano<sup>-1</sup>), o que representa 44% da cobertura natural existente em 1985 (312.032,0 ha).

Através da análise multitemporal, foi possível estimar a extensão de áreas sob cobertura vegetal nativa que foram mantidas e as que sofreram antropização, mas que regeneraram entre 1985 e 2020. A cobertura vegetal nativa foi determinada pela ausência de desmatamento verificado entre 1985 e 2020. A regeneração foi determinada pela vegetação desmatada entre 1985 e 2008 e que foi detectada como vegetação nativa em 2020. Da área total de vegetação nativa em 2020 (239.097,41 ha), 85,9% (205.324,56 ha) são compostos por vegetação primária e 14,1% (33.772,85 ha) de regeneração (Figura 13).

Figura 12: Mapa resultado da análise multitemporal das alterações da cobertura vegetal entre 1985 e 2020 no Distrito Federal.

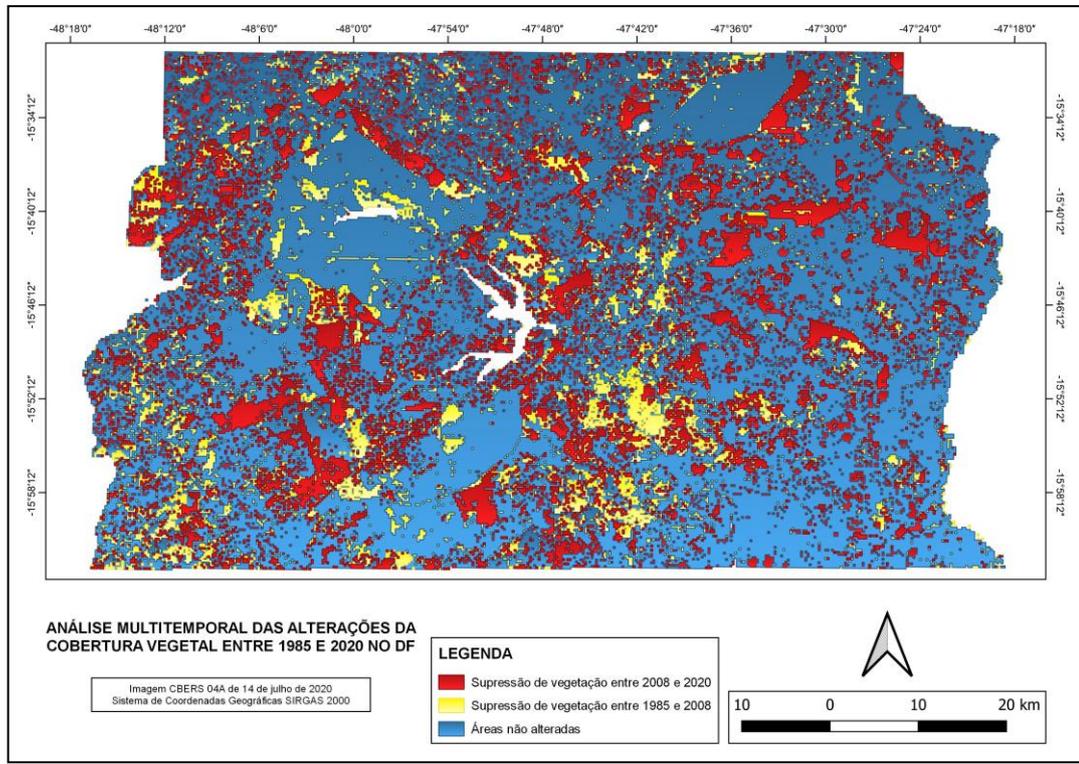
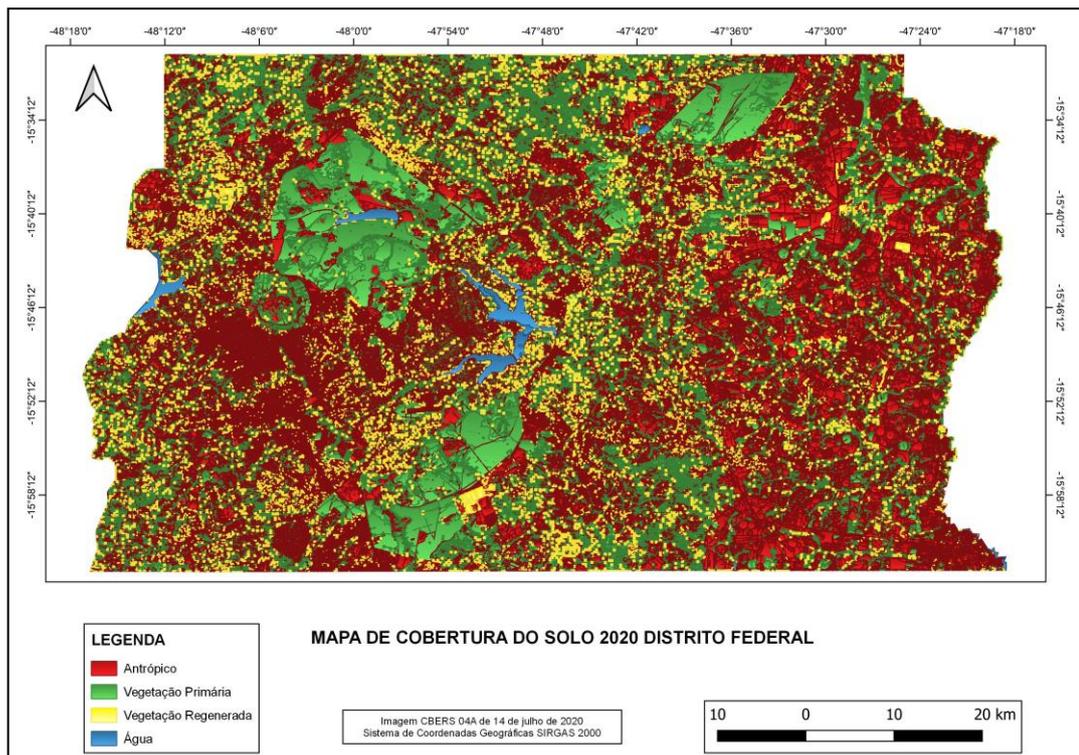


Figura 13: Mapa de Cobertura do Solo do Distrito Federal para o ano de 2020, utilizando as classes: Vegetação Primária, Vegetação Regenerada, Antrópico e Água.



### 6.3.MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

No cenário real (Cenário 1), considerando a área mínima de 30 metros prevista na Lei nº 12.651/2012 para APPs de Cursos Hídricos, as análises demonstram que o Distrito Federal possui 52.255,4 ha (15,6% da área do DF) de Área de Preservação Permanente, sendo que, 74,7% (39.038,83 ha) apresentam-se com sua vegetação nativa conservada e 25,2% (13.216,6 ha) apresentam áreas já antropizadas (Tabela 12).

Já no cenário ideal (Cenário 2), que considerou a área total das Matas de Galeria/Matas Ciliares que se apresentaram inalteradas nas faixas marginais dos cursos d'água, a área total de APPs no Distrito Federal foi de 92.676,6 hectares, o que representa 27,7% de toda a áreas do Distrito Federal. Nesse cenário, as APPs com Vegetação Nativa somaram 66.872,2 hectares (85,7% do total de APPs).

Analisando especificamente os resultados das Áreas de Preservação Permanente ao longo de Cursos Hídricos que mantiveram a sua cobertura vegetal natural, no Cenário 2, temos um acréscimo de 40.422,2 hectares de APPs com vegetação nativa, quando comparado ao Cenário 1, um incremento de mais de 150%. Esses resultados demonstram que o Distrito Federal ainda possui um extensões consideráveis de vegetação em áreas ribeirinhas e por esse motivo, se faz necessário que sejam considerados os serviços ecossistêmicos prestados pela vegetação e não apenas a faixa mínima estabelecida pela legislação conforme apontado pela SBPC (2011) e de acordo com estudos sobre a maior efetividade de buffers maiores que 30 metros como os de Guidotti *et al.* (2020), Sparovek *et al.* (2002) e Silva Júnior (2001).

**Tabela 12: Estimativas de Área de Preservação Permanente com Vegetação Nativa ou Antropizada.**

Tipo de APP	APP com Vegetação Nativa	APP Antropizada	Total APP
	(ha)	(ha)	(ha)
<b>Cursos hídricos 30 metros</b>	26.450,0	4.526,2	30.980,1
<b>Cursos hídricos máximos</b>	66.872,2	4.526,2	71.398,4
<b>Lagos e lagoas</b>	1.416,5	936,9	2.355,0
<b>Bordas de chapada</b>	4.185,8	5.385,9	9.572,6

<b>Nascente</b>	2.174,5	809,1	2.983,6
<b>Vereda</b>	4.507,6	1.414,1	5.921,7
<b>Declividade &gt; 45</b>	243,5	101,6	345,1
<b>Topo de morro</b>	59,9	37,4	97,3
<b>Total*</b>	39.038,8	13.216,6	52.255,4
<b>Total**</b>	79.460,0	13.216,6	92.676,6

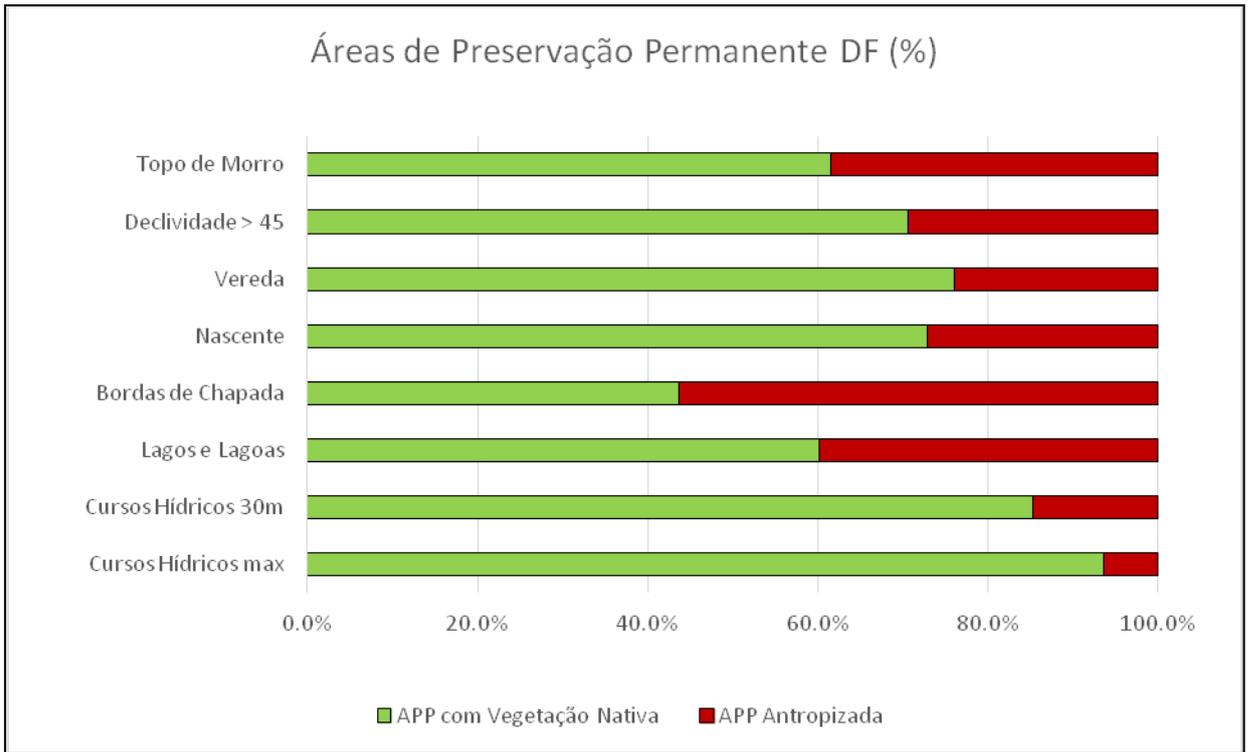
\*Considerando apenas os limites mínimos de APP previstos na Lei nº 12.651/2012.

\*\*Considerando o total das Matas de Galeria/Matas Ciliares que se apresentaram inalteradas nas faixas marginais dos cursos d'água.

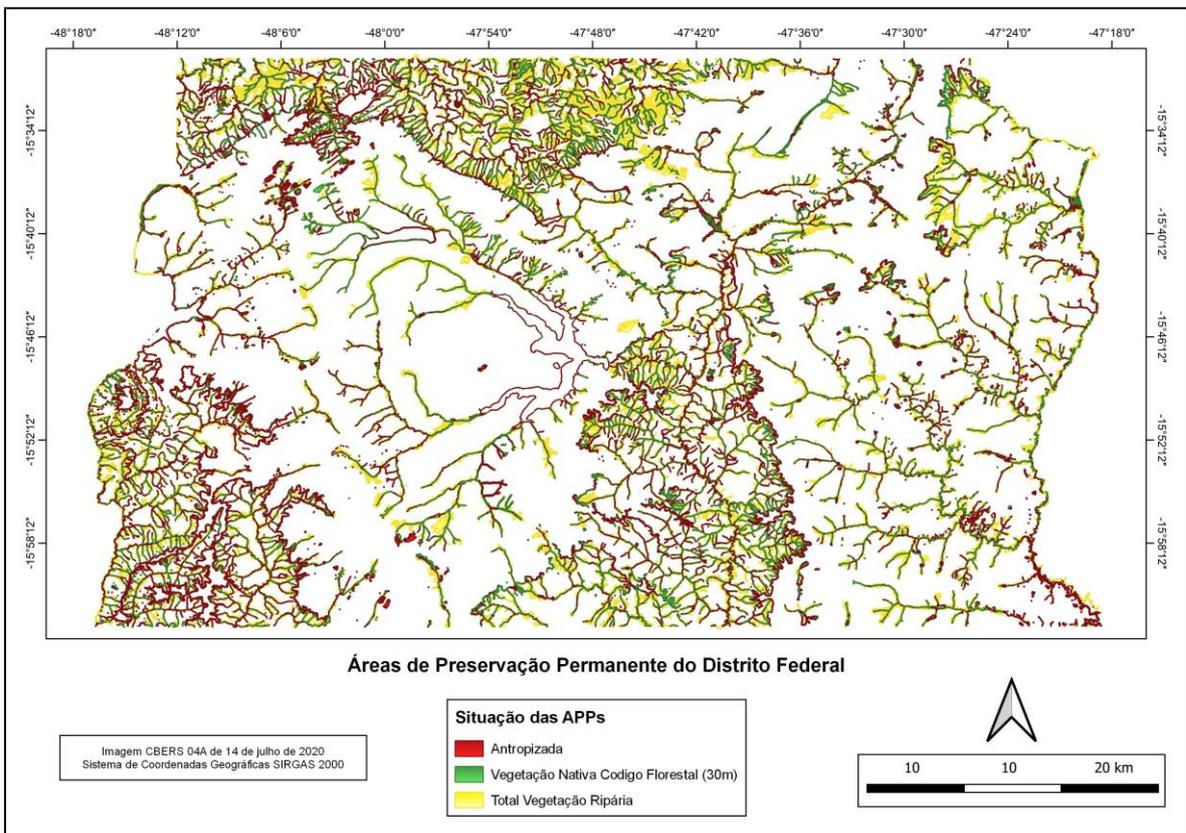
Quanto a porcentagem de áreas antropizadas em relação ao total de APPs, verificamos que variam de 25,2% para o Cenário 1 e 14,3% para o Cenário 2, ambos menores do que a porcentagem de áreas com vegetação nativa convertidas em antrópicas no Distrito Federal entre 1985 e 2020 (44%). Esse fato, demonstra que as restrições impostas pela legislação ambiental para a proteção das APPs têm surtido efeito no Distrito Federal. Em Guidotti et al. (2017), os autores analisaram os dados do Cadastro Ambiental Rural – CAR e estimaram que para o Brasil, o déficit de APPs médio é da ordem de 22%, enquanto para o Cerrado, o déficit de APP é de 24%. Tendo em vista que esses valores foram obtidos considerando apenas os limites estabelecidos na Lei nº 12.651/2012, verifica-se que o Distrito Federal apresentou percentual pouco superior (25,2%) à média Nacional e do Cerrado.

As extensões ao longo de cursos hídricos somam as maiores extensões de APP no Distrito Federal, ocupando 30.980 ha no Cenário 1 e 71.398,4 ha no Cenário 2. Embora ocupem a maior extensão, as APPs de ao longo dos cursos hídricos são as que apresentam o menor percentual de áreas antropizadas, com respectivamente 14,6% e 6,3% de sua extensão, o que teoricamente se explica pois, as zonas ripárias têm historicamente recebido atenção especial das políticas e instrumentos de proteção legal, principalmente devido à sua notável importância para a conservação dos recursos hídricos e para uma ampla variedade de funções ecológicas (BRANCALION et al., 2016b; NAIMAN; DÉCAMPS, 1997; RICHARDS et al., 2015; RICHARDSON; NAIMAN; BISSON, 2012).

**Figura 14: Percentual estimado de áreas de preservação permanente (APPs) com Vegetação Nativa, Consolidada e Passivo, por tipo APP, em todo o Distrito Federal.**



**Figura 15: Distribuição de áreas de preservação permanente no Distrito Federal, conforme definido pelo Novo Código Florestal.**



A figura 14, apresenta o percentual de APPs antropizadas por tipo de APP. As APPs de Nascentes apresentaram 27,1% da sua área total antropizadas, as Veredas 23,9%, as declividades maiores do que 45° 29,4%, os topos de morros 38,4% e as áreas no entorno de Lagos e Lagoas 39,8%. As APPs que apresentaram maior porcentagem de extensão antropização foram as bordas de Chapada (56,3%), isso pode ser explicado pois, conforme apontado por Martins *et al.* (2015), as bordas de chapada encontram-se, em boa parte, desprotegidas, devido à sua suscetibilidade à processos erosivos.

#### **6.4. APPs CONSIDERADAS EM ÁREAS CONSOLIDADAS SEGUNDO O CÓDIGO FLORESTAL**

A Tabela 13, apresenta os resultados obtidos para as estimativas de Áreas de Preservação Permanente de cursos hídricos que, por terem sido desmatadas antes de 22 de julho de 2008, foram consideradas pela legislação como “Consolidadas”. A tabela também apresenta o “passivo” de áreas de preservação permanente, ou sejam, todas as APPs desmatadas após 22 de julho de 2008, necessitando, portanto, serem recuperadas.

**Tabela 13: Estimativas de áreas de preservação permanente de cursos hídricos consolidadas e passivo em todo o Distrito Federal.**

<b>Área de recuperação necessária</b>	<b>Consolidada (ha)</b>	<b>Passivo (ha)</b>
<b>15 metros</b>	<b>750,0</b>	3.015,8
<b>30 metros</b>	<b>0</b>	3.765,7
<b>5 metros</b>	<b>1250,0</b>	2.515,7

No primeiro cenário, para o limite de 15 metros de necessidade de recuperação, foram considerados consolidados 750 ha de APPs, representando 2,4% do total de Áreas de Preservação Permanente de Cursos Hídricos do Distrito Federal. Já o passivo de APPs de cursos hídricos a serem recuperados foi de 3.015 hectares (9,7% do total de APPs de Cursos hídricos do DF).

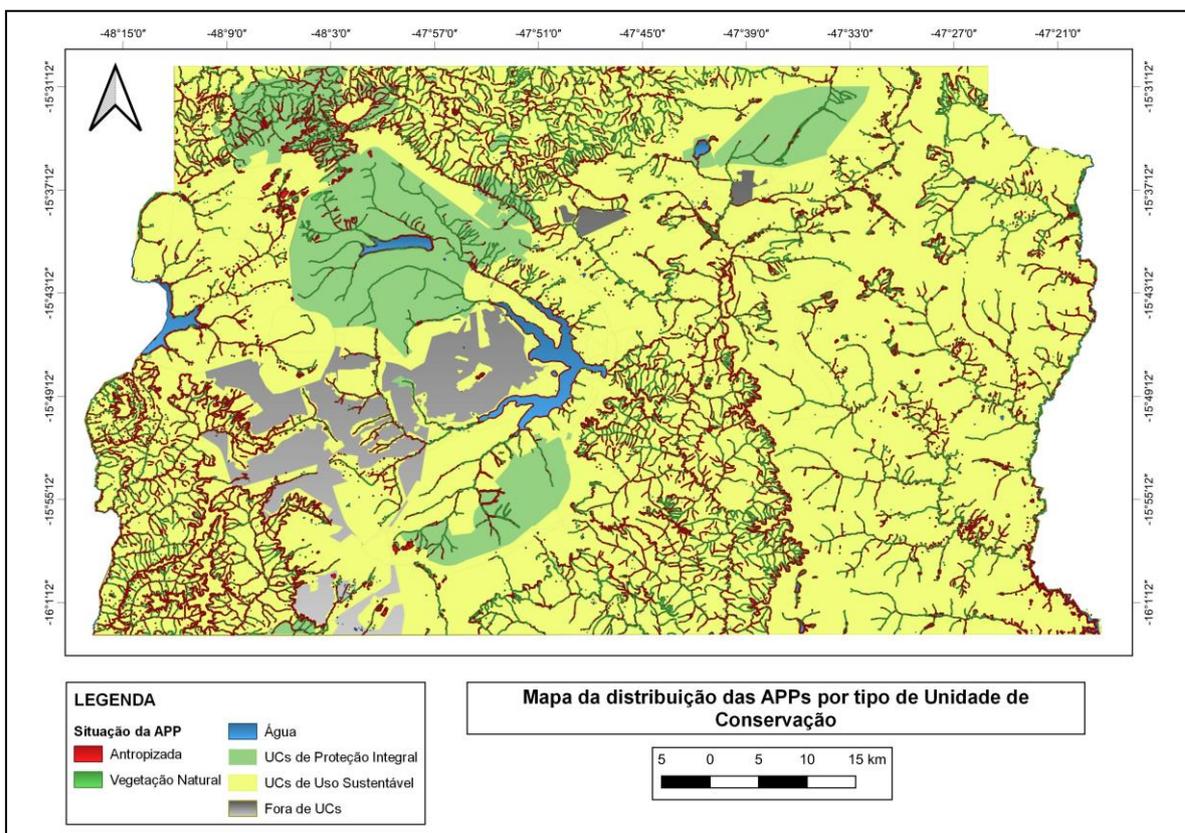
Já no segundo cenário, em que se considera a necessidade de recuperação total das APPs antropizadas, constatou-se um passivo de 3.765,7 hectares (12,2% do total de APPs de cursos hídricos do DF).

Por fim, o terceiro cenário, considerando a necessidade mínima de recuperação de APPs antropizadas (5 metros), temos 4.843,5 hectares de áreas consolidadas (9,2% do total de APPs) e 5.328,9 hectares de áreas a serem recuperadas (10,2% do total de APPs).

## 6.5.DISTRIBUIÇÃO DA APPs PELA INSERÇÃO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

As Áreas de Preservação Permanente em Unidades de Conservação (UCs) foram separadas em UCs de Proteção Integral e de Uso Sustentável (Figura 16). A maior parte das APPs do Distrito Federal está inserida em UCs (47.768,3 ha) ( Tabela 14), sobretudo porque 92% do território do Distrito Federal são protegidos por UCs. A extensão de APPs em UCs de Uso Sustentável somou 42.451,3 ha, 5.317,0 ha situam-se em UCs de Proteção Integral e 807,4 ha de APPs estão fora de UCs.

**Figura 16: Mapa da distribuição das APPs por tipo de Unidade de Conservação.**



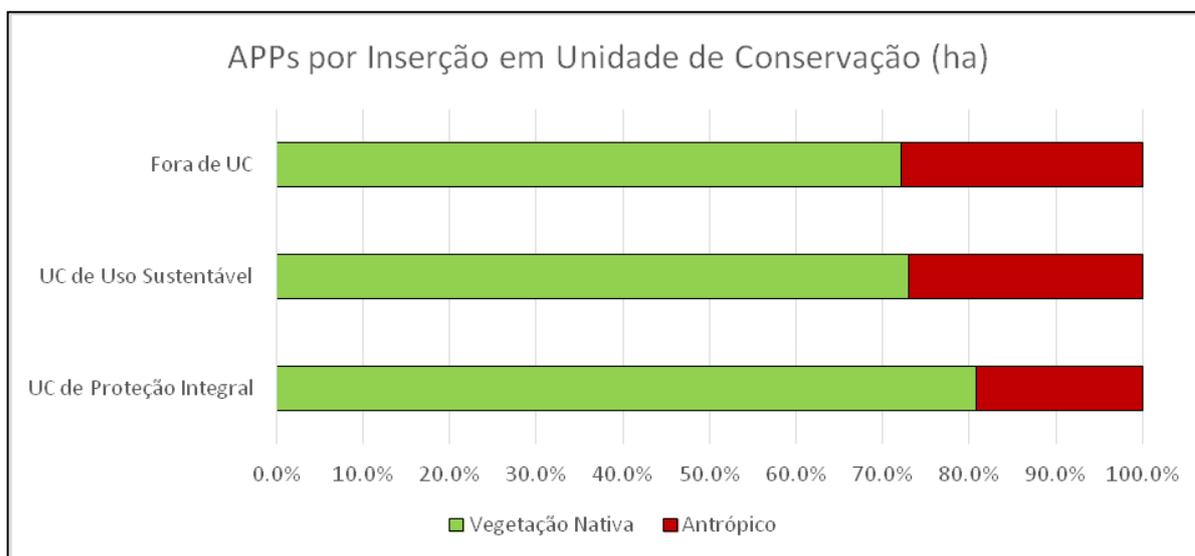
Quanto à conservação da vegetação nativa em APPs, estimou-se que 19,2% das APPs em Unidades de Conservação de Proteção Integral apresentam-se antropizadas (Figura 17). Já

nas UCs de Uso Sustentável, as APPs antropizadas representam 27,1%. Por fim, as APPs fora de Unidades de Conservação apresentam-se antropizadas em 27,9% de sua extensão.

**Tabela 14: Distribuição das Áreas de Preservação Permanente por tipo de Unidade de Conservação**

APPs por tipo de Unidade de Conservação			
Tipos de APP	área de APPs (ha)		
	UC de Proteção Integral	UC de Uso Sustentável	Fora de UC
<b>Vegetação Nativa</b>	4.294,1	30.967,6	582,4
<b>Antrópico</b>	1.021,0	11.483,7	225,0
<b>TOTAL</b>	5.317,0	42.451,3	807,4

**Figura 17: Antropização das Áreas de Preservação Permanente por inserção em Unidade de Conservação.**



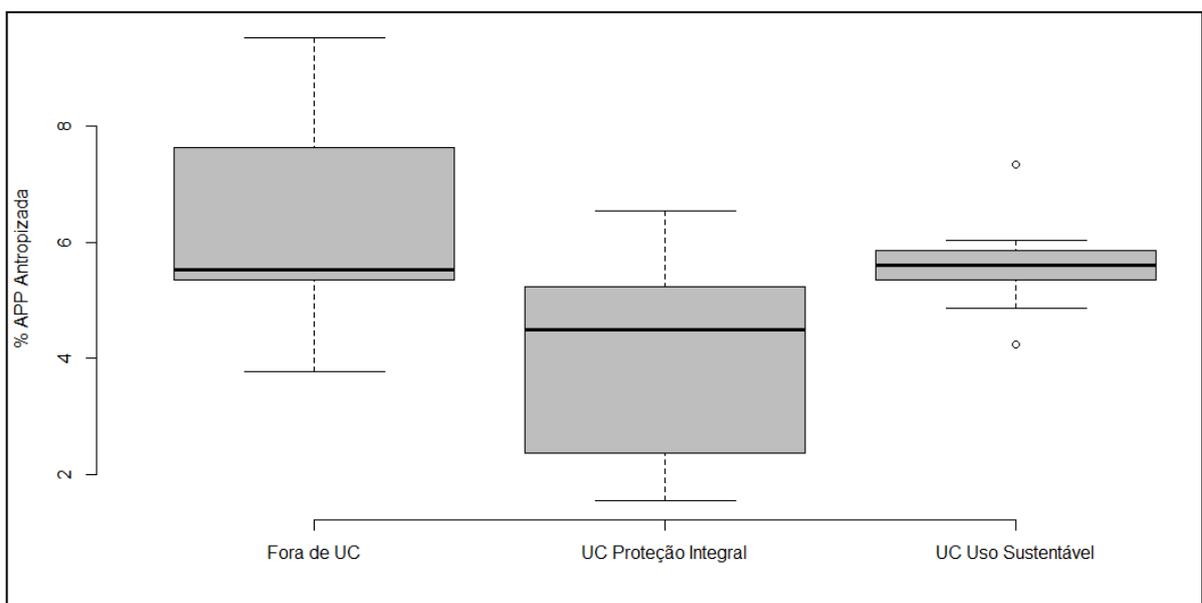
A Análise de Variância (ANOVA) identificou que existe diferença entre os três grupos analisados ( $F = 3.584$ ,  $p = 0.0467$ ), entretanto, o teste de Tukey não encontrou diferenças significativas nas análises par a par (UC Proteção Integral-Fora de UC:  $p = 0.0558$ ; UC Uso Sustentável-Fora de UC:  $p = 0.7013$ ; UC Uso Sustentável-UC Proteção Integral:  $p = 0.1455$ ). Apesar do resultado do teste Tukey, foi possível observar que existe uma aparente diferença

entre a os grupos APP em UC de Proteção Integral e APP fora de UC (Figura 18), o que é corroborado pelo valor de  $p$  marginalmente não significativo. Possivelmente análises realizadas com maior  $n$  poderiam evidenciar estatisticamente as diferenças entre os grupos.

As UCs de Proteção Integral têm por objetivo básico a conservação e preservação da natureza, restringindo desse modo, o uso de seus recursos de forma indireta, ou seja, uso que não envolve o consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais existentes, com raras exceções previstas na legislação, enquanto as UCs de Uso Sustentável possuem por finalidade harmonizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parte dos recursos naturais existentes (MANETTA et al., 2015). Essa diferenciação entre os regimes de proteção dos dois tipos de UCs, pode contribuir para a maior conservação da vegetação nativa em APPs inseridas em UCs de Proteção Integral do que nas de Uso Sustentável, entretanto, não é possível relacionar exclusivamente este fator à conservação das APPs, visto que a diferença do percentual de APPs antropizadas para cada tipo de UCs não foi significativa.

De forma semelhante, o equilíbrio entre percentuais de áreas antropizadas dentro e fora de UCs, também não permite que se relacione a conservação da vegetação em APP, exclusivamente com a sua inserção em Unidades de Conservação, entretanto, valor de  $p$  marginalmente não significativo, sugere uma discreta diferença.

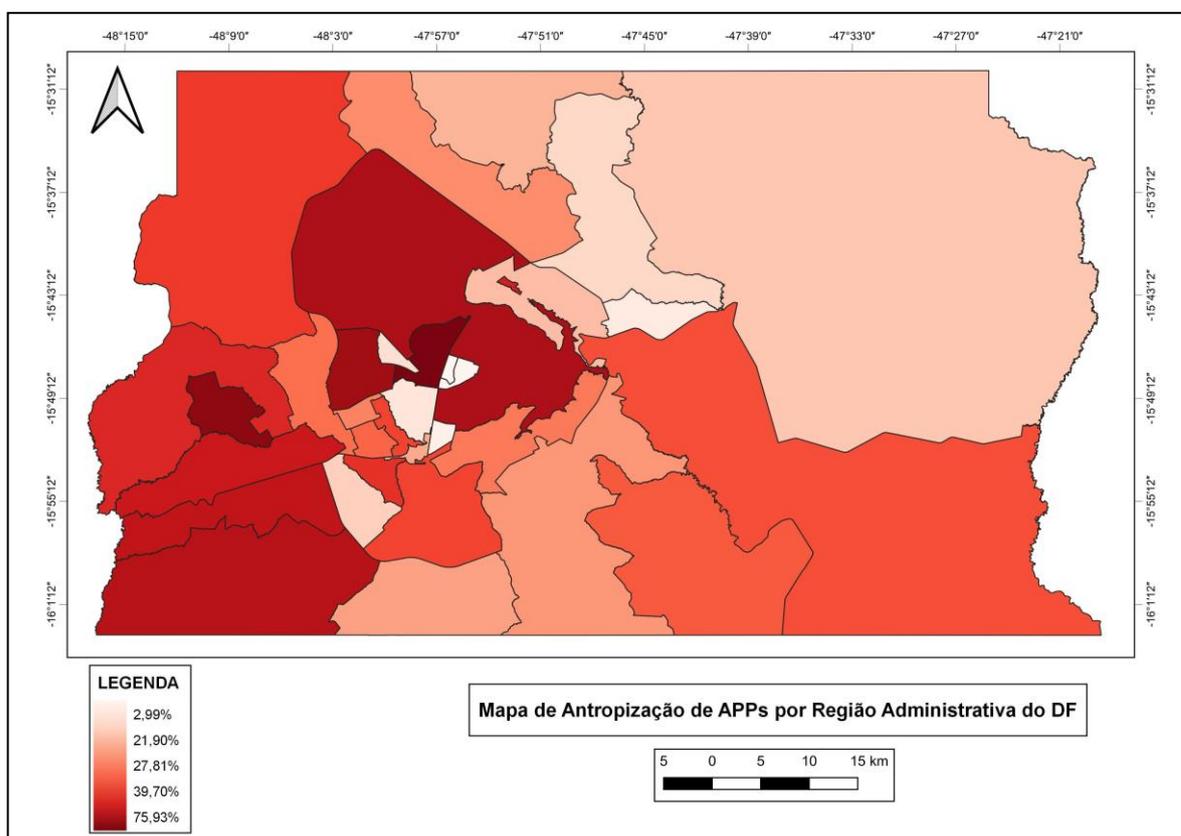
**Figura 18: Box-plot da porcentagem de APPs antropizadas no Interior de Unidades de Conservação de Uso Sustentável, Proteção Integral e fora de Unidade de Conservação.**



## 6.6. ANTROPIZAÇÃO DE APPs POR REGIÃO ADMINISTRATIVA DO DF

O mapa apresentado na Figura 19, apresenta a distribuição de APPs antropizadas por Região Administrativa do Distrito Federal. As Regiões com maior percentual de antropização de APPs do Distrito Federal foram as Regiões localizadas na porção central (Plano Piloto, Cruzeiro e Vicente Pires), com destaque para a RA Vicente Pires que apresentou 75,93% das suas Áreas de Preservação Permanente antropizadas. Esse alto percentual vai de acordo ao constatado por Mesquita, Silvestre e Steinke (2017) que a ocupação irregular no Vicente Pires teve o início em 1985 e logo se alterou o uso previsto para a área, transformando a colônia agrícola em condomínios horizontais, fato gerou uma série de desrespeitos à legislação ambiental ocasionando consequentemente diversos impactos ambientais, como o desmatamento da vegetação nativa e a impermeabilização do solo em APP. Para o Plano Piloto, o maior percentual de antropização de APPs pode estar relacionado ao seu elevado grau de urbanização, sendo considerado um "core" da dinamização urbana, centro dos postos de trabalho, do consumo sofisticado e da concentração das atividades de cultura e lazer (UNESCO, 2002).

**Figura 19: Mapa de Antropização de APPs por Região Administrativa do Distrito Federal**



Outra área com grande percentual de antropização foi a localizada na porção sudoeste (Gama, Recanto das Emas, Samambaia, Sol Nascente/Pôr-do-sol e Ceilândia) apresentando uma variação entre 38,24% (Ceilândia) e 57,58% (Sol Nascente/Pôr-do-sol). Nessa região, concentram-se dois polos de crescimento urbano, um polo constituído pelas localidades do Entorno de Taguatinga e outro, secundário, incluindo as cidades do Gama e Santa Maria (UNESCO, 2002). A partir de 1994 as ocupações irregulares na Ceilândia ganharam força, em especial com a criação do Setor Habitacional Sol Nascente e da Área de Regularização de Interesse Social – ARIS Pôr do Sol, assentamentos localizados em áreas ambientalmente frágeis (SEVERO, 2014).

## 6.7.DISTRIBUIÇÃO DA APPs PELAS MACROZONAS DO PDOT

A Figura 20, apresenta o mapeamento da distribuição de Áreas de Preservação Permanente em áreas Urbanas, Rurais ou de Proteção Integral, conforme definido no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT/09, aprovado pela Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009, que divide o Distrito Federal em três Macrozonas conforme suas características. A Tabela 15 e a Figura 21 mostram que a maior parte das Áreas de Preservação Permanente do Distrito Federal está inserida em áreas rurais (36.961,9 ha), sendo 27,5% apresentam-se antropizadas. Já nas áreas urbanas, estima-se um total de 5.759,2 ha de APPs, com 25,1% de áreas antropizadas.

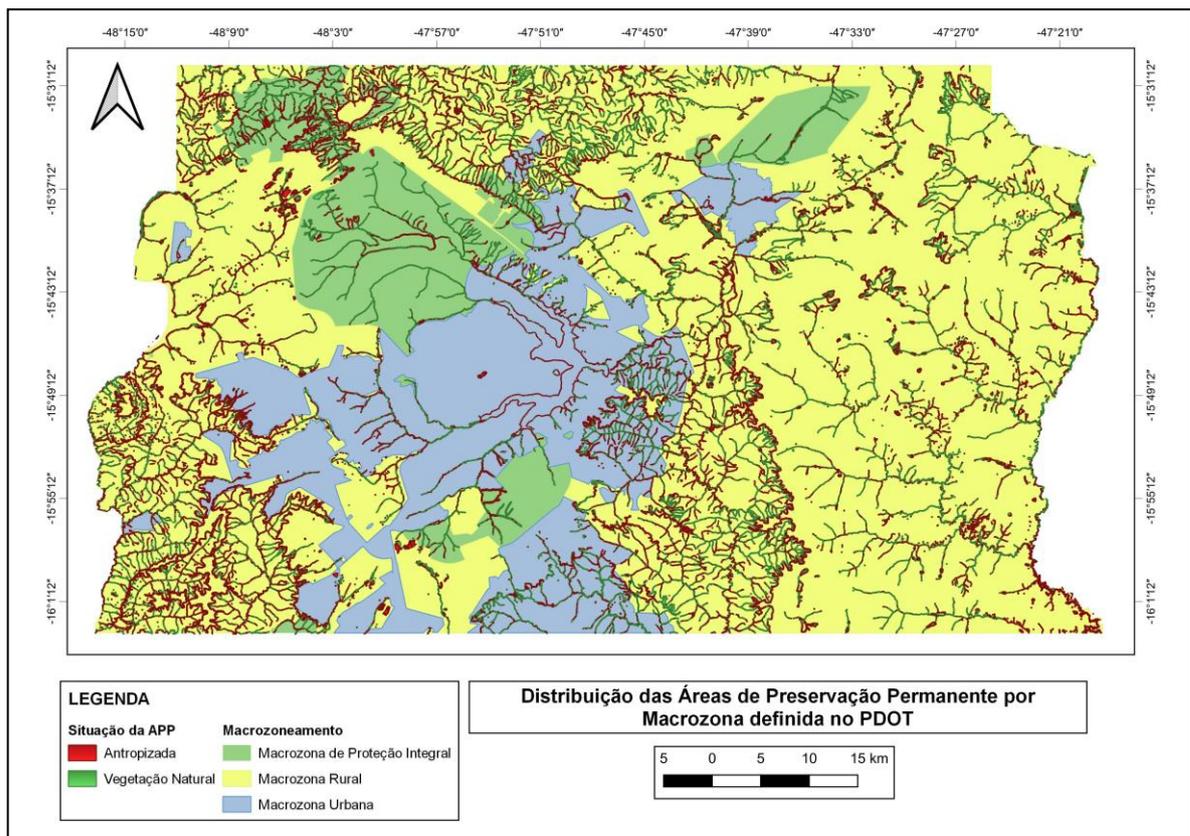
**Tabela 15: Distribuição das Áreas de Preservação Permanente pelo Macrozoneamento do PDOT.**

APPs por Macrozona do PDOT (áreas em ha)		
Tipos de APP	Macrozonas	
	Urbana	Rural
Vegetação Nativa	4.311,3	26.789,6
Antrópico	1.447,9	10.172,3
<b>TOTAL</b>	5.759,2	36.961,9

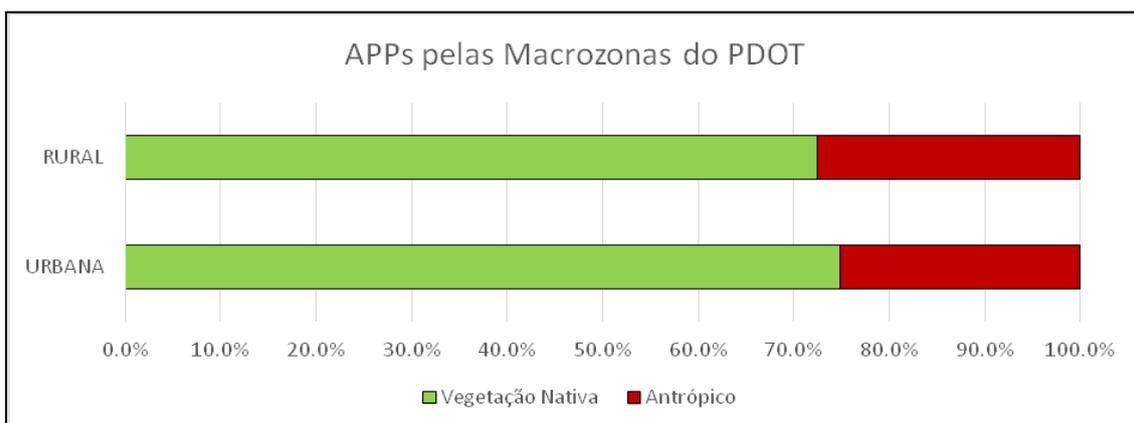
A semelhança entre os percentuais de APPs antropizadas em áreas urbanas e rurais, pode ser explicada pela forma como se dá a ocupação no Distrito Federal, que por vezes ocorre de forma descentralizada na Zona Rural do Distrito Federal, tendo em vista a baixa oferta de

moradia regular nos grandes centros urbanos e o seu alto preço (BLANCO, 2018). Segundo Brandão (2013), no Distrito Federal a busca dos setores de média e alta renda por condomínios horizontais afastados ocorre devido a estrutura fundiária obscura advinda dos processos incompletos de desapropriação realizados na transferência da capital e também por arranjos institucionais existentes em diversos momentos de sua história.

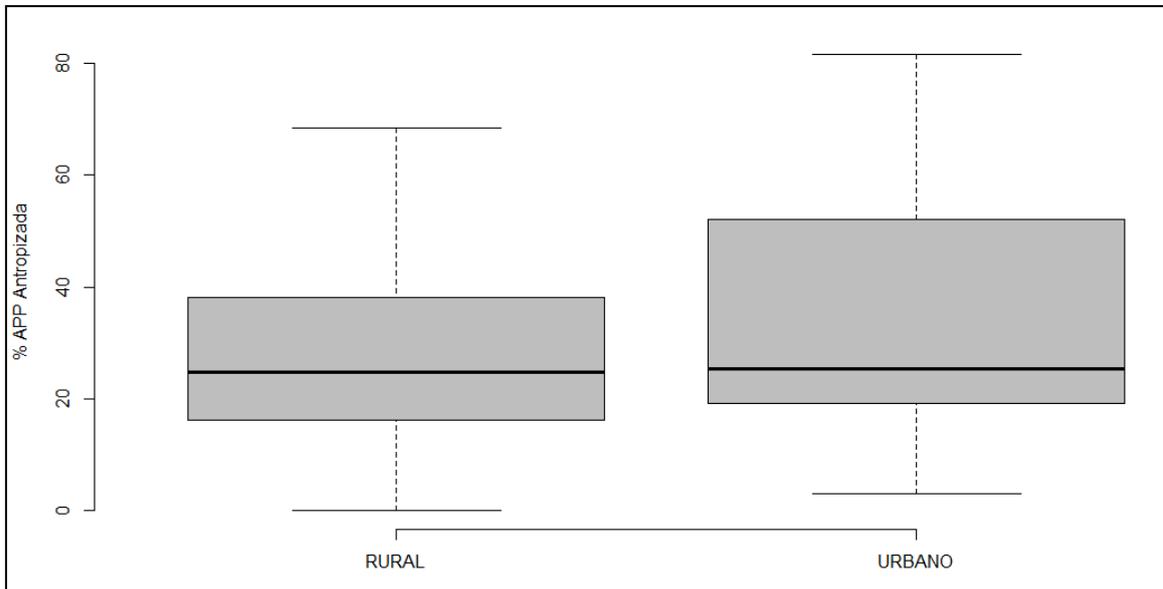
**Figura 20: Mapa da distribuição das Áreas de Preservação Permanente por Macrozona definida no PDOT.**



**Figura 21: Antropização das Áreas de Preservação Permanente por Macrozonas do PDOT.**



**Figura 22: Box-plot da porcentagem de APPs antropizadas em áreas rurais ou urbanas segundo o PDOT.**



Visando identificar se existe diferença significativa entre a porcentagem de APPs antropizadas em áreas urbanas ou rurais, foi aplicado o *teste de Willcox* que não encontrou diferenças significativas ( $W = 343$ ,  $p = 0,45$ ).

## **6.8. INFLUÊNCIA DE FATORES SOCIOECONÔMICOS NA CONSERVAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE**

A análise quanto à possível influência de fatores socioeconômicos na conservação de Áreas de Preservação Permanente não apresentou resultados significativos. O resultado da regressão linear múltipla indicou que não há relação significativa entre o percentual de APPs antropizada por Região Administrativa do DF e os fatores socioeconômicos analisados ( $F=1,151$  e  $P=0,363$ ), sendo que o modelo gerado explicou cerca de 20% da variação observada ( $r^2 = 0.2$ ).

Discutindo separadamente cada fator socioeconômico, temos que o fato de não haver relação entre a extensão de APPs antropizada e a densidade populacional da Região Administrativa contraria o senso comum de que impacto humano no ambiente está intimamente relacionado aos números da população e seu crescimento. De acordo com Guerra e Cunha (2000), os seres humanos ao se concentrarem num determinado espaço físico aceleram irreversivelmente os processos de degradação ambiental, sendo possível, portanto, dizer que a degradação ambiental cresce na proporção que a concentração populacional aumenta.

Entretanto, conforme apontado por Pioli e Rossin (2006), esses elementos são somente alguns dos fatores com impacto ambiental. Os autores também apontam que a densidade e a distribuição de população determinada pela migração e pela urbanização são também importantes, como o é a composição da população em termos de idade, sexo, exercício da atividade econômica, por exemplo.

Já quanto à relação entre APPs e os fatores Índice de Vulnerabilidade Social, Precariedade Habitacional e Percentual de Pessoas que Vivem em Lotes Regularizados, a não relação pode estar relacionada às especificidades das ocupações no Distrito Federal. Conforme apontado por Blanco (2018), a irregularidade na forma de ocupação é um fenômeno que acomete todo o território brasileiro devido à necessidade de moradias pela população que não é atendida totalmente pelo modelo de planejamento adotado e pelas políticas públicas vigentes. No entanto, segundo a autora, o Distrito Federal possui certas peculiaridades quanto à abrangência da população que se insere no formato irregular de ocupações, pois, além de contar com ocupações irregulares que se enquadram nos parâmetros de caracterização de favelas, existe uma grande quantidade de ocupações irregulares geradas pela classe média e média alta da população. Assim, fatores sociais influenciados pela renda, bem como a regularização fundiária permeiam todas as classes sociais e tipos de ocupação no Distrito Federal, sendo mais caracterizada por uma relação de “oportunidade” do que propriamente pela questão econômica.

Quanto ao fator Tempo de Deslocamento para o Trabalho, buscou-se avaliar a relação entre distância dos grandes centros urbanos e a antropização de APPs, uma vez que, conforme apontam Pioli e Rossim (2006), as cidades brasileiras se modelaram segundo a ocupação centro-periferia, onde no centro ficam a infraestrutura e os equipamentos urbanos, as atividades públicas e privadas e as habitações da população de maior renda. Já na periferia, sem equipamentos urbanos e infraestrutura, com precária provisão de serviços, situa-se a ocupação de população de baixa renda. Entretanto, a falta de relação entre Tempo de Deslocamento para o Trabalho e a antropização de APPs demonstra que a distância dos centros urbanos, no caso do Distrito Federal, não se relaciona com o nível de antropização de APPs.

## 7. CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho identificaram que, se analisados apenas os valores mínimos previstos no Novo Código Florestal de 2012, aproximadamente 9% da área total do Distrito Federal é Áreas de Preservação Permanente (52.255,4 ha). Desses, 74,7% (39.038,8 ha) apresentaram-se cobertos por vegetação nativa e 25,3% (13.216,6) sofreram alguma forma de antropização. Esses dados demonstram que, de maneira geral, as políticas de proteção das áreas de preservação permanente definidas pela Lei no 12.651/2012 contribuíram para a diminuição do percentual de APPs antropizadas no Distrito Federal, quando comparados aos valores obtidos em estudos anteriores, como o realizado por UNESCO (2002), que estimou percentuais de 47% de desmatamento de APPs do Distrito Federal em 2001.

Já quando analisado o valor máximo de APPs, considerando todos os remanescentes de matas ciliares ou de matas de galerias, conforme o previsto na Lei Orgânica do Distrito Federal, esse valor sobe para 92.676,6 ha, demonstrando que, caso sejam aplicados apenas os limites mínimos de APPs previstos no Código Florestal, aproximadamente 40.000 hectares de áreas de elevada importância na prestação de diversos serviços ecossistêmicos, poderiam ser passíveis de autorização para exploração, sem as restrições impostas pelo regime das Áreas de Preservação Permanente.

Estima-se que a anistia concedida pelo Novo Código Florestal às APPs antropizadas antes de 2008, representa que 750 ha de áreas que não serão restauradas no DF (1,4% das APPs do Distrito Federal). Subtraindo-se as Áreas Consolidadas, foi possível estimar que, em 2020, o Distrito Federal possuía um passivo de APPs a serem recuperadas de 12.466,6 ha, que representam 23,8% do total de Áreas de Preservação Permanente do Distrito Federal.

Quando analisado o efeito que a inserção das APPs em Unidades de Conservação tem sobre a antropização das APPs, verificou-se que, embora tenha ocorrido um discreto aumento no percentual de APPs antropizadas fora de Unidades de Conservação (27,9), quando comparada às APPs dentro de UCs de Uso Sustentável (27,1%) e Proteção Integral (19,2%), as análises estatísticas revelaram que não existe diferença significativa entre tais valores, não sendo possível, portanto, confirmar a hipótese de que regimes de Proteção de UCs contribuem para a conservação das APPs.

Quanto à distribuição de APPs antropizadas em áreas urbana e rurais, através das análises estatísticas, concluímos que não houve diferença significativa na porcentagem de APPs

antropizadas, também não sendo possível confirmar a hipótese de que áreas urbanas são mais susceptíveis a antropização das APPs.

Entretanto, a análise das porcentagens de APPs antropizadas por Região Administrativa do Distrito Federal, demonstrou um acréscimo da degradação de APPs em áreas com alto grau de expansão urbana, como o Setor Habitacional Sol Nascente/Por do Sol e a RA Vicente Pires.

Não houve relação significativa entre o percentual de APP antropizada por Região Administrativa do DF e os fatores socioeconômicos Densidade populacional, Índice de Vulnerabilidade Social, Precariedade habitacional, Lotes não regularizados e Tempo de deslocamento para o trabalho, assim, conclui-se que, no presente caso, fatores socioeconômicos não são fatores principais que contribuem para o aumento da degradação das APPs.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, L. M. DE S.; MACHADO, R. B.; MARINHO-FILHO, J. A diversidade biológica do Cerrado. In: **Cerrado: ecologia e caracterização**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 17–40.
- ALDAY, J. G. et al. Shrub-induced understory vegetation changes in reclaimed mine sites. **Ecological Engineering**, v. 73, p. 691–698, 2014.
- APLIN, P.; SMITH, G. Advances in object-based image classification. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 37, p. 725–728, 2008.
- ATTANASIO, C. M. et al. A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 493–501, 2012.
- BAATZ, M.; SCHAPE, A. Multiresolution segmentation: An optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. **Proceedings of Angewandte Geographische Informations Verarbeitung XII**, 2000.
- BARALDI, A.; PANNIGIANI, F. An investigation of the textural characteristics associated with gray level cooccurrence matrix statistical parameters. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 293–304, 28 jun. 2019.
- BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. DOS S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2009.
- BELGIU, M.; DRĂGUȚ, L. Comparing supervised and unsupervised multiresolution segmentation approaches for extracting buildings from very high resolution imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 96, p. 67–75, 1 out. 2014.
- BERBEROGLU, S. et al. The integration of spectral and textural information using neural networks for land cover mapping in the Mediterranean. **Computers and Geosciences**, v. 26, n. 4, p. 385–396, 1 maio 2000.
- BERTANI, T. DE C.; ROSSETTI, D. DE F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. Object-based classification of vegetation and terrain topography in Southwestern Amazonia (Brazil) as a tool for detecting ancient fluvial geomorphic features. **Computers and Geosciences**, 2013.
- BICALHO, S. T. T. et al. Herbicide distribution in soils of a riparian forest and neighboring sugar cane field. **Geoderma**, v. 158, n. 3–4, p. 392–397, 2010.
- BLANCO, K. C. As Peculiaridades das Ocupações Irregulares no Distrito Federal. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, v. 0, n. 21, 7 nov. 2018.
- BLASCHKE, Thomas & KUX, Hermann (org.). Sensoriamento Remoto e SIG Avançados. Novos Sistemas Sensores e Métodos Inovadores. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 286 p. **ACTA GEOGRÁFICA**, v. 1, n. 1, p. 127–128, 2007.
- BLASCHKE LANG, S., MÖLLER, M., T. **Object-based analysis of remote sensing data for landscape monitoring: Recent developments**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiania. **Anais...2005**
- BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 65, n. 1, p. 2–16, 1 jan. 2010.

BLASCHKE, T. et al. Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 87, p. 180–191, 1 jan. 2014.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of Transformations. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 26, n. 2, p. 211–243, 1 jul. 1964.

BRANCALION, P. H. S. et al. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. [s.l.: s.n.].

BRANCALION, P. H. S. et al. A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): Updates and ongoing initiatives. **Natureza e Conservação**, v. 14, 2016a.

BRANCALION, P. H. S. et al. Análise crítica da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (2012), que substituiu o antigo Código Florestal: atualizações e ações em curso. **Natureza & Conservação**, v. 14, p. e1–e16, 1 abr. 2016b.

BRANDTBERG, T.; WARNER, T. High-spatial-resolution remote sensing. **Computer Applications in Sustainable Forest Management**, p. 19–41, 26 set. 2006.

BRASIL, M. Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado - Relatório Final. **Edital Probio 02/2004**, 2007.

BRASIL, M. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. . 2012.

BRASIL, M. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. 67. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2015.

BURNETT, C.; BLASCHKE, T. **A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis**. Ecological Modelling. **Anais...Elsevier**, 15 out. 2003

CALMON, M. et al. Emerging Threats and Opportunities for Large-Scale Ecological Restoration in the Atlantic Forest of Brazil. **Restoration Ecology**, v. 19, n. 2, p. 154–158, 1 mar. 2011.

CASTELLO, L. et al. **The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems** **Conservation Letters** John Wiley & Sons, Ltd, , 1 jul. 2013. Disponível em: <<https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/conl.12008>>. Acesso em: 5 jul. 2021

CASTRO, L. F. DE; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B. **Análise orientada a objetos aplicada a imagem de alta resolução para identificação de solo exposto em ambiente montanhoso de Mata Atlântica**. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR. **Anais...Santos: Embrapa Solos**, 2017Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161765/1/2017-015.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2021

CAVALCANTI, T. B.; RAMOS, A. E. **Flora do Distrito Federal, Brasil**. 1. ed. [s.l.] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2001. v. 8

CHELOTTI, G. B.; SANO, E. E. **Sessenta anos de ocupação urbana da capital do Brasil: padrões, vetores e impactos na paisagem**, 2021.

CHEN, G.; HAY, G. J.; ST-ONGE, B. A GEOBIA framework to estimate forest parameters from lidar transects, Quickbird imagery and machine learning: A case study in Quebec, Canada. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 15, n. 1, p. 28–37, 1 abr. 2012.

CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal**, 2017. Disponível em:

<<http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Atlas-do-Distrito-Federal-2017.pdf>>

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data**. [s.l.] CRC Press, 2008.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data**. [s.l.: s.n.].

CORRÊA, R. S.; DE MELO FILHO, B.; DE MELLO BAPTISTA, G. M. Avaliação fitossociológica da sucessão autogênica em áreas mineradas no Distrito Federal. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 406–415, 11 set. 2007.

COSTA, E. R.; DA SILVA, M. A. O.; MACHADO E SILVA, A. J. F. **Uso de Pontos de Controle e Modelo Numérico de Elevações de Terreno na Geração de Imagens CBERS: Níveis 3 e 4 de Processamento**. II Simpósio Brasileiro de Geomática. **Anais...Presidente Prudente: UNESP**, 2007

COUTO JUNIOR, A. F. et al. Tratamento de ruídos e caracterização de fisionomias do Cerrado utilizando séries temporais do sensor MODIS. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 699–705, 2011.

CYRILLO, G. B. **Mercado Imobiliário informal e seus mecanismos de operação: Vila Acaba Mundo, Belo Horizonte**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 11 mar. 2011.

DE OLIVEIRA SILVEIRA, E. M. et al. The assessment of vegetation seasonal dynamics using multitemporal NDVI and EVI images derived from MODIS. **Cerne**, v. 14, n. 2, p. 177–184, 2008.

DENG, J. S. et al. PCA-based land-use change detection and analysis using multitemporal and multisensor satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 16, p. 4823–4838, 20 ago. 2008.

DIAS, B. F. DE S. **Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis**. Brasília: [s.n.].

DRONOVA, I. **Object-based image analysis in wetland research: A review** **Remote Sensing** Multidisciplinary Digital Publishing Institute, , 21 maio 2015. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/7/5/6380/htm>>. Acesso em: 6 ago. 2021

EVA, H. D. et al. A land cover map of South America. **Global Change Biology**, v. 10, p. 731–744, 2004.

FAIL, J. L.; HAINES, B. L.; TODD, R. L. Riparian forest communities and their role in nutrient conservation in an agricultural watershed. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 2, n. 3, p. 114–121, 1987.

FELFILI, J. M. Diversity, structure and dynamics of a gallery forest in central Brazil. **Vegetatio**, v. 117, n. 1, p. 1–15, mar. 1995.

FELFILI, J. M. et al. **Recuperação De Matas De Galeria** Brasília Embrapa Cerrados, , 2000. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/564008/1/doc21.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2021

FELIZOLA, E. R. et al. Avaliação da dinâmica da paisagem no Distrito Federal. Projeto da Reserva da Biosfera do Cerrado-Fase I. [s.d.].

FELIZOLA, E. R.; LAGO, F. P. DE L. S.; GALVÃO, W. S. **Avaliação da dinâmica da**

**paisagem no Distrito Federal. Projeto da Reserva da Biosfera do Cerrado - Fase I.** Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**Foz do Iguaçu: INPE, 2001Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.09.15/doc/1593.1600.141.pdf>>

FERREIRA, J. et al. **Towards environmentally sustainable agriculture in Brazil: Challenges and opportunities for applied ecological research***Journal of Applied Ecology* John Wiley & Sons, Ltd, , 1 jun. 2012. Disponível em: <<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2664.2012.02145.x>>. Acesso em: 5 jul. 2021

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 157–166, 2005.

FERREIRA, M. N.; VALDUJO, P. H. **Observatório de UCs: Biodiversidade em Unidades de Conservação.** Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?42382/Observatorio-de-UCs-Biodiversidade-em-Unidades-de-Conservao>>. Acesso em: 5 jul. 2021.

FORTIN, M. J. et al. Issues related to the detection of boundaries. **Landscape Ecology**, v. 15, n. 5, p. 453–466, 2000.

FRANÇA, A. M. DA S.; SANO, E. E. Mapeamento de áreas de campo limpo úmido no Distrito Federal a partir de fusão de imagens multiespectrais. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 2, p. 197–209, ago. 2011.

FRANÇOSO, R. D. et al. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Natureza e Conservacao**, v. 13, n. 1, p. 35–40, 1 jan. 2015.

GRECCHI, R. C. et al. Assessing the spatio-temporal rates and patterns of land-use and land-cover changes in the Cerrados of southeastern Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 15, p. 5369–5392, 2013.

GRIMALDI, M. et al. Ecosystem services of regulation and support in Amazonian pioneer fronts: Searching for landscape drivers. **Landscape Ecology**, v. 29, n. 2, p. 311–328, 12 jan. 2014.

GUIDOTTI, V. et al. Números detalhados do novo Código Florestal e suas implicações para os PRAs. **Sustentabilidade em Debate**, v. 5, p. 1–11, 2017.

GUIDOTTI, V. et al. Changes in Brazil's Forest Code can erode the potential of riparian buffers to supply watershed services. **Land Use Policy**, v. 94, n. February, p. 104511, 2020.

HARALICK, R. M.; DINSTEIN, I.; SHANMUGAM, K. Textural Features for Image Classification. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. SMC-3, n. 6, p. 610–621, 1973.

HAY, G. J.; CASTILLA, G. **Object-based image analysis: Strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT).** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. **Anais...**2006

HAY, G. J.; CASTILLA, G. Geographic object-based image analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. **Lecture Notes in Geoinformation and Cartography**, v. 0, n. 9783540770572, p. 75–89, 2008.

HEROLD, N. D.; HAACK, B. N.; SOLOMON, E. An evaluation of radar texture for land

use/cover extraction in varied landscapes. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 5, n. 2, p. 113–128, maio 2004.

HOFMANN, T.; PUZICHA, J.; JORDAN, M. I. **Learning from dyadic data**. Advances in Neural Information Processing Systems. **Anais...Neural information processing systems foundation**, 1999

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1–2, p. 195–213, 1 nov. 2002.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295–309, 1 ago. 1988.

HUETE, A. R. et al. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 6, p. 6405, 1 mar. 2006.

IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil**. Disponível em: <[https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/estudos\\_ambientais/biomas/mapas/biomas\\_5000mil.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/mapas/biomas_5000mil.pdf)>.

INMET. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>.

INPE. **Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS)**. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cbbers04a.php>>. Acesso em: 31 mar. 2021.

JAMALI, S. et al. Detecting changes in vegetation trends using time series segmentation. **Remote Sensing of Environment**, v. 156, p. 182–195, 1 jan. 2015.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment : an earth resource perspective**. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007.

JHONNERIE, R. et al. Random Forest Classification for Mangrove Land Cover Mapping Using Landsat 5 TM and Alos Palsar Imageries. **Procedia Environmental Sciences**, v. 24, p. 215–221, 1 jan. 2015.

LALIBERTE, A. S. et al. **Comparison of nearest neighbor and rule-based decision tree classification in an object-oriented environment**. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). **Anais...Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.**, 2006

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159–174, 1977.

LATAWIEC, A. E. et al. Creating space for large-scale restoration in tropical agricultural landscapes. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 4, p. 211–218, 1 maio 2015.

LI, Z. et al. **An assessment of correlation on MODIS-NDVI and EVI with natural vegetation coverage in Northern Hebei Province, China**. **Procedia Environmental Sciences**. **Anais...Elsevier**, 1 jan. 2010

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do cerrado com índices de vegetação dos sensores modis/terra e aqua. **Revista Arvore**, v. 31, n. 2, p. 295–305, 2007.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. **Análise da situação dos recursos hídricos do cerrado com base na importância e econômica e socioambiental de suas águas**. II Simpósio Internacional

Savanas Tropicais. **Anais...Brasília: Embrapa Cerrados, 2008**Disponível em: <<http://simposio.cpac.embrapa.br/simposio> em pc210 (Pc210)/trabalhos\_pdf/00738\_trab2\_ap.pdf>

LIMA, W. D. P.; ZAKIA, M. J. B. As Florestas Plantadas E a Água. 2006.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da Variabilidade do “Índice de Vegetação por Diferença Normalizada/NDVI” Utilizando Krigagem Indicativa. **Holos Environment**, v. 4, n. 1, p. 38–55, 2007.

LOWRANCE, R. et al. Water Quality Functions of Riparian Forest Buffers in Chesapeake Bay Watersheds. **Environmental Management** 1997 21:5, v. 21, n. 5, p. 687–712, set. 1997.

LU, D.; WENG, Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>, v. 28, n. 5, p. 823–870, 2007.

MACHADO, R. B. et al. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Brasília: Conservação Internacional - Brasil, 2004.

MANETTA, B. R. et al. Unidades de Conservação. **Engenharias On-line**, v. 1, n. 2, p. 1–10, 2015.

MAPBIOMAS. **Project MapBiomass - Collection 5.0 of Brazilian Land Cover & Use Map Series**.

MARCEAU, D. J. et al. Evaluation of the Grey-Level Co-Occurrence Matrix Method for Land-Cover Classification Using SPOT Imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 28, n. 4, p. 513–519, 1990.

MASCARENHAS, L. M. DE A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 1, p. 5–18, 2011.

MASCARO, J. et al. These are the days of lasers in the jungle. **Carbon Balance and Management**, v. 9, n. 1, 2014.

MEDEIROS, R.; ARAÚJO, F. F. S. **Dez anos do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: lições do passado, realizações presentes e perspectivas para o futuro**. Brasília: MMA, 2011.

MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. DA S. **Sensoriamento remoto: reflectancia dos alvos naturais**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2001.

MESQUITA, F. N.; SILVESTRE, K. S.; STEINKE, V. A. Urbanization and environmental degradation: Analysis of irregular occupation in permanent protection areas in the administrative region of Vicente Pires, DF, using aerial images from the year 2016. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, 2017.

MIN, M. DA I. N. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais**. Brasília: [s.n.].

MISHRA, V. N. et al. Dual-polarimetric C-band SAR data for land use/land cover classification by incorporating textural information. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 1, p. 1–16, 1 jan. 2017.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2001.

- MUKHERJEE, S. et al. Effect of canal on land use/land cover using remote sensing and GIS. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 37, n. 3, p. 527–537, set. 2009.
- MÜLLER, H. et al. Mining dense Landsat time series for separating cropland and pasture in a heterogeneous Brazilian savanna landscape. **Remote Sensing of Environment**, v. 156, p. 490–499, 2015.
- NAIMAN, R. J.; DÉCAMPS, H. The ecology of interfaces: Riparian zones. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 28, p. 621–658, 1997.
- NETA, S. R. A.; BIAS, E. DE S.; SANTOS, C. A. M. DOS. Classificação Baseada em Objetos e Mineração de Dados: Aplicação de Ferramentas Open Source no Mapeamento de Área Urbana. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 3, p. 932–966, 30 set. 2018.
- NUNES, S. et al. Potential for forest restoration and deficit compensation in Itacaiúnas watershed, southeastern Brazilian Amazon. **Forests**, v. 10, n. 5, p. 439, 2019.
- OKUYAMA, K. K. et al. Compliance of farmlands to Brazilian forest code: A case study in the State of Paraná. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 1015–1021, 2012.
- PASSO, D. P. et al. USO DO SISTEMA INTERIMAGE PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ALVOS URBANOS EM IMAGENS DO SATÉLITE WORLDVIEW II. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 6, p. 1211–1221, 2013.
- PDAD – Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios – CODEPLAN**. Disponível em: <<http://www.codeplan.df.gov.br/pdad/>>. Acesso em: 23 jul. 2021.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007.
- PERT, P. L. et al. A composite threat indicator approach to monitor vegetation condition in the Wet Tropics, Queensland, Australia. **Ecological Indicators**, 2012.
- PINHEIRO, C. DE Q. et al. Análise fitossociológica do estrato arbóreo de uma cascalheira revegetada no Distrito Federal. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 205–214, 2009.
- PIOLI, M. S. M. DE B.; ROSSIN, A. C. O MEIO AMBIENTE E A OCUPAÇÃO IRREGULAR DO ESPAÇO URBANO. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v. 3, p. 40–56, 2006.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 2. ed. [s.l.] Oficina de Textos, 2012.
- RAJESH, K. et al. Performance analysis of textural features for characterization and classification of SAR images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 8, p. 1555–1569, 1 jan. 2001.
- REATTO, A. et al. **Mapa pedológico digital: SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. DE; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: Ecologia e flora**. 1. ed. Brasília: Embrapa Cerrados/Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 151–212.
- RICHARDS, R. C. et al. Governing a pioneer program on payment for watershed services:

Stakeholder involvement, legal frameworks and early lessons from the Atlantic forest of Brazil. **Ecosystem Services**, v. 16, p. 23–32, 2015.

RICHARDSON, J. S.; NAIMAN, R. J.; BISSON, P. A. How did fixed-width buffers become standard practice for protecting freshwaters and their riparian areas from forest harvest practices? **Freshwater Science**, v. 31, n. 1, p. 232–238, 2012.

ROCHA, G. F. et al. Detecção de desmatamentos no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 3, p. 341–349, 2011.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Geography Department, University of Sao Paulo**, v. 16, p. 81–90, 2005.

ROUSE, W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Washington: NASA, 1974.

SANO, E. E.; JESUS, E. T. DE; BEZERRA, H. D. S. **Uso de um Sistema de Informações Geográficas para Quantificação de Áreas Remanescentes do Cerrado** Embrapa Cerrados. Brasília: [s.n.].

SANO, E. E. et al. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153–156, jan. 2008.

SANO, E. E. et al. **Mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado por meio de imagens Landsat ETM+**. Anais XIV Simposio Brasileiro de Sensoriamento remoto. **Anais...Natal: INPE**, 2009

SANO, E. E. et al. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818–828, 15 fev. 2019.

SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

SEVERO, D. DE S. **PLANEJAMENTO URBANO NO DISTRITO FEDERAL: O CASO DE CEILÂNDIA**. [s.l.] UnB, 2014.

SILVA, J. A. A. DA et al. **O Código Florestal e a Ciência - Contribuições para o diálogo Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – SBPC**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.sbpcnet.org.br/site/arquivos/codigo\\_florestal\\_e\\_a\\_ciencia.pdf](http://www.sbpcnet.org.br/site/arquivos/codigo_florestal_e_a_ciencia.pdf)>. Acesso em: 2 ago. 2021.

SILVA, L. DA R. DA; SANO, E. E. Análise das imagens do satélite Rapideye para discriminação da cobertura vegetal do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 7, p. 1269–1283, 13 ago. 2016.

SILVA JÚNIOR, M. C. DA. Comparação entre matas de galeria no Distrito Federal e a efetividade do código florestal na proteção de sua diversidade arbórea. **Acta Botanica Brasílica**, v. 15, n. 1, p. 139–146, 1 jan. 2001.

SKORUPA, L. A. **Áreas de Preservação Permanente e Desenvolvimento Sustentável** Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Skorupa\\_areasID-GFiPs3p4lp.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Skorupa_areasID-GFiPs3p4lp.pdf)>.

SOARES-FILHO, B. et al. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, 2014.

SOARES-FILHO, B. S. **Impacto da Revisão do Código Florestal: Como Viabilizar o**

**Grande Desafio Adiante?** Brasília: [s.n.].

SPAROVEK, G. et al. A conceptual framework for the definition of the optimal width of riparian forests. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 90, n. 2, p. 169–175, 2002.

STARR, C. R. et al. Plant colonization in a gravel mine revegetated with *Stylosanthes* spp. in a Neotropical savanna. **Landscape and Ecological Engineering**, 2013.

STORY, M.; CONGALTON, R. G. Accuracy Assessment: A User's Perspective. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 3, p. 397–399, 1986.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution** 2017 1:4, v. 1, n. 4, p. 1–3, 23 mar. 2017.

TEIXEIRA DE OLIVEIRA, L.; TAVARES DE CARVALHO, L. M.; ACERBI WEIMAR, F. J. **Fusão de imagens landsat e mineração de dados geográficos para mapear o cerrado dos municípios de Paraopeba e Caetanópolis – MG**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil. **Anais...2005**

TRACEWSKI, L. et al. Patterns of twenty-first century forest loss across a global network of important sites for biodiversity. **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, v. 2, p. 37–44, 2016.

TRIMBLE. **eCognition® Developer 7 reference book**. München: Definiens AG, 2007.

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

VIEIRA, M. A. et al. Object Based Image Analysis and Data Mining applied to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 123, p. 553–562, 1 ago. 2012.

VIVALDI, D. D. et al. **Análise dos remanescentes vegetais nas Áreas de Preservação Permanente no Distrito Federal**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...Natal: INPE, 2009**

YANG, X. TONG; LIU, H.; GAO, X. Land cover changed object detection in remote sensing data with medium spatial resolution. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 38, p. 129–137, 1 jun. 2015.

YU, Q. et al. Object-based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 72, n. 7, p. 799–811, 2006.

YUAN, Y. et al. Reclamation promotes the succession of the soil and vegetation in opencast coal mine: A case study from Robinia pseudoacacia reclaimed forests, Pingshuo mine, China. **Catena**, v. 165, p. 72–79, 1 jun. 2018.

ZAHAWI, R. A. et al. Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. **Biological Conservation**, v. 186, p. 287–295, 2015.

ZHANG, Y. Understanding image fusion. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 70, p. 657–661, 2004.

## ANEXO 1

Tabela de fatores socioeconômicos apresentados na Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios CODEPLAN em 2018.

<b>A</b>	<b>Densidade populacional (Habitantes/hectare)</b>	<b>Índice de Vulnerabilidade Social - IVS</b>	<b>Precariedade habitacional (%)</b>	<b>Lote não regularizado (%)</b>	<b>Tempo de deslocamento para o trabalho (%)</b>
<b>Águas Claras</b>	127,74	0,1	1,12%	0,48%	2,60%
<b>Arniqueira</b>	29,37	0,36	1,05%	47,78%	1,92%
<b>Brazlândia</b>	1,14	0,4	1,12%	22,65%	5,69%
<b>Candangolândia</b>	24,98	0,32	2,92%	4,35%	1,43%
<b>Ceilândia</b>	18,16	0,38	1,63%	2,10%	5,12%
<b>Cruzeiro</b>	97,39	0,12	3,28%	0,00%	0,71%
<b>Fercal</b>	0,56	0,55	0,75%	94,96%	2,63%
<b>Gama</b>	4,8	0,34	0,25%	7,03%	3,77%
<b>Guará</b>	53,03	0,24	2,21%	6,71%	0,85%
<b>Itapoã</b>	18,14	0,53	0,72%	53,88%	4,30%
<b>Jardim Botânico</b>	1,77	0,23	9,05%	30,17%	2,80%

<b>Lago Norte</b>	4,83	0,27	8,16%	21,27%	1,56%
<b>Lago Sul</b>	3,9	0,14	1,13%	4,76%	1,08%
<b>Núcleo Bandeirante</b>	49,11	0,36	3,99%	7,53%	2,47%
<b>Paranoá</b>	0,79	0,43	1,64%	29,13%	2,92%
<b>Park Way</b>	1,61	0,17	1,87%	10,15%	0,94%
<b>Planaltina</b>	1,16	0,44	9,88%	55,79%	8,41%
<b>Plano Piloto</b>	4,97	0,15	2,22%	2,30%	0,66%
<b>Recanto das Emas</b>	12,77	0,41	2,63%	6,95%	6,44%
<b>Riacho Fundo</b>	23,63	0,37	2,29%	13,71%	2,85%
<b>Riacho Fundo II</b>	22,11	0,33	5,31%	6,87%	5,09%
<b>SIA</b>	0,66	0,13	24,34%	0,43%	0,54%
<b>Samambaia</b>	23,2	0,38	1,47%	2,06%	4,37%
<b>Santa Maria</b>	9,6	0,38	3,48%	5,19%	8,30%
<b>São Sebastião</b>	3,53	0,47	0,69%	33,58%	3,54%

<b>SCIA</b>	48,09	0,72	25,44%	50,95%	1,89%
<b>Sobradinho</b>	3,58	0,32	5,95%	26,28%	2,05%
<b>Sobradinho II</b>	4,2	0,35	13,90%	51,40%	2,14%
<b>Pôr do Sol/Sol Nascente</b>	20,52	0,6	2,28%	78,08%	4,34%
<b>Sudoeste/Octogonal</b>	84,36	0,09	3,31%	0,00%	0,36%
<b>Taguatinga</b>	33,33	0,36	1,50%	3,17%	5,11%
<b>Varjão</b>	54,56	0,35	3,54%	9,57%	1,20%
<b>Vicente Pires</b>	15,57	0,38	2,23%	88,16%	2,67%

Fonte: adaptado de Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios feita pela CODEPLAN em 2018 (CODEPLAN, 2018).