



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MODELAGEM EM CIÊNCIA DA TERRA E DO AMBIENTE – PPGM



FABIANE SOUZA LIMA MEDEIRO

**CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DAS TERRAS E
QUANTIFICAÇÃO DOS PADRÕES ESPACIAIS DE ÁREAS DE
CAATINGA EM SÉRIES TEMPORAIS.**

Feira de Santana-Bahia

2018

FABIANE SOUZA LIMA MEDEIRO

**CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DAS TERRAS E
QUANTIFICAÇÃO DOS PADRÕES ESPACIAIS DE ÁREAS DE
CAATINGA EM SÉRIES TEMPORAIS.**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora no
Curso de Pós-graduação em Modelagem em
Ciências da Terra e do Ambiente, da Universidade
Estadual de Feira de Santana, como requisito para o
grau de mestre.

Orientadora: Dr.^a Jocimara Souza Britto Lobão.

Co-orientador: Dr.^o Rodrigo Nogueira de Vasconcelos.

Feira de Santana-Bahia

2018

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteadó - UEFS

Medeiro, Fabiane Souza Lima
M437c Classificação do uso e cobertura das terras e quantificação dos padrões
espaciais de áreas de caatinga em séries temporais / Fabiane Souza Lima
Medeiro. – 2018.
102 f.: il.

Orientadora: Jocimara Souza Britto Lobão.
Coorientador: Rodrigo Nogueira de Vasconcelos.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana,
Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do
Ambiente, 2018.

1. Bioma caatinga. 2. Multitemporal. 3. Áreas heterogêneas. I. Título.
II. Lobão, Jocimara Souza Britto, orient. III. Vasconcelos, Rodrigo Nogueira
de, coorient. IV. Universidade Estadual de Feira de Santana.

CDU 581.9

Renata Aline Souza Silva - Bibliotecária - CRB-5/1702

Fabiane Souza Lima Medeiro

**CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DAS TERRAS E
QUANTIFICAÇÃO DOS PADRÕES ESPACIAIS DE ÁREAS DE
CAATINGA EM SÉRIES TEMPORAIS.**

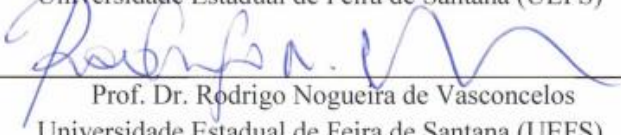
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana. Orientado pela Prof.^a Dr.^a Jocimara Souza Britto Lobão.

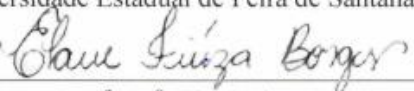
Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e Geotecnologias

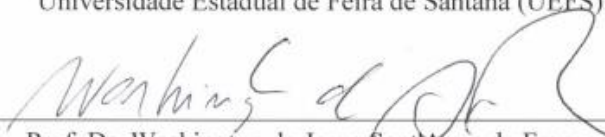
Data de aprovação: 16 de Julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA:


Prof.^a Dr.^a Jocimara Souza Britto Lobão (Orientadora)
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)


Prof. Dr. Rodrigo Nogueira de Vasconcelos
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)


Prof.^a Dr.^a Elane Fiuza Borges
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)


Prof. Dr. Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)

*Dedico esta dissertação aos meus pais
Railda e Enouebes Medeiro por sempre me
incentivar e sonhar este sonho junto comigo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre iluminar os meus caminhos, por me proporcionar momentos ímpares como estes vividos durante estes anos e realizar os meus sonhos.

Aos meus pais Railda e Enoeubes, quais serei eternamente grata pelos incentivos, esforços e pela abdicção dos seus sonhos em detrimento dos meus. Obrigada por me apoiarem, entenderem minha ausência, a importância deste momento em minha vida acadêmica e por serem meus maiores incentivadores.

Os meus familiares que se alegram por minhas conquistas e torcem por mim a todo momento, acompanhando meus passos e vibrando positivo.

Aos meus orientadores Jocimara Lobão e Rodrigo Vasconcelos por me acolherem, serem atenciosos e prestativos a todo momento, pelas orientações nas pesquisas e principalmente pelo conhecimento compartilhado estes anos quais contribuíram para o meu amadurecimento acadêmico.

Ao Marcos Rosa que integra a equipe do Mapbiomas, que foi como um anjo da guarda, por compartilhar os scripts para que esta pesquisa pudesse ser desenvolvida. E ao cubano Soltan, pela paciência em me ensinar o básico de programação que eu precisava e por me ajudar tanto com as classificações, pela atenção e por sempre estar disposto a me ajudar.

A FAPESB pela bolsa concedida que me auxiliou financeiramente de forma que eu direcionasse todos os meus esforços a penas a pesquisa e ao conhecimento científico. Os professores do PPGM, pelos momentos de conhecimento compartilhado nas aulas, pela atenção e por contribuir para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional. Aos membros da banca pelas contribuições, discussões e enriquecimento do trabalho no campo científico.

Aos colegas da turma VIII e IX desta Pós Graduação pelas trocas e amizade construída em especial Aline, Sarah, Monisi e Mauricio.

Aos colegas de turma qual tive o prazer de conviver diariamente durante esta jornada, Roginho, Paulinho, Ilanita, Hoganita, Efraim, Rayane, Uilian Disney, Alisson, Renata, Rey, Geisa e Ivonice, quais compartilhei conhecimento, alegrias, choros, madrugadas de estudo e os melhores momentos da pós-graduação. Obrigada por serem X!

Minha gratidão a todos!

RESUMO

A Caatinga encontrada na região Nordeste do Brasil é um dos biomas mais ameaçados, devido as práticas e dinâmicas de uso das terras. Com base nisto, o objetivo geral desta pesquisa foi analisar as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra no período de 2000 a 2016 de forma multitemporal. Para isto fez se o uso de tecnologia de processamento digital de imagens em nuvem como a plataforma *Google Earth Engine*, com base na metodologia usada pelo Mapbiomas a fim de comparar os classificadores *Random Forest* e *Supporte Vector Machine* para mapear áreas de ecótono de Caatinga com grande heterogeneidade espacial e temporal e a aplicação de índices da paisagem que é usado para quantificar a dinâmica da estrutura da paisagem. O recorte espacial foi a carta Jacobina SC.24-Y-C do IBGE na escala 1:250.000 com vista a incluir o município de Morro do Chapéu que guarda características de outros Biomas além da Caatinga, como o Cerrado e Mata Atlântica e com predomínio de atividades agropecuárias e cultivos temporários, bem como diferentes tipologias fisiográficas, o que lhe confere variada biodiversidade, considerada portanto uma área de grande complexidade para se mapear. Os resultados alcançados na análise comparativa dos classificadores para o mapeamento multitemporal, demonstraram que o classificador *Random Forest* apresentou um melhor desempenho para separar as classes de uso e cobertura da terra em áreas de ecótono de caatinga altamente heterogêneas e sazonais. Os resultados apresentados a partir da aplicação das métricas da paisagem, revelaram também que embora a cobertura vegetal tenha se mantido quase estável ao longo dos anos, houve variações da cobertura vegetal, porém pouco perceptível para esta escala espacial e temporal. As variações mais perceptíveis foram observadas em termos da estrutura, como o número de manchas e a proporção que a maior mancha ocupa na paisagem e elas ocorreram em classes importantes como a Agropecuária, Formações Savânicas e Vegetação Campestre.

Palavras-chave: Multitemporal, Caatinga, áreas heterogêneas.

ABSTRACT

The Caatinga found in the Northeast region of Brazil is one of the most threatened biomes, due to the practices and dynamics of land use. Based on this, the general objective of this research was to analyze the changes that occurred in land use and land cover in the period from 2000 to 2016 in a multitemporal way. For this, the use of digital cloud image processing technology such as the Google Earth Engine platform was based on the methodology used by Mapbiomas to compare the Random Forest and Support Vector Machine classifiers to map areas of Caatinga ecotone with great spatial and temporal heterogeneity and the application of landscape indices that is used to quantify the dynamics of the landscape structure. The spatial cut was the Letter Jacobina SC.24-Y-C of IBGE in the scale 1:250,000 with a view to including the municipality of Morro do Chapéu, which holds characteristics of other Biomes besides the Caatinga, such as the Cerrado and Atlantic Forest and with a predominance of agricultural activities and temporary crops, as well as different physiographic typologies, which gives it varied biodiversity, therefore considered an area of great complexity to map. The results achieved in the comparative analysis of the classifiers for multitemporal mapping showed that the Random Forest classifier presented a better performance to separate the classes of land use and cover in highly heterogeneous and seasonal caatinga ecotone areas. The results presented from the application of landscape metrics also revealed that although the vegetation cover remained almost stable over the years, there were variations in vegetation cover, but little noticeable for this spatial and temporal scale. The most noticeable variations were observed in terms of structure, such as the number of spots and the proportion that the largest spot occupies in the landscape and they occurred in important classes such as Agriculture, Sandstone Formations and Rural Vegetation

Keywords: Multitemporal, Caatinga, heterogeneous areas

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ARVI- *Atmospherically Resistant Vegetation Index*

EVI- *Enhanced Vegetation Index*

GEE- *Google Earth Engine*

MMA- Ministério do Meio Ambiente

NDFI- *Normalized Difference Fraction Index*

NDVI- *Normalized Difference Vegetation Index*

PDI- Processamento Digital de Imagens

RF- *Random Forest*

REM- Radiação Eletromagnética

SAVI- *Soil Adjusted Vegetation Index*

SR- Sensoriamento Remoto

SVM- *Support Vector Machine*

TOA- *Top Of Atmosphere*

UC- Unidade de Conservação

UCT- Uso e cobertura da Terra

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Blocos-Diagramas das Fisionomias Ecológicas da Savana-Estépica	19
Figura 2: Representação do espectro eletromagnético	25
Figura 3: Localização da área de estudo	34
Figura 4: Mapa de altimetria da carta Jacobina SC.24-Y-C	36
Figura 5: Mapa de declividade da carta Jacobina SC.24-Y-C	37
Figura 6: Mapa geomorfológico da carta Jacobina SC.24-Y-C	38
Figura 7: Mapa de geologia da carta Jacobina SC.24-Y-C	39
Figura 8: Mapa de solos da carta Jacobina SC.24-Y-C	40
Figura 9: Mapa dos tipos de vegetação da carta Jacobina SC.24-Y-C	41
Figura 10: Unidades de Conservação existentes na carta Jacobina SC.24-Y-C	43
Figura 11: Fluxograma geral das etapas da pesquisa.....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Índices de vegetação encontrados na literatura	27
Quadro 2: Metadados.....	46

Sumário

1 APRESENTAÇÃO GERAL.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO GERAL.....	16
2.1 A cobertura vegetal do Bioma Caatinga.....	16
2.2 Do processo de apropriação da Caatinga à degradação.....	19
2.3 Uso e Cobertura da Terra: conceito e técnica de mapeamento.....	22
2.4 Mapeamento da vegetação e Sensoriamento Remoto: índices e técnicas.....	23
2.5 Ecologia da paisagem: princípios e fundamentos para o estudo da dinâmica da paisagem.....	28
2.6 <i>Google Earth Engine</i> : a revolução do processamento de imagens de satélite em ambientes de <i>cloud computation</i>	30
 3 METODOLOGIA GERAL.....	 33
3.1 Área de Estudo.....	34
3.2 Aspectos Fisiográficos.....	35
3.3 Procedimentos metodológicos gerais.....	43
REFERÊNCIAS	47
 4 ARTIGO I- PROCESSAMENTO DE SÉRIES MULTITEMPORAIS DE IMAGENS PARA MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DAS TERRAS EM ÁREA COMPLEXA DO BIOMA CAATINGA.....	 56
1 Introdução.....	57
2 Materiais e Métodos.....	60
2.1 Área de estudo.....	60
2.2 Construção dos mosaicos temporais.....	61
2.3 Legenda do mapeamento.....	62
2.4 Classificação.....	63
2.5 Aplicação do Filtro espaço temporal.....	65
2.6 Comparação entre os mapas <i>Random Forest</i> e <i>Supporte Vector Machine</i>	65
2.7 Validação.....	65
3. Resultados e Discussões.....	67
3.1 Desempenho dos classificadores RF e SVM.....	67
3.2 Comparação entre os mapas RF e SVM.....	74

4 Discussões.....	77
5. Considerações finais.....	78
Referências.....	80

5 ARTIGO II- MÉTRICAS DA ESTRUTURA DA PAISAGEM: ANÁLISE DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA DAS TERRAS DE UMA ÁREA DE CAATINGA NO SEMIÁRIDO BAIANO.....85

1 Introdução.....	86
2 Material e método.....	88
2.1 Área de estudo.....	88
2.2 Procedimentos metodológicos.....	89
3 Resultados e discussões.....	91
4 Considerações finais.....	96
Referências.....	98

6 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....101

1 APRESENTAÇÃO GERAL

A partir do desenvolvimento dos satélites de observação da terra, na década de setenta, época da grande corrida espacial e com a evolução do mapeamento na era digital, o homem começou a observar e representar a Terra de uma maneira diferenciada (MENEZES e ALMEIDA, 2012).

Mapeamentos que antes eram realizadas com grandes dificuldades, com muito trabalho de campo e com alto custo financeiro, além de serem elaborado de forma manual, agora podem ser concretizados rapidamente, com maior precisão, acurácia, e com melhores resultados, a partir do uso das geotecnologias (SANTOS *et al*, 2012).

Atualmente é possível por meio de dados de Sensores Remotos e das técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) estudar os fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, bem como fora dela e a interferência humana sobre o meio natural, de forma distante, por meio de imagens orbitais e representar estas observações através de mapas, gráficos e modelos gerados em ambientes computacionais (NOVO, 2010; MENEZES e ALMEIDA, 2012).

Diante do exposto diferentes áreas do conhecimento como a Geografia, Biologia, Geologia, as Engenharias, entre outras, vêm se beneficiando dos avanços das geotecnologias, qual abrange o Sistemas de Informações Geográficas (SIG), a Geoestatística, a Cartografia Digital, Geodésia, entre outros e as utilizando cada vez mais em suas pesquisas, o que faz refletir que cada vez mais dependerão das Geotecnologias para espacializar os seus estudos “pois sabe-se que a localização é um componente vital para a tomada de decisão” (SANTOS *et al*, 2012).

Acompanhando a velocidade da era digital e visando diminuir o tempo gasto no tratamento de dados de Sensoriamento Remoto (SR), surge a possibilidade de utilizar a computação em nuvem, esta mudança de paradigma vem revolucionando a forma de processar as imagens orbitais, principalmente pela sua alta capacidade de armazenamento e rapidez no processamento de grande quantidade de dados em escala multitemporal, antes improvável e altamente custoso de ser realizado em computadores locais.

Como a exemplo temos a plataforma *Google Earth Engine* criada pela *Google*, que vem sendo utilizada por pesquisadores de todo o mundo (MOORE e HASSEN, 2011; NIRAV *et al*. 2015; DONG *et al*. 2016...), e por especialistas de diferentes

instituições envolvidas no projeto Mapbiomas (<http://mapbiomas.org/>) que visa mapear as transformações de uso e cobertura das terras ocorridas nos últimos trinta anos, nos Biomas brasileiros (Cerrado, Caatinga, Amazônia, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal). Atualmente outras iniciativas do projeto vêm sendo realizada nas regiões do Chaco e nos países da Pan-Amazônia.

Dentre estes Biomas, a Caatinga localizado na região Nordeste do Brasil é um dos mais ameaçados, devido a dinâmica de uso das terras, que frequentemente leva a degradação dos recursos naturais (CASTELLETTI *et al.*, 2004). Um outro ponto importante que se soma ao grau de ameaça de seus ecossistemas, refere-se ao baixo número de unidades de conservação e a diminuta quantidade de informações úteis a conservação de seus ambientes (CASTELLETTI *et al.*, 2004; SILVA, 2002).

A forma como essa dinâmica do uso e cobertura da terra ocorre no tempo e no espaço pode levar a geração de diversos problemas ambientais, como a diminuição da biodiversidade, ou ainda mudanças drásticas nos serviços ecossistêmicos, que possuem rebatimento para manutenção das sociedades humanas (ROSA, 2016).

A perda de hábitat e fragmentação em paisagens naturais, representam um dos principais processos que afetam a manutenção das comunidades naturais no tempo e espaço (SOUZA, 2005). Esses processos podem levar ao desaparecimento de espécies de organismos, em função principalmente das mudanças dos padrões espaciais, como o aumento do isolamento entre manchas de hábitat, entre outros, constituindo-se, portanto, em uma problemática ambiental (CASTELLETTI *et al.*, 2004).

Diversas pesquisas abordando estudos da cobertura vegetal da Caatinga já foram conduzidos. Dentre eles, o levantamento realizado pelo Probio - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007); os estudos de Rocha *et al.*, 2007 a partir da geração de cartas dos remanescentes da cobertura vegetal e do uso das terras realizado para todo o Bioma; de Ballén, *et al.* (2016) que buscou analisar as mudanças espaço-temporais da cobertura vegetal por meio dos Índice de Vegetação da Diferença Normalizada- NDVI e Índice de Vegetação Ajustado ao Solo-SAVI a partir do processamento de imagens do sensor TM *LANDSAT* dos anos 1989, 2005 e 2010; entre outros.

Nesta pesquisa, as análises da dinâmica do uso e cobertura das terras de uma área endêmica do Bioma Caatinga, foram conduzidas tendo como objetivo investigar como se processam as mudanças espaço temporais de uso e cobertura da terra, por meio do uso de tecnologia de processamento digital de imagens em nuvem da plataforma *Google Earth Engine*, com base na metodologia usada pelo Mapbiomas. E a aplicação de índices que quantificam a dinâmica da estrutura da paisagem.

A principal questão norteadora que envolve esta pesquisa é: quais as mudanças ocorridas na cobertura vegetal da caatinga no período de 2000 a 2016 tendo como referência a carta Jacobina SC.24-Y-C?

Foi considerada a hipótese que, as atividades antrópicas produtivas de uso da terra desenvolvidas ao longo dos anos propiciaram a diminuição da cobertura vegetal nativa, logo, estas mudanças decorrentes do uso e cobertura podem ser analisadas na perspectiva multitemporal.

Para delimitação da região de estudo, utilizamos a carta SC.24-Y-C Internacional do Mundo ao Milionésimo do IBGE na escala 1:250.000 com vista a incluir o município de Morro do Chapéu, uma área de ecótono e encrave, que apesar de estar localizada no Bioma Caatinga, guarda características dos Biomas Cerrado e Mata Atlântica. Com predomínio de atividades agropecuárias e cultivos temporários, bem como diferentes tipologias geológicas, geomorfológicas, pedológicas e climática o que lhe confere grande biodiversidade e heterogeneidade (LOBÃO, 2006).

Portanto, é uma área bastante complexa do ponto de vista da sua heterogeneidade. E de grande importância biológica de acordo com o mapa de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade da Caatinga divulgado pelo Ministério do Meio Ambiente (MAURY, 2002).

Este estudo se justifica devido à importância ecológica e econômica da Caatinga, um Bioma tão importante quanto os demais, porém muito degradado (ALVES, 2009). Esta pesquisa também torna-se relevante para a sociedade como forma de propiciar subsídio às políticas de planejamento territorial e ambiental, bem como para a ciência por meio da aplicação de uma abordagem metodológica inovadora, automatizada, rápida e eficiente, possível de ser reaplicada em outras áreas como forma de monitoramento. Por tanto, é de extrema importância para a ciência por testar esta metodologia numa área complexa, onde não há

homogeneidade espacial e consequentemente os alvos possuem uma grande variação espaço-temporal.

Nesse contexto, o objetivo geral desta dissertação foi analisar as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra no período de 2000 a 2016 de forma multitemporal a partir do mapeamento em nuvem e por meio das métricas da estrutura da paisagem. Como específicos teve-se: 1- realizar o mapeamento multitemporal de uso e cobertura das terras no período de 2000 a 2016 e comparar o desempenho dos classificadores *Random Forest* e *Supporte Vector Machine* para o mapeamento de áreas de caatinga altamente heterogêneas; 2- Quantificar a dinâmica das mudanças da cobertura e uso das terras entre os períodos 2000 a 2016, por meio de métricas da estrutura da paisagem.

Esta dissertação está organizada em formato de artigos, apresentando o total de cinco capítulos, sendo o capítulo 1 a apresentação geral da pesquisa, o capítulo 2 o referencial teórico geral que contextualiza e conceitua as principais temáticas abordadas, o capítulo 3 é destinado a apresentação da área de estudo, seus aspectos geoambientais e socioeconômicos, consta também dos materiais e da metodologia geral utilizada.

O capítulo 4 apresenta o artigo **“PROCESSAMENTO DE SÉRIES MULTITEMPORAIS DE IMAGENS PARA MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DAS TERRAS EM ÁREA COMPLEXA DO BIOMA CAATINGA”** é comparado o desempenho do classificador *Random Forest* e do *Support Vector Machine* para o mapeamento de uma área complexa de enclaves e ecótonos do Bioma Caatinga. Todo o processamento de imagens em série multitemporal do período de 2000 a 2016 foi realizado de forma automatizada a partir da plataforma de processamento em nuvem- *Google Earth Engine* usada para processamento de dados orbitais, com base na metodologia do Mapbiomas na coleção 2.3. Os produtos gerados neste capítulo deram subsídio para o desenvolvimento do segundo artigo.

No capítulo 5 é tem-se o artigo dois **“ MÉTRICAS DA ESTRUTURA DA PAISAGEM: ANÁLISE DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA DAS TERRAS DE UMA ÁREA DE CAATINGA NO SEMIÁRIDO BAIANO”**, neste artigo buscou-se descrever e quantificar os padrões de uso e cobertura da terra de uma área endêmica do Bioma Caatinga no semiárido baiano, numa série multitemporal de dezesseis anos.

Por fim, é apresentado as considerações finais com a síntese dos artigos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO GERAL

Este capítulo aborda o arcabouço teórico da pesquisa, que serviu de base para a compreensão das principais temáticas levantadas, iniciando sobre as características gerais da cobertura vegetal do Bioma Caatinga; logo após as causas da degradação da Caatinga; os conceitos e técnicas sobre cobertura e uso das terras; a aplicação do Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação; as características e vantagens do uso da plataforma *Google Earth Engine* de processamento de imagens orbitais em nuvem; e sobre os princípios da Ecologia da Paisagem

2.1 A cobertura vegetal do Bioma Caatinga

A Caatinga é um tipo de vegetação encontrada exclusivamente na região Nordeste do Brasil, representa a maior em extensão fitogeográfica do semiárido brasileiro (SILVA *et al*, 2003; MMA, 2011).

Ocupa uma área estimada de aproximadamente 844.453 Km², o equivalente a 11% do território nacional, abrangendo os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Maranhão, norte de Minas Gerais e Bahia, onde ocupa 54% do estado baiano (MAURY *et al*, 2002; MMA, 2011; CARDOSO e QUEIROZ, 2010; IBGE, 2004).

O clima nessa região é predominantemente semiárido, o qual se caracteriza por grande irregularidade de chuvas e altas temperaturas. As temperaturas médias anuais estão entre as mais elevadas do Brasil, variando entre 26°C e 29°C, as precipitações são irregulares e, em geral, inferiores a 800mm em média por ano, com uma longa estação seca que vai de aproximadamente 7 a 10 meses, de modo que alguns anos ficam praticamente sem chuva (AB'SABER, 1985; PRADO, 2003, SILVA, 2003; CARDOSO e QUEIROZ, 2010; MMA, 2011).

Em locais de maior altitude e de relevo acidentado, as variações diárias de temperatura são mais intensas, apresentando grandes diferenças entre o dia e a noite o que também afeta diretamente a composição florística da vegetação (MMA, 2011).

Além desses fatores climáticos que a vegetação está condicionada, a associação a outros elementos típicos da região, como a forte intensidade da luz solar decorrente das altas temperaturas provoca uma elevada evapotranspiração e consequente dessecação do solo (TROVÃO *et al*, 2007).

O termo caatinga que significa “floresta branca”, foi atribuído pelos indígenas devido a fisionomia da vegetação de aspecto seco com troncos acinzentados e retorcidos (PRADO, 2003).

Essa paisagem com vegetação desfolhada na maior parte do ano transmite uma falsa ideia de homogeneidade, de pobreza paisagística e de pouca diversidade, entretanto é uma biota heterogênea e rica em diferentes tipos de espécies vegetais e endemismos (MAURY *et al*, 2002; CARDOSO & QUEIROZ, 2010).

É composta por 12 tipos diferentes fitofisionomias, estimam-se que aproximadamente 932 espécies já foram registradas, das quais 380 são endêmicas (MAURY *et al*, 2002; CARDOSO & QUEIROZ, 2010).

As plantas do Bioma Caatinga apresentam diversas adaptações às condições estressantes do clima a qual estão expostas, entre as quais, modificações anatômicas, fisiológicas e morfológicas, sendo que cada espécie tem suas características próprias de adaptação e se utilizam de diferentes artifícios para manter o estoque de água no seu interior durante o período seco, que é na maior parte dos anos longo (TROVÃO *et al*, 2007).

A perda de folha de algumas espécies de caatinga no verão é apenas um dos mecanismos utilizados como forma de adaptação às condições climáticas, o qual proporciona a sobrevivência das espécies vegetais durante a estiagem (BARBOSA *et al*, 2003).

Outras medidas funcionais são desencadeadas pelas plantas para sobreviverem em condições de estresse hídrico a qual são impostas, como a exemplo, o aprofundamento de suas raízes, diminuição do tamanho das folhas, expansão caulinar (TROVÃO *et al*, 2007).

Quando chove a vegetação apresenta uma fisionomia completamente diferente e revigorante, passando de um tom acinzentado a uma cor verde, (ALVES *et al*, 2009). Isto ocorre devido a presença de água na superfície do solo que aliada à intensa luminosidade restabelece a funcionalidade da fotossíntese, por isso, com as primeiras chuvas, a paisagem é rapidamente modificada (EVANGELISTA, 2010).

A vegetação do Bioma Caatinga é tipicamente xerófita, caducifólia, suculenta e espinhosa. Apresentam folhas pequenas e raízes profundas, com formações vegetais de baixa densidade e aérea lenhosa do tipo arbórea (8 a 12m), arbustiva (2 a 5m) e herbácea (abaixo de 2 m) com estruturas peculiares bem adaptadas às altas

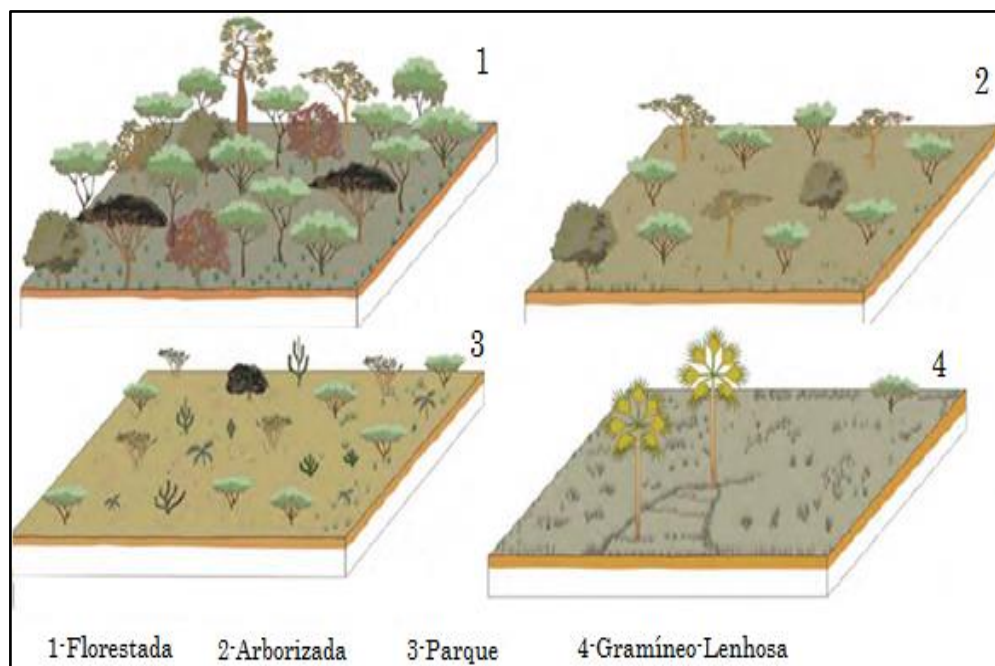
temperaturas e a deficiência hídrica do semiárido (MMA, 2011; BARBOSA *et al*, 2003; PRADO 2003).

É classificada em savana estépica e apresenta diferentes subformações de acordo com a sua característica fisionômica e dupla sazonalidade (SILVA *et al*, 2003; MMA, 2011).

Este termo associado a fitofisionomia “savana estépica” criado e apresentado por Trochain no período de 1946 a 1954, foi originalmente usado para designar uma vegetação tropical de características estépicas próxima à Zona Holártica africana (IBGE, 2012). Embora essa denominação também seja utilizada para mencionar tipologias vegetais campestres em geral, com estrato lenhoso decidual e espinhoso como na Região Chaquenha Mato-Grossense-do-Sul e no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, a área mais representativa da savana estépica compreende a caatinga do sertão árido do Nordeste Brasileiro devido às suas características climáticas (IBGE, 2012).

O Manual de vegetação do IBGE (2012) classifica a caatinga em diferentes subgrupos de acordo com a fitofisionomia apresentada: **Savana-Estépica Florestada**: “é estruturado fundamentalmente em dois estratos: um, superior, com predominância de nanofanerófitas periodicamente decíduas e mais ou menos adensadas por grossos troncos em geral, profusamente esgalhados e espinhosos ou aculeados; e um estrato inferior gramíneo-lenhoso, geralmente descontínuo e de pouca expressão fisionômica”; **Savana-Estépica Arborizada**: “é estruturado em dois nítidos estratos: um, arbustivo-arbóreo superior, esparso, geralmente de características idênticas ao da Savana- Estépica Florestada, descrito acima; e outro, inferior gramíneo-lenhoso, também de relevante importância fitofisionômica”; **Savana-Estépica Parque**: “apresenta características fisionômicas muito típicas, com arbustos e pequenas árvores, em geral de mesma espécie, e distribuição bastante espaçada, qual fossem plantados”; **Savana-Estépica Gramíneo Lenhosa**: “apresenta características florísticas e fisionômicas bem típicas, ou seja, um extenso tapete graminoso salpicado de plantas lenhosas anãs espinhosas.” Como pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1: Blocos-Diagramas das Fisionomias Ecológicas da Savana-Estépica



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, 2012.

No entanto essa variedade de espécies vegetais e riqueza paisagística não lhe conferiu a proteção devida, é o terceiro bioma mais modificado e devastado pelas atividades humanas ali desenvolvidas desde o período colonial (SILVA *et al.*, 2004). E também o menos protegido, apenas 1% da caatinga é protegida legalmente em áreas de conservação (CASTELETTI *et al.*, 2003; BARBOSA *et al.*, 2005; EMBRAPA, 2007).

2.2 Do processo de apropriação da Caatinga à degradação

O processo de degradação da Caatinga teve início com a ocupação do Nordeste brasileiro na época colonial (ALVES *et al.*, 2009). Com base nesta premissa e com o intuito de discutir sobre as causas da degradação do Bioma, buscou-se primeiramente entender os processos históricos de ocupação do interior baiano e as principais atividades econômicas introduzidas a partir desta época e em seguida elencar os principais usos da caatinga, os quais consequentemente têm levado a diminuição da cobertura vegetal e contribuído para a sua degradação e supressão ao longo dos anos.

A ocupação da Caatinga, aqui compreendido não apenas como uma cobertura vegetal, mas no sentido mais amplo do Bioma, remonta o período da colonização portuguesa no século XVI, a partir da expansão pastoril que iniciou no governo de Tomé de Souza (NEVES, 2009).

Historicamente o interior da Bahia foi de início ocupada por grandes proprietários de terras, maior parte doadas pelo Rei de Portugal, através das sesmarias a fim de facilitar o povoamento na região (BARBOSA, 2003; LOBÃO e SILVA, 2012). Além da doação de terra, a expansão da pecuária, a busca por ouro e diamantes e as missões jesuíticas contribuíram para incentivar ainda mais a ocupação (BARBOSA, 2003; NEVES, 2009).

O gado saindo da Casa da Torre de propriedade dos Garcias D' Avila, onde hoje pode ser visitado suas ruínas na Praia do Forte- Bahia, foi direcionado para o interior, penetrando o sertão pelo vale do rio São Francisco (BARBOSA, 2003).

Esta interiorização do gado para o interior foi propiciada pelas invasões holandesas na primeira metade do século XVII, as condições favoráveis do clima e a expansão da cana de açúcar que obrigou a separação da pecuária e monocultura (NEVES, 2009).

A ideia de ocupação do interior surge principalmente da necessidade de manter a economia de exportação, organizar a produção de gêneros que interessavam ao comércio europeu e fornecer meio de subsistência a população empregada (PRADO JUNIOR, 2011).

Entre as principais atividades econômicas desenvolvidas e que contribuíram para a ocupação pode-se citar: a pecuária extensiva, a produção de algodão, a atividade garimpeira e a agricultura (PRADO JUNIOR, 1979).

A pecuária extensiva, se destacou como um dos principais fatores de ocupação do interior baiano contribuindo para a posse de terra e estabelecimentos de fazendas de gado, de onde começaram a surgir os primeiros assentamentos humanos (NEVES, 2009).

A demanda por algodão para exportação durante a Revolução Industrial Inglesa, acabou por estimular a sua produção nas regiões tropicais e impulsionar a ocupação das áreas vazias nos sertões semiáridos (NEVES, 2009).

Outra atividade que contribuiu fortemente para o povoamento da região foi a atividade garimpeira, devido ao alto valor do ouro e do diamante (NEVES, 2006). E a

agricultura de subsistência com cultivos de milho, mandioca, feijão e outros, mantida sempre em segundo plano (PRADO JUNIOR, 1979).

Diante do que foi exposto, pode-se perceber que o Bioma Caatinga está sujeito às pressões antrópicas desde o período colonial com introdução do gado, qual depende de extensas áreas para se desenvolver e na maioria das vezes da vegetação nativa para se alimentar (EVANGELISTA, 2010).

Muitas destas atividades econômicas, ainda hoje permanecem e são desenvolvidas de forma semelhante, acompanhadas de desmatamento e queimada da cobertura florestal que colaboraram ainda mais para a redução das espécies vegetais de caatinga e acabam por gerar sérias consequências ao Bioma (ALVES, 2009).

Outras causas que contribuem para diminuição da cobertura vegetal da caatinga foi o seu processo de apropriação. Um dos principais usos da caatinga é para alimentar o gado, como exemplo algumas espécies de mandacaru que é rico em água e ajuda a saciar a sede no período seco quando não há alternativa para a alimentação animal (EMBRAPA, 2007); outras espécies como o angico, aroeira e a jurema são utilizadas para a construção de cercas, fonte de energias para os fornos das padarias e olarias da região, para a fabricação de bolsas, cintos, cordas e redes, como exemplo a bromélia caroá (*Neoglaziovia variegata*) devido às suas fibras vegetais flexíveis e resistentes (EMBRAPA, 2007); para alimentação humana, habitação, vestuário e saúde da população por meio do fornecimento de corantes, fibras e ervas medicinais (EMBRAPA, 2007; GARIGLIO *et al*, 2010).

Esta exploração da vegetação que na maioria das vezes ocorre de forma indiscriminada é também um dos principais responsáveis pelo desmatamento da Caatinga (MMA, 2015).

Entre 2002 e 2008 foram perdidos mais de 16 mil km² de vegetação nativa, o equivalente a 2% de sua cobertura vegetal. A Bahia onde ela abrange uma maior área (300.967Km²) é o estado que está em primeiro lugar na lista de desmatamento, em 2008 perdeu se uma área de 154.146 km² o equivalente a 51.22% do Bioma no estado. Dentre os municípios da Bahia, Morro do Chapéu que integra a carta Jacobina (SC.24-Y-C) está entre os vinte municípios que mais desmataram entre os anos acima, aproximadamente 2,0% de uma área total de 5.531 Km² (MMA, 2010).

Somados estes fatores que foram expostos, outros problemas ambientais como a degradação são agravados pelos longos e frequentes períodos de seca, que acabam por fragilizar o bioma ainda mais (EMBRAPA, 2007).

No entanto é preciso levar em consideração, que por mais de cinco séculos os recursos florestais da caatinga, tem sido utilizado de forma intensa para satisfazer as necessidades de sobrevivência de muitas famílias do Nordeste, constituindo a base da economia da região e assumindo, portanto, um papel fundamental na vida de famílias de menor renda (AB'SABER, 1999; EMBRAPA, 2007).

2.3 Uso e Cobertura da Terra: conceito e técnica de mapeamento

Dentre os diferentes conceitos existentes sobre uso e cobertura da terra - UCT (MCCONNELL E MORAN, 2000; ANDERSON *et al*, 1979 e outros). Esta pesquisa utiliza a definição dada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE presente no Manual Técnico de Uso da Terra (2013), o qual apresenta de forma ampla as contribuições e definições de diferentes autores e pesquisadores sobre o tema.

A escolha da base de referência associada ao conceito de uso e cobertura da terra do IBGE, está relacionado ao fato de que essa fonte representa a principal referencia bibliográfica oficial do Brasil, constituindo-se como uma das principais bases teóricas e metodológicas de referência sobre o tema, o que ressalta a importância do SR para os estudos de UCT.

Embora os estudos sobre esta temática estejam cada vez mais crescentes é praticamente impossível se fazer estudos de impactos ambientais, modificações na paisagem, entre outros, sem levar em consideração as mudanças espaciais e temporais do uso e cobertura da terra e sem os dados de SR e aplicações de técnicas de Processamento Digital de Imagens- PDI.

As pesquisas e levantamentos de UCT, têm por finalidade buscar informações e conhecimento da utilização da Terra pelo homem ou pelo tipo de vegetação que reveste a superfície da terra (ROSA, 2003). Indicando a distribuição geográfica dos tipos de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre (IBGE, 2013).

Estes estudos começaram a ganhar destaque a partir da década de 80, devido à preocupação com o intenso desmatamento das florestas tropicais, considerados os ecossistemas mais ricos do planeta (ALVES, 2004). Nesta mesma década se

iniciaram também os estudos voltados para o reconhecimento e padrões de uso da terra, com o objetivo de apoiar os estudos de análises da paisagem e a incorporação de técnicas de SR (IBGE, 2013).

A expressão “uso e cobertura da Terra” embora sejam termos que se relacionam entre si devido ao fato de um estar diretamente ligado ao outro, ele pode ser distinguido e compreendido de forma separadas, em que o uso da terra diz respeito às diferentes atividades realizadas pelo homem como agricultura, pecuária, habitação, ou seja a sua função socioeconômica e cobertura da terra ao tipo de revestimento da terra, seja ela natural ou plantada como vegetação nativa ou plantada, água, gelo residências, indústrias que recobrem a superfície (IBGE, 2013).

As mudanças de UCT ocorrem sob duas perspectivas: conversão de uma categoria de cobertura para outra, como a alteração de floresta para pastagem, que é muito mais evidente para se identificar; e mudança dentro de uma mesma categoria, por exemplo uma área que passa de pequenos campos agrícolas para áreas de agricultura mecanizada, menos fácil de se perceber (JANSEN e DI GREGORIO, 2002; ALVES, 2004).

Dessa forma, os estudos ambientais conduzidos em função do UCT e com auxílio de técnicas de SR, tornaram-se importantes ferramentas, contribuindo para o levantamento, monitoramento e análise destes tipos de dados, sendo indispensáveis nas ciências ambientais, por conseguirem retratar as pressões e impactos sobre os elementos naturais presentes na paisagem e possibilitar uma melhor compreensão das interações entre o meio biofísico e socioeconômico, auxiliando na gestão territorial (IBGE, 2013; SEABRA *et al*, 2014)

2.4 Mapeamento da vegetação e Sensoriamento Remoto: índices e técnicas

A aplicação das técnicas de SR para o estudo da vegetação possui quatro formas diferentes de coleta de dados: em laboratório, em campo por meio do uso de radiômetros, em aeronave acopladas com sensores e de forma orbital através dos satélites, esta última é onde se concentram as aplicações mais divulgadas (PONZONI *et al*, 2012) e também utilizada nesta pesquisa para a aquisição das imagens.

No Brasil, a aplicação destas técnicas no estudo da vegetação teve início na década de 40 com os primeiros mapeamentos feitos a partir do uso de fotografias

aéreas, em um dos mais importantes e reconhecido projeto, o RadamBrasil (PONZONI *et al*, 2012).

Na atualidade o estudo da cobertura vegetal, utilizando produtos e técnicas de SR contribui para a obtenção de informações da distribuição dos tipos de espécies vegetais, acompanhamento temporal, mudanças de uso do solo e outros (FORMIGONI *et al*, 2011).

O termo Sensoriamento Remoto foi criado no ano de 1960 para indicar o desenvolvimento de uma nova tecnologia, capaz de capturar imagens da superfície terrestre a distâncias longínquas ou remotas, termo encontrado na literatura (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Por meio do uso desta tecnologia tornou-se possível a obtenção de imagens periódicas de qualquer ponto do planeta, de modo que o ambiente mais distante ou de difícil acesso foi tornando-se mais acessível aos estudos e aos monitoramentos. Possibilitando desta forma analisar, detectar e monitorar as mudanças na superfície terrestre sejam elas naturais ou antrópicas (NOVO,1995; JENSEN, 2004; FLORENZANO, 2002; MENESES e ALMEIDA, 2012), como exemplo estudos das mudanças de uso e cobertura da terra, principal aplicação neste estudo.

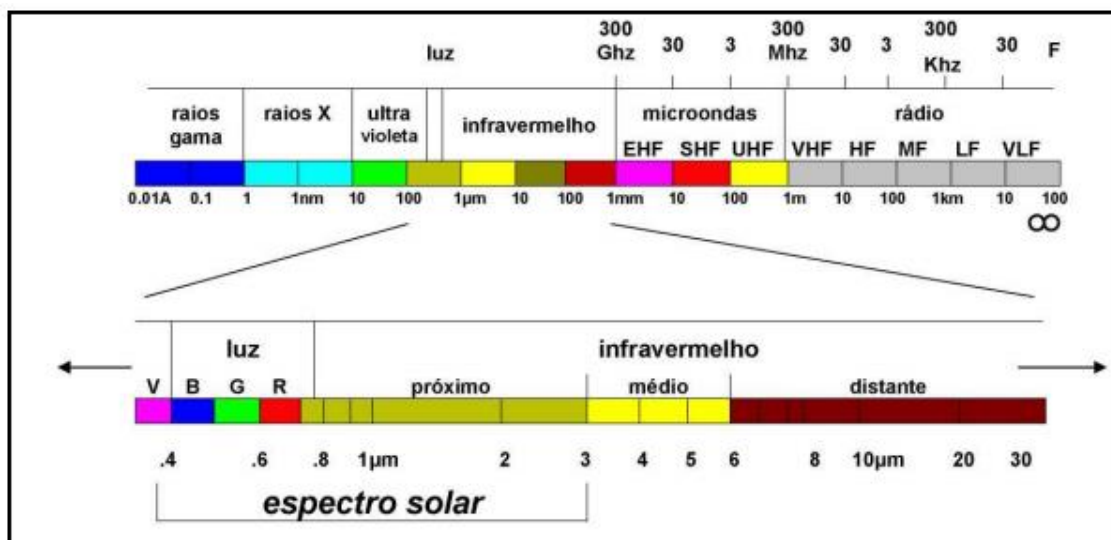
Há na literatura várias definições sobre o que é o Sensoriamento Remoto (NOVO, 1995; JENSEN,2007; LILLESAND *et al*, 2008; FLORENZANO, 2011; MENESES e ALMEIDA, 2012), estes autores concordam que o Sensoriamento Remoto é uma forma de adquirir dados de um objeto sem contato direto.

Porém buscando uma definição mais científica e atual, que abarque o entendimento e compreensão sobre como os dados de um alvo são adquiridos, optou se por utilizar a de Meneses e Almeida (2012), qual define como uma ciência que visa a obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da mediação quantitativa das interações da radiação eletromagnética com os matérias terrestres.

Este processo de interação entre a Radiação Eletromagnética - REM e os diferentes alvos terrestres que se pretende estudar é a peça fundamental da compreensão das técnicas de SR (PONZONI *et al*, 2012). Com base nisto, a “REM deve ser vista como um espectro contínuo” (MENESES & ALMEIDA, 2012, p.28), representada em forma de comprimentos de onda e subdividido em faixas espectrais com base nos mecanismos físicos gerados da energia eletromagnética e da sua detecção (MENESES & ALMEIDA, 2012). Como pode ser visualizado na

representação do espectro eletromagnético (Figura 2) onde cada faixa ou banda do espectro representa regiões com características próprias de detecção da REM.

Figura 2: Representação do espectro eletromagnético



Fonte: VENTURIERI. (2007).

O processo de interação entre a REM e a vegetação se dá por meio da sua capacidade de realizar fotossíntese. Esta absorção da REM pelos pigmentos fotossintetizantes ocorre especificamente na região do visível do espectro eletromagnético (PONZONI *et al*, 2012).

A aplicação de técnicas de Processamento digital de imagens de SR no estudo da vegetação de grande porte requer a necessidade de compreensão da interação da REM e os diferentes tipos fisionômicos de formações vegetais (MOREIRA, 2005).

Ao contrário do que ocorre com a folha isolada, a reflectância do dossel na região do visível ($0,4 \mu\text{m}$ a $0,77 \mu\text{m}$) diminui com o aumento das camadas das folhas e devido a maior presença de pigmentos fotossintetizantes, enquanto na região do infravermelho próximo ($0,72 \mu\text{m}$ - $1,1 \mu\text{m}$) a reflectância aumenta por causa do espalhamento múltiplo da REM nas camadas de folhas, e na região do infravermelho de ondas curtas e médio ($1,1 \mu\text{m}$ - $3,2 \mu\text{m}$) a reflectância diminui, devido a presença de água no interior da folha (MOREIRA, 2005; PONZONI *et al*, 2012).

Esta variação da reflectância da cobertura vegetal em diferentes bandas espectrais depende também da influência de outros fatores como da quantidade de folhas, da estrutura do dossel, fator de reflectância (bidirecional), índice de área foliar

e outros enquanto das folhas isoladas depende principalmente de sua composição química e estrutura (PONZONI *et al*, 2012).

Com base nestes princípios de reflectância da cobertura vegetal nestas três bandas, o comum é que em uma imagem referente a banda do visível a vegetação se apresenta com tonalidade escura, na região do infravermelho próximo clara e numa imagem do infravermelho médio cor escura (PONZONI *et al*, 2012).

O estudo da vegetação por meio de imagens orbitais envolve técnicas de realce de imagem por meio de imagens índices de vegetação, que visam aumentar o brilho das áreas vegetadas realçando informações que não são muito visíveis, facilitando a interpretação visual (ROSENDO, 2005).

Os índices de vegetação são definidos como medidas radiométricas adimensionais que indicam a abundância e a atividade da vegetação verde, índice de área foliar, teor de clorofila, biomassa verde, radiação fotossintética ativa absorvida (JENSEN, 2009).

Na literatura encontram-se diversos tipos de índices de vegetação propostos com o objetivo de ressaltar as propriedades espectrais da vegetação em relação a outros alvos, sobretudo nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo do espectro (PONZONI *et.al*, 2012), no qual a banda do visível é substituída exclusivamente pelo vermelho devido a menor influência dos efeitos atmosféricos e maior absorção da REM nessa região, nas imagens *LANDSAT* equivale à banda 3, a região do infravermelho próximo onde se situa a banda 4 é utilizada principalmente por ocorrer maior reflectância (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Existe uma infinidade de índices disponíveis na literatura (PONZONI *et al*, 2012) os mais utilizados nas pesquisas acadêmicas são o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de vegetação melhorado (EVI). Na Tabela 1, estão representados alguns exemplos de índices encontrados facilmente em pesquisas acadêmicas, como o NDVI, EVI, SAVI já citados, o ARVI (Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera) e o NDFI (Índice Normalizado por Diferença de Fração).

Este último proposto por Souza *et al* (2005) é utilizado pelo Mapbiomas para diferenciar as classes de uso e cobertura das terras e tem o potencial para melhorar a detecção de degradação florestal causada por exploração madeireira seletiva e queima.

O NDFI, é obtido a partir do modelo de análise do modelo de mistura espectral, ele tem a capacidade de sintetizar informações de várias imagens fração em uma única banda sintética. Os valores variam de -1 a 1, teoricamente, para a floresta intacta é esperado que o seu valor seja próximo a 1, devido à alta combinação do GVshade (vegetação sadia e sombra do dossel) com baixos valores de VPL (vegetação seca) e solo. À medida que a floresta vai se degradando, esperam-se valores mais elevados das frações de VPL e solo e consequentemente a diminuição dos valores de NDFI relativo a floresta intacta (SOUZA *et al.*, 2005).

Quadro 1: Índices de vegetação encontrados na literatura

Índice de Vegetação	Equação	Referência
NDVI	$NDVI = \frac{nir - red}{nir + red}$	Rouse et al (1973)
EVI	$EV = \frac{2,5(IVP - red)}{(L + IVP + C1red - C2blue)}$	Justice et al (1998)
SAVI	$SAVI = \frac{(1 + L)(pnir - pred)}{pnir + pred + L}$	Huete (1988)
ARVI	$ARVI = \frac{(IVP - VA)}{(IVP + VA)}$	Kaufman e Tanré (1992)
NDFI	$NDFI = \frac{GVnorm - (NPV + SOIL)}{GVnorm + (NPV + SOIL)}$	Souza Junior et al (2005)

Fonte: PONZONI et al., 2012; SOUZA et al., 2005. Organizado por MEDEIRO, 2017.

Alguns aspectos devem ser levados em consideração na análise desses índices, um deles é as condições de umidade, que a depender da presença ou não de chuva imediatamente anterior ao imageamento acarretará em mudanças dos valores digitais e o outro é que dificilmente existirá um pixel puro, sempre sofrerá a influência da atmosfera e outros alvos (LOBÃO e SILVA, 2013).

2.5 Ecologia da paisagem: princípios e fundamentos para o estudo da dinâmica da paisagem

A paisagem é uma das categorias de análise da Geografia e da Ecologia (SIQUEIRA, 2013). Ao longo dos anos houveram várias definições de paisagem de acordo com a disciplina científica (MAXMIANO, 2004; COUTO, 2004), a abordagem geográfica enfoca especificamente a influência do homem sobre a paisagem e leva em conta o planejamento do território, enquanto a ecológica destaca as relações entre padrões espaciais e processos ecológicos e sua interface em termos de conservação biológica (METZGER, 2001). Num contexto mais amplo a ecologia da paisagem pode ser conceitualmente entendida com uma ciência de interface que leva em conta a relação entre os padrões espaciais e processos no tempo e espaço (SIQUEIRA, 2013).

As primeiras discussões a respeito deste tema começaram a surgir na década de 30, após Carl Troll analisar as paisagens produzidas pelo uso da terra por meios de fotografias aéreas e interpretações da paisagem, culminando para a unificação dos conceitos e campos de trabalho da Geografia em relação a paisagem e da Ecologia em relação ao ambiente natural (SIQUEIRA, 2013; COSTA, 2012).

Porém, a consolidação das bases teóricas desta ciência se deve aos pesquisadores *Navhe* e *Lieberman* ao escrever o primeiro livro "*Landscape Ecology theory and applications*" que foi introduzido nos EUA e outros países de língua inglesa. E emergiu para outros países e outras áreas de estudo a partir da integração desta disciplina como linha de pesquisa e evolução da aquisição de dados de satélites (ROCHA, 2011).

Forman e Godron (1986), definem Ecologia da Paisagem como o estudo da estrutura, função e mudança de uma área heterogênea. Segundo os autores a estrutura se refere a relação espacial entre diferentes ecossistemas ou elementos presentes na paisagem, ou seja, é a distribuição da energia, dos materiais e espécies em relação ao tamanho, forma, número, tipo e configuração dos ecossistemas; a função, refere-se à interação entre os elementos espaciais, representadas pelo fluxo de energia, materiais e organismos dos ecossistemas componentes e; alterações como mudanças na estrutura e função do mosaico ecológico, ocorridas na paisagem ao longo do tempo.

As unidades que formam a paisagem são: mancha, corredor e matriz, esta estrutura é base da paisagem e apresenta processos de transformação específicos e são elas que permitem a comparação entre paisagens distintas (CASIMIRO, 2000; MORELLI, 2002).

A Matriz tem um papel dominante na paisagem é o maior elemento e o mais conectado da paisagem, portanto o mais importante para a compreensão da estrutura da paisagem (CASIMIRO, 2000; PEREIRA *et al*, 2001). Para definir o que é uma matriz na paisagem é um deve ser levado em consideração os seguintes critérios: a área relativa, ou seja o elemento mais extenso que deve ser considerado como a matriz; a conectividade, a matriz é o elemento mais conectado com as manchas; o controle da dinâmica, a matriz é o que exerce dominância dando origem à outra paisagem (CASIMIRO, 2000).

Os corredores são manchas alongadas (HOECHSTETTER, 2009), desempenham diferentes funções como a de conduzir água, sedimentos, nutrientes, animais; filtrar o fluxo que atravessa o corredor; servir de habitat para espécies; como fonte, quando o corredor é a única mancha esta funciona como colonizadora de outras espécies; e semidouro quando elementos que vêm da matriz e morrem, como nos casos de animais que atravessam rios e estradas (FORMAN e GODRON, 1986; CASIMIRO, 2000).

As manchas são definidas como uma superfície não linear, representadas por um conjunto de espécies ou por rochas, solos, etc. Variam em tamanho, forma, tipo e heterogeneidade e são originadas por algum tipo de perturbação como desmatamento, queimadas, fenômenos meteorológicos, extinção, etc., quais ocasionam diferentes dinâmicas que afetam as espécies, como a sua diminuição, extinção, emigração entre outros (CASIMIRO, 2000).

O tamanho de cada mancha pode influenciar na manutenção das espécies incluindo a sua dispersão, serviços ecossistêmicos como os níveis de troca de energia entre diferentes compartimentos e nutrientes disponíveis entre outros; enquanto a forma pode influenciar a manutenção e permanência de comunidades naturais variando a sua diversidade em função das características das espécies (CASIMIRO, 2000).

A paisagem sempre vai ter como estrutura uma combinação destas unidades formando um padrão global e são estes princípios que permitem quantificar a paisagem (FORMAN E GODRON 1896; CASIMIRO, 2000).

Uma das principais formas de estudar as paisagens em termos de quantificação de sua estrutura espacial e mudanças, se refere a descrição dos padrões espaciais por meio das métricas da paisagem. Neste contexto, busca-se analisar as características espaciais e as mudanças no tempo e no espaço (CASIMIRO, 2000).

Ao quantificarmos os padrões espaciais a partir das métricas avalia a paisagem em diferentes níveis hierárquicos com métricas em nível de paisagem (*landscape-level metrics*), métricas em nível de classes (*class-level*) e métricas em nível de mancha (*patch-level metrics*). Em nível de paisagem, observa-se a totalidade, quantificando-se a sua estrutura; em classes, verifica-se as categorias, estrutura, disposição e forma que são detalhadas na escala da mancha ao descreverem as características geométricas das manchas individuais, a variação da forma, tipo e tamanho da mancha (COUTO, 2004; LANG e BLASCHKE, 2009).

Para se trabalhar com a Ecologia da Paisagem os SIGs são uma ferramenta essencial, por possibilitarem a manipulação dados, como por exemplo a caracterização quantitativa da estrutura da paisagem a partir do mapa de uso e cobertura da terra gerado (PIROVANI, 2012).

As métricas da paisagem se referem aos índices desenvolvidos para quantificar padrões espaciais utilizando mapas categóricos, ou seja, são algoritmos que quantificam as características espaciais da paisagem (COUTO, 2004). Dentre as principais ferramentas utilizadas para quantificar a paisagem está o Fragstats proposto por McGarigal (2012), um software que realiza cálculos a partir de uma imagem raster em diversos formatos (COUTO, 2004).

2.6 Google Earth Engine: a revolução do processamento de imagens de satélite em ambientes de *cloud computation*

O Google Earth Engine (GEE) é uma nova plataforma *online* em escala global para análise e processamento de dados ambientais, que possibilita o monitoramento e medição das alterações da terra (GORELICK *et al.*, 2017; MOORE e HASSEN, 2011).

É baseada na computação em nuvem, o que lhe confere enorme capacidade computacional e alto desempenho para gerar uma variedade de questões socioambiental de alto impacto, incluindo o desmatamento, seca, desastre, doenças, segurança alimentar, gestão da água, monitoramento climático e proteção ambiental (GORELICK *et al.*, 2017).

Foi criada pela *Google Labs* e lançada na conferência Internacional de mudanças climáticas, ocorrida em Cancún no México no ano de 2010. Porém, é importante ressaltar que foi concebida no Brasil em 2008, durante o lançamento da Google Earth Solidário, e é guiado por cientistas brasileiros, notadamente pelos pesquisadores Carlos Souza Júnior do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia -Imazon (atual coordenador técnico geral do Mapbiomas) e Gilberto Câmara do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (VASCONCELOS, 2015).

A intenção da criação da plataforma é oferecê-la de forma gratuita aos cientistas e nações em desenvolvimento, como o Brasil, com a finalidade de avançar na metodologia e capacitar as instituições públicas e a sociedade civil a entender, gerenciar e relatar sobre o estado dos seus recursos naturais.

Esta plataforma é caracterizada por grande poder computacional e abriga imagens históricas produzidas nos últimos 40 anos, muitas das quais nunca foram vistas ou analisadas. Oferece as ferramentas necessárias, além de um forte aparato computacional, para pesquisadores e outros interessados analisarem os dados disponíveis (GORELICK *et al.*, 2017).

O catálogo de dados público inclui toda a série *Landsat*, bem como arquivos completos de dados do Sentinel-1 e Sentinel-2, incluindo também previsões climáticas, dados de cobertura do solo e muitos outros conjuntos de dados ambientais, geofísicos e socioeconômicos (GORELICK *et al.*, 2017).

Os arquivos da série *LANDSAT* disponíveis ao longo de mais de vinte e cinco anos encontram-se sincronizados com o banco de dados da *United States Geological Survey* – USGS e oferece diferentes níveis de produtos, incluindo dados de reflectância Topo de Atmosfera (*TOA*) já pré-processadas (DONG *et al.*, 2016). A sua infraestrutura de computação em nuvem suporta a geração de mosaicos espaciais e temporais composto do “melhor-pixel”, bem como uma variedade de índices espectrais (MORE e HANSEN, 2011).

As aplicações da GEE atualmente se baseiam na detecção de desmatamento; estimativa de biomassa florestal e de carbono; mapeamento de áreas sem estradas; classificação da cobertura da terra e análises geoespaciais em grandes escalas espaciais e temporais.

Entre as vantagens do uso desta plataforma, destacam-se: a disponibilidade gratuita de arquivos de imagens orbitais; possibilidade aos pesquisadores de fazer cálculos e processamento de dados na própria nuvem de computadores do Google; capacidade de armazenamento de *petabytes* de dados; velocidade computacional; e colaboração em rede com outros pesquisadores já que todo trabalho é realizado *online* (MORE e HANSEN, 2011; GORELICK *et al.*, 2017).

Embora ainda seja uma plataforma recente, vem revolucionando a forma de trabalhar com imagens de satélite com a possibilidade de processar cubos de imagens de forma que é incomparável aos métodos tradicionais de PDI já consolidados. Pesquisadores de todo o mundo já vem a utilizando em suas pesquisas para o processamento de dados e tem ressaltado as suas vantagens e potencialidades.

Dong *et al.* (2016), utilizou a plataforma para o estudo da distribuição espacial de arroz *paddy* no nordeste da Ásia, além de ressaltar a capacidade de processamento de milhares de imagens em poucas horas, incentiva outros pesquisadores a usarem esta nova plataforma para o mapeamento de uso e cobertura da terra.

Nirav *et al.* (2015), analisando o crescimento urbano na Indonésia, avaliou o uso da Google Earth Engine como uma valiosa ferramenta para analisar o crescimento das áreas urbanas e a qualidade e precisão dos mapas.

O *Earth Engine* também foi projetado para ajudar os pesquisadores a disseminar facilmente seus resultados para outros pesquisadores, órgãos públicos, ONGs e o público em geral, visto que os usuários podem produzir produtos e dados sistemáticos ou implementar aplicativos interativos suportados pela plataforma (GORELICK *et al.*, 2017).

Atualmente mais de três mil cientistas e diversas instituições vêm utilizando a plataforma em suas pesquisas acadêmicas (VASCONCELOS, 2015), entre eles a Universidade Estadual de Feira de Santana, uma das instituições envolvidas no Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (Mapbiomas)

utiliza especificamente a plataforma para mapear as mudanças de uso e cobertura da terra no Brasil por Biomas (MAPBIOMAS, 2016).

Este projeto teve início em julho de 2015, a partir de um seminário realizado em março do mesmo ano pelo Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima - SEEG/OC, em São Paulo onde foram convidados especialistas da área de sensoriamento remoto e mapeamento de vegetação para discutirem a possibilidade de produzir mapas anuais de cobertura e uso do solo no Brasil e recuperar o histórico dos últimos trinta anos de forma significativamente mais barata e rápida (MAPBIOMAS, 2016).

Os especialistas afirmaram que o projeto poderia ser desenvolvido desde que houvesse uma capacidade de processamento sem precedentes, alto grau de automatização do processo e participação de uma comunidade de especialista em cada Bioma e temas transversais. A partir daí foi estabelecido contato com o *Google* que gerou um termo de cooperação técnica para desenvolver o projeto tendo como base a plataforma *Google Earth Engine* (MAPBIOMAS, 2016).

O Projeto é uma iniciativa que visa envolver uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma *Google Earth Engine* para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil a partir de 1985 até os dias atuais (MAPBIOMAS, 2016).

Todo o projeto conta com os recursos oriundos da Iniciativa Internacional de Clima e Florestas da Noruega (NICFI), Gordon & Betty Moore Foundation, Instituto Arapyaú e *The Nature Conservancy* (TNC) e suporte tecnológico da Google, EcoStage, ArcPlan, Solved e Terras/Iamazon (MAPBIOMAS, 2016).

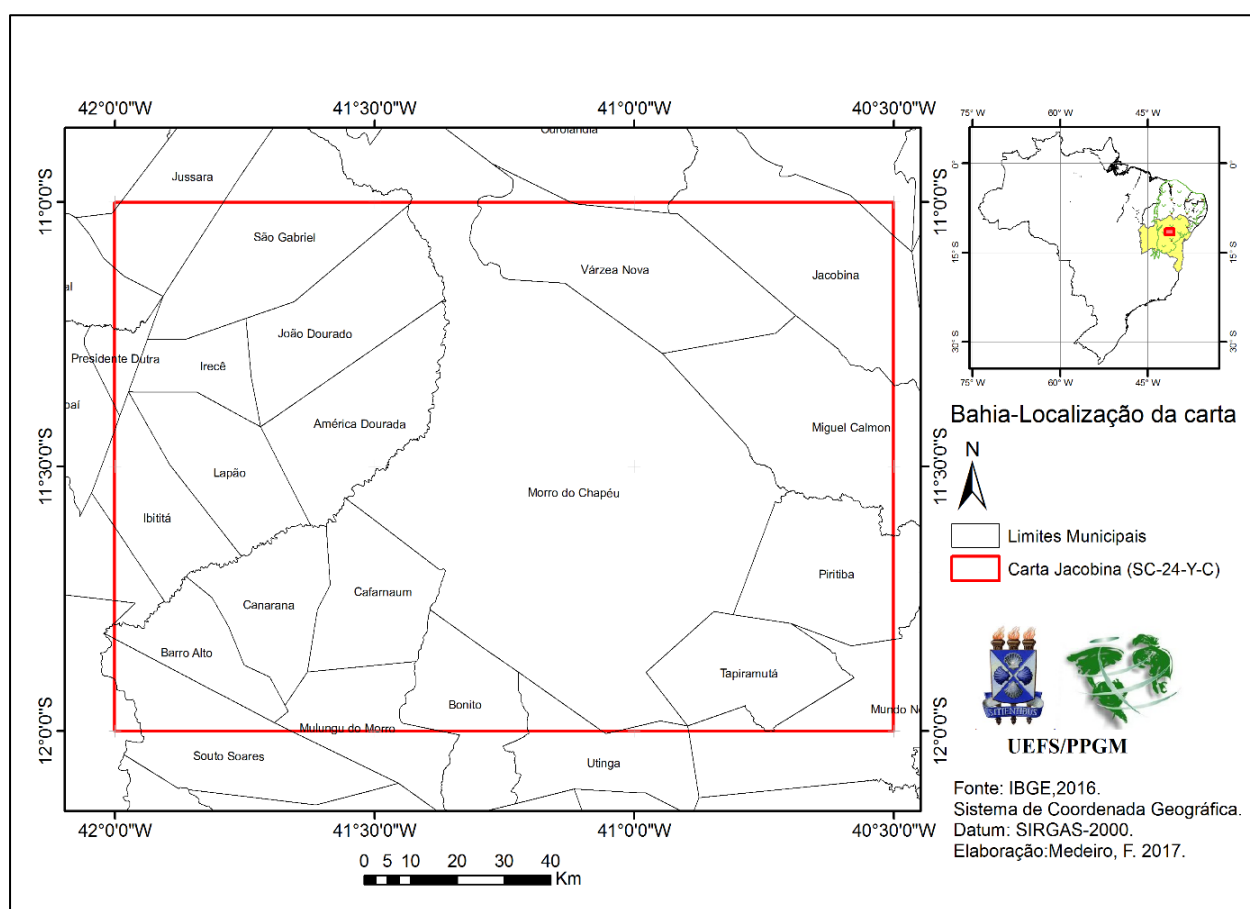
3 METODOLOGIA GERAL

Neste capítulo é apresentado a área de estudo e seus aspectos fisiográficos, bem como o percurso metodológico geral da pesquisa e os materiais e métodos utilizados.

3.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende a carta Jacobina SC.24-Y-C (Figura 3), antes denominada Morro do Chapéu, na escala 1:250.000 do Sistema Internacional ao Milionésimo. É uma área de aproximadamente 18.000km², inserida no Bioma Caatinga, definida pelas coordenadas 40°30' a 42°00' longitude W e 11° 00' a 12° 00' latitude S, localizada na parte centro-oriental do Estado da Bahia, mais precisamente no norte da Chapada Diamantina.

Figura 3: Localização da área de estudo



A distribuição espacial do regime pluviométrico aliada aos fatores físicos como geologia, geomorfologia, solos e vegetação proporcionaram a formação de uma paisagem distinta e complexa nesta região como é possível de ser observado a partir de suas características físicas.

3.2 Aspectos Fisiográficos

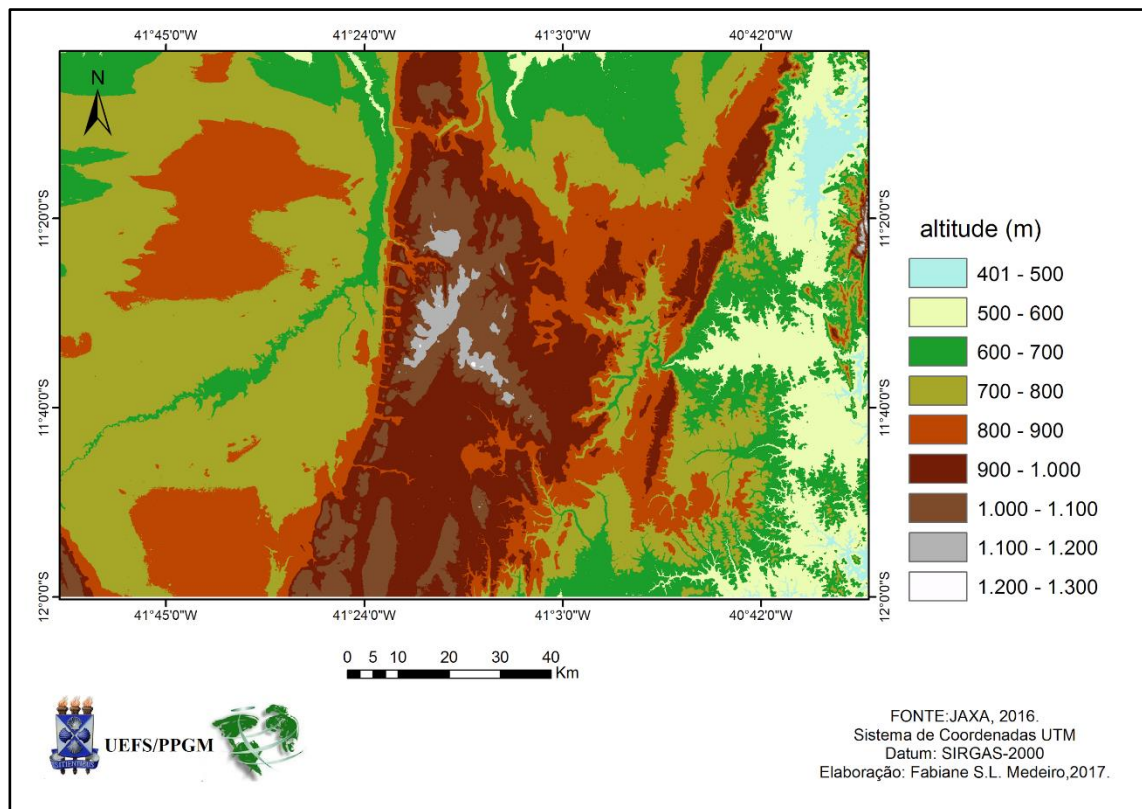
Em relação aos seus aspectos fisiográficos, o clima, o solo, a vegetação, a geomorfologia e a geologia apresentam uma diversidade bem marcante na paisagem.

Embora o clima no interior do Nordeste brasileiro seja do tipo semiárido, com temperaturas médias elevadas em torno de 23° e 26°C e precipitações médias anuais variando entre 280 e 800 mm, alternando se com longos períodos de estiagem e de chuvas abundantes (BARBOSA, 2000), a tipologia climática desta área de estudo em função das diferenças orográficas e da atuação dos principais sistemas meteorológicos do Estado da Bahia, pode ser subdividida em diferentes subtipos, variando entre seco, subúmido, tropical semiúmido e semiárido (AZEVEDO e SILVA, 2000).

No município de Morro do Chapéu, predomina o clima tropical semiúmido, com temperaturas inferiores a 22°C (SAMPAIO *et al*, 2001) e as precipitações variam de 400 mm nas áreas de sotavento a 1.300 mm nas áreas de barlavento (LOBÃO, 2013), na serra de Jacobina o clima é do subtipo tropical semiúmido com temperaturas médias de 20° a 26°C e a precipitações anuais variando entre 750 a 1.100mm (SAMPAIO *et al*, 2001), em Irecê o clima é semiárido quente com temperaturas médias em torno de 22°C e a pluviosidade 582mm anuais (BARBOSA, 2000).

Estas variações na temperatura e precipitação são influenciadas principalmente pela variabilidade altimétrica da região (Figura 4), que apresenta desníveis topográficos que variam de 400m nas áreas mais planas até 1.300m de altitude nas áreas mais elevadas.

Figura 4: Mapa de altimetria da carta Jacobina SC.24-Y-C

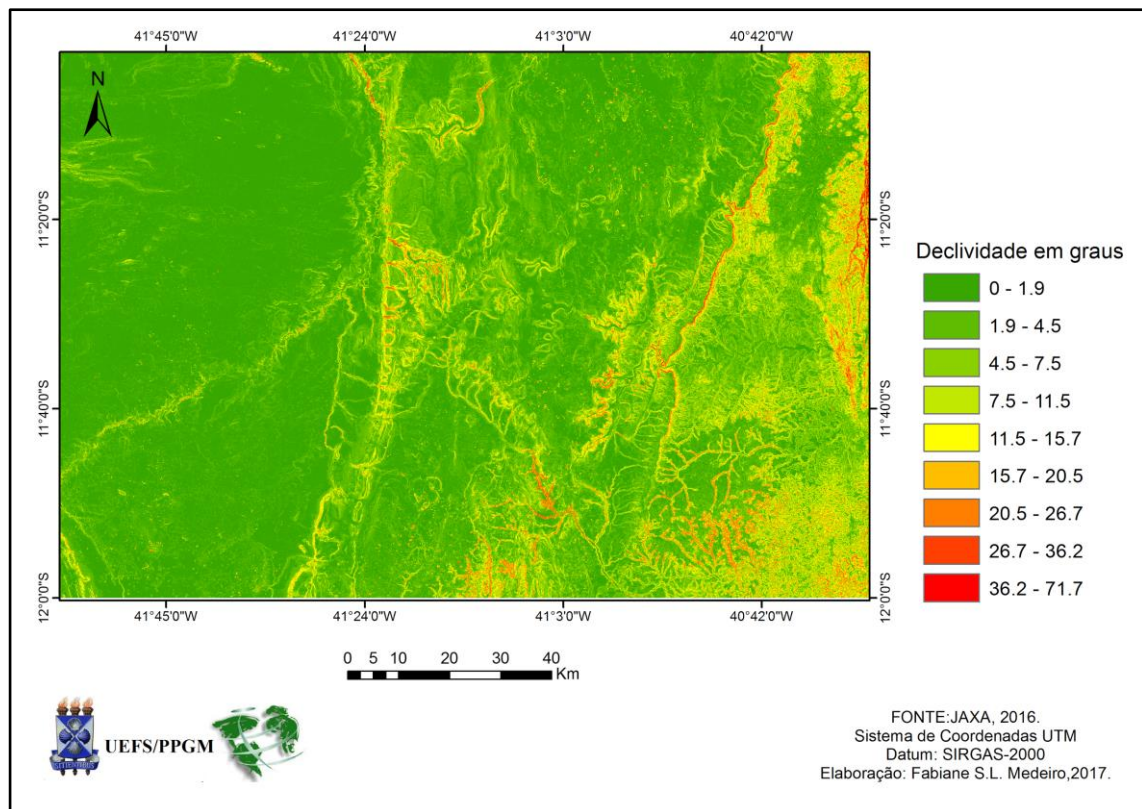


As maiores altitudes são encontradas na região central, variando de 900 a 1.300m, onde são registradas as menores temperaturas caracterizando o clima tropical de altitude. Nas áreas a oeste, onde a altitude varia de 700 a menos de 900m é encontrado o clima semiárido e na porção leste, o tropical semiúmido favorecido pelas chuvas orográficas.

Em função destas diferenças altimétricas o relevo apresenta uma variabilidade importante no que diz respeito aos valores de inclinação das vertentes (Figura 5). Com relevos menos declivosos a noroeste, próximo a 4.5° graus onde está situado Irecê e outras áreas com declividade superior a 70° graus na porção leste e sudeste onde se localiza o parque estadual de Morro do Chapéu e a serra de Jacobina.

Constituindo-se em uma barreira orográfica que proporciona diferenças bruscas de temperatura e precipitação entre os locais situados a sota-vento e a barlavento das montanhas (AZEVEDO e SILVA, 2000).

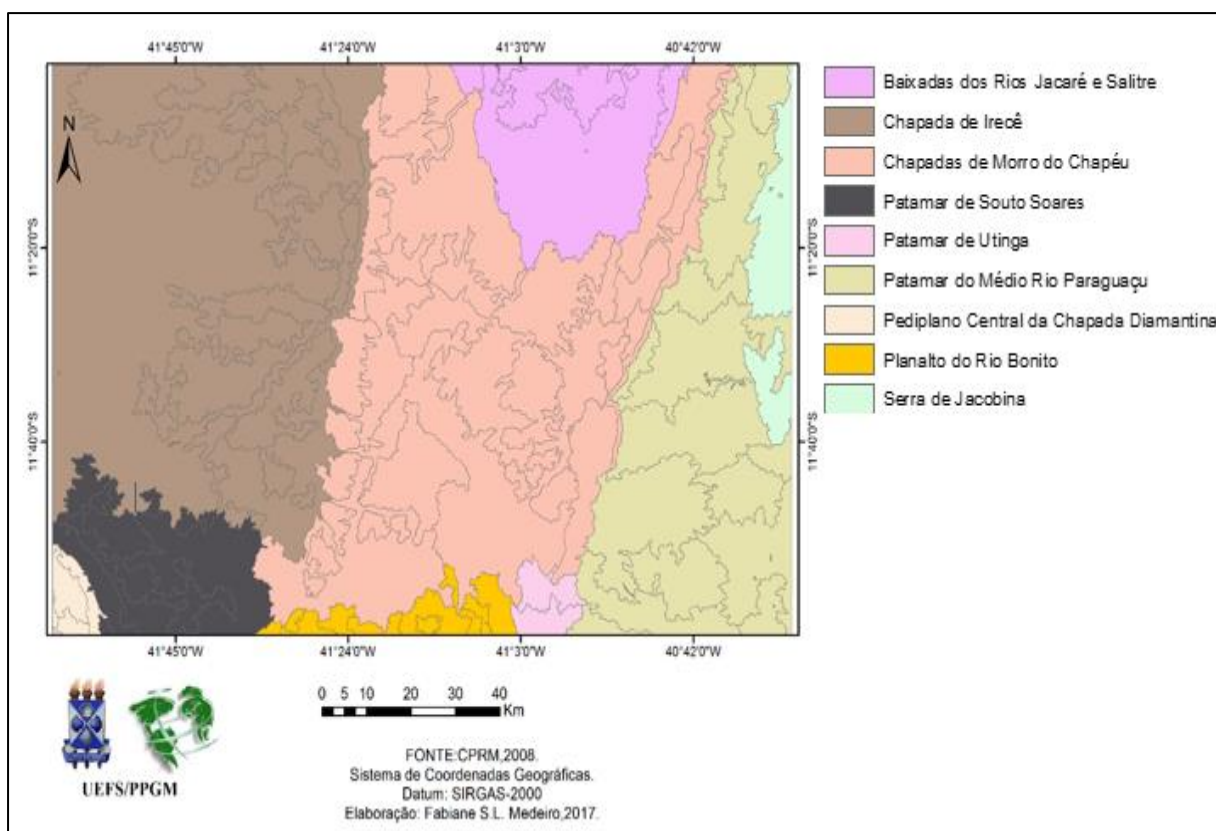
Figura 5: Mapa de declividade da carta Jacobina SC.24-Y-C



Estas variações altimétricas é consequência da rica geomorfologia da região, que apresenta planaltos extensos, formas tabulares dispostas em patamares, chapadões e serras como a das Araras, Dias Coelho, Babilônia e Isabel Dias (FRANÇA *et al*, 2013).

Geomorfologicamente apresenta as seguintes unidades (Figura 6): Chapada do Irecê, a qual é caracterizada pelo predomínio de sequências carbonáticas com intercalações subordinadas de rochas terrígenas; Chapada de Morro do Chapéu; Patamar de Souto Soares e Utinga; Baixadas do rio Salitre e Jacaré onde estão embutidos vales cársticos com extensas escarpas calcárias; Pediplano central da Chapada Diamantina; Planalto do rio Bonito e a Serra de Jacobina.

Figura 6: Mapa geomorfológico da carta Jacobina SC.24-Y-C

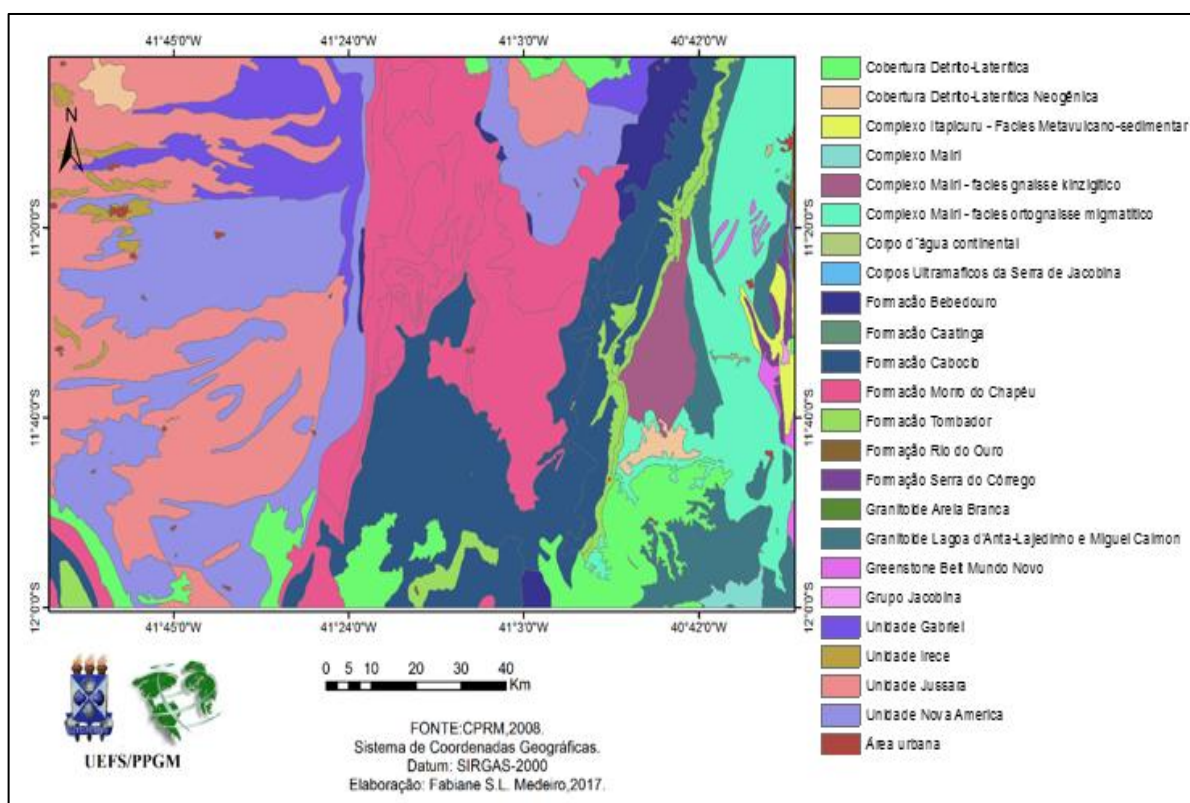


Essa diversa formação geomorfológica está embasada em substratos que envolve terrenos arqueanos e proterozóicos do Cráton do São Francisco, formações superficiais cenozóicas, expressivos corpos plutônicos granodioríticos emonzograníticos, coberturas cratônicas dobradas, mesoproterozóicas, com metamorfismo incipiente, que deram origem ao Grupo Chapada Diamantina, o qual inclui duas sequências sedimentares: a sequência Tombador-Caboclo, basal, de natureza fluvioeólica e marinha; a sequência Morro do Chapéu, fluvioestuarina, implantada em incisões de rede de drenagem. Coberturas cratônicas dobradas neoproterozóicas, com metamorfismo incipiente, caracterizam o Grupo Una, cuja deposição inicial foi devida a um evento glacial de âmbito continental (Formação Bebedouro), a qual foi seguida pela deposição de rochas carbonáticas em ambiente de supra, inter e submaré (Formação Salitre). Durante o Cenozóico foram desenvolvidas extensas áreas de Formações Superficiais, incluindo coberturas detríticas e alterações residuais (SAMPAIO *et al*, 2001).

Litologicamente (Figura 7) a Formação Tombador é constituída por rochas sedimentares clásticas; a Caboclo composta de rochas sedimentares (lamito, siltito,

calcarenito, arenito conglomerático, argilito e ritmito) e sedimentos mais finos; a Formação Morro do Chapéu é composta de rochas sedimentares clásticas (arenito arcoseano e pelito), tendo sido depositado sobre terreno granito-gnáissico, no qual desenvolveu-se a partir do Proterozóico Médio (c. 1,6 bilhões de anos atrás) uma bacia sedimentar com depósitos de areia, cascalho, argila e calcário; a Formação Bebedouro é composta por rochas sedimentares (diamictito, grauvas, e pelito); coberturas detrítico-lateríticas (areia, argila e laterita); coberturas residuais (areia e argila) a; Formação Rio do Ouro composta de ortoquartzitos quase puros; a Formação Serra do Córrego relacionada a sistemas de leques aluviais e de planícies aluviais; e a Formação Caatinga sedimentar clasto-química (brecha carbonática e calcário) (FRANÇA *et al*, 2013; SAMPAIO *et al*, 2001).

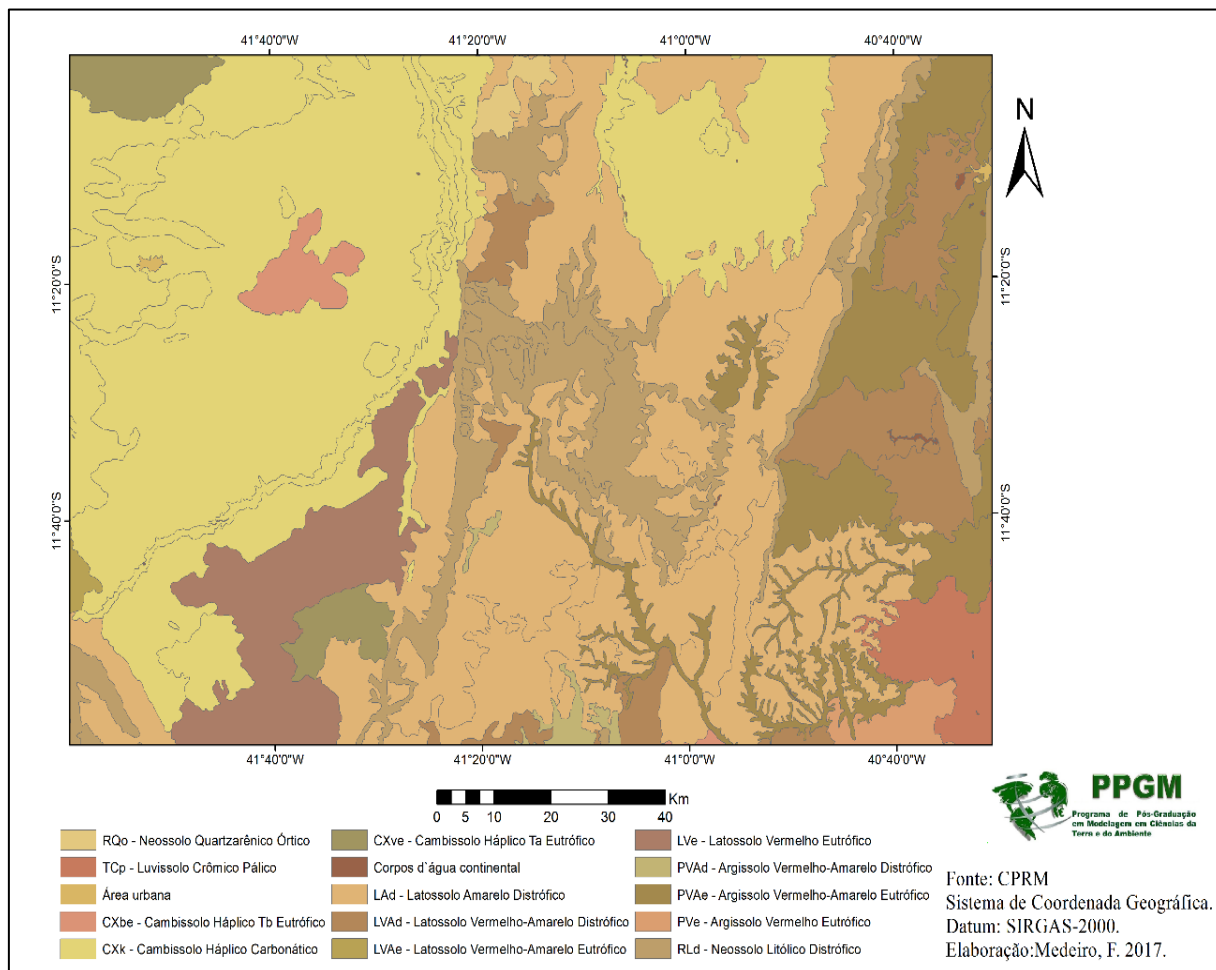
Figura 7: Mapa de geologia da carta Jacobina SC.24-Y-C



Essa diversidade de feições geológicas e geomorfológicas permitiram a formação de uma grande variação de tipos de solo (Figura 8) que é composto por Cambissolo háplico, Latossolo amarelo, Latossolo vermelho, Latossolo vermelho-

amarelo, Neossolos litólico, e Luvissoles crômico, com predomínio de Cambissolo háplico e Latossolo amarelo.

Figura 8: Mapa de solos da carta Jacobina SC.24-Y-C



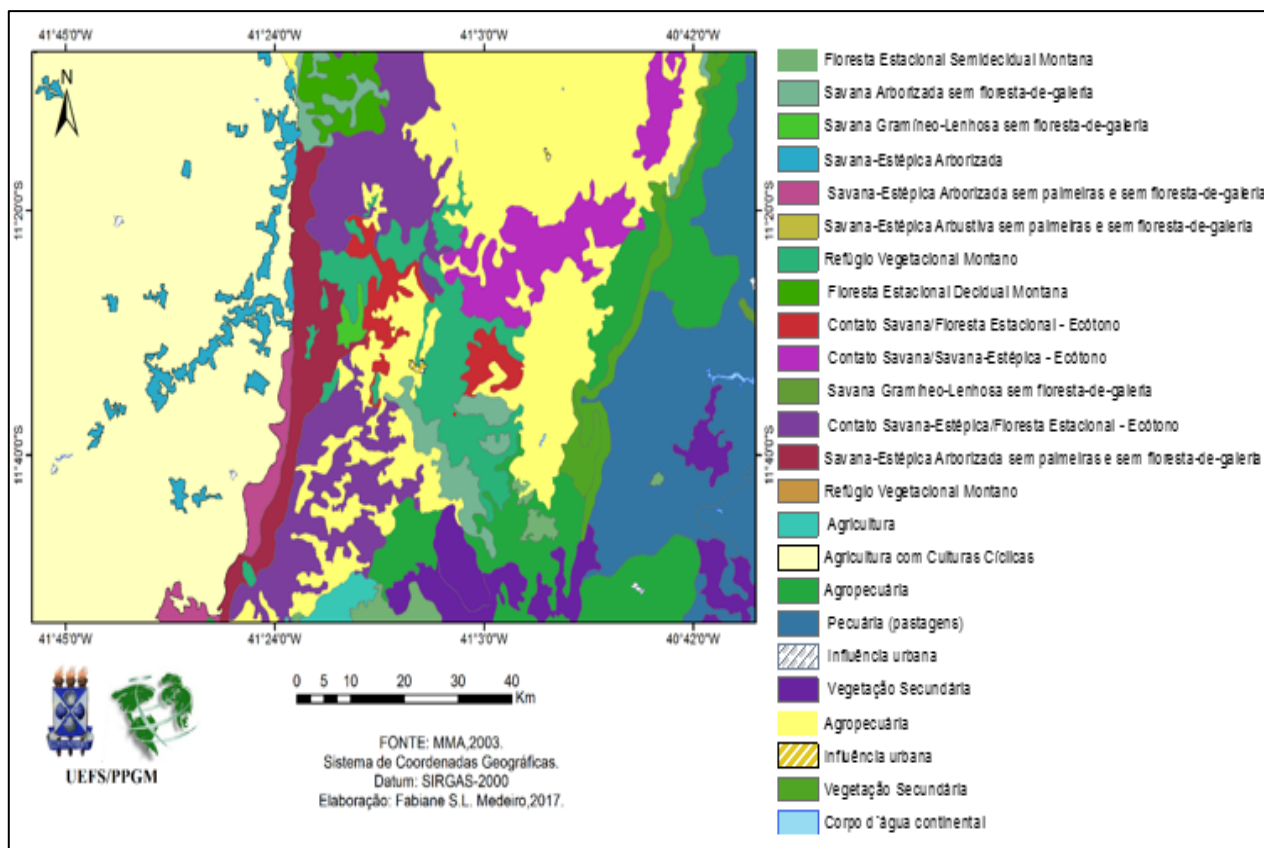
Os Cambissolos são normalmente solos encontrados em relevos fortemente ondulados, de fertilidade variável e pedregosos e os Latossolos amarelo se caracterizam por serem solos desenvolvidos de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares, intensamente utilizados para cultivo e pastagem (EMBRAPA, 2006).

Este conjunto de contrastes condicionou o aparecimento de formações vegetacionais variadas (Figura 9), a qual se apresenta de forma descontínua em suas áreas de abrangência (LOBÃO, 2006) formando um mosaico de diferentes tipos de vegetação de difícil mapeamento (FRANÇA *et al*, 2013).

É composta tipicamente por espécies de caatinga arbóreo-arbustiva, encontrada no noroeste e sudoeste e floresta estacional encontrados no sul e sudeste, apresenta outros tipos florestais como cerrado, encontrado na região central e campo

rupestre com áreas de transição muito complexas (SAMPAIO *et al*, 2000; FRANÇA *et al*, 2013).

Figura 9: Mapa dos tipos de vegetação da carta Jacobina SC.24-Y-C



Esta diversidade é determinada principalmente pelas chuvas orográficas à barlavento onde predominam as florestas e a sotavento onde a caatinga alterna-se com o cerrado, formando áreas de contato entre caatinga e cerrado, entre caatinga e floresta estacional e entre cerrado e floresta estacional caracterizando assim toda esta complexidade local (FRANÇA *et al*, 2013).

Essas características biofísicas da paisagem também foram imprescindíveis para o desenvolvimento das atividades econômicas praticadas na região. Entre elas a mineração, a agricultura e pecuária desenvolvida em toda área, porém de forma predominante na faixa leste entre a Serra de Jacobina e a escarpa do Tombador (SAMPAIO *et al*, 2001).

Nos diferentes municípios que compõem a Carta desenvolvem os cultivos de milho, mandioca, tomate, especialmente na bacia do Irecê, que foi por muito tempo conhecida como maior produtora de feijão da Bahia (SAMPAIO *et al*, 2001).

O carvão vegetal é obtido em larga escala, sem levar em consideração as preocupações ambientais e sem projetos de reflorestamento (SAMPAIO *et al*, 2001), e tem crescido a demanda com as restrições criadas por força de lei para os demais biomas e em especial para a Mata Atlântica.

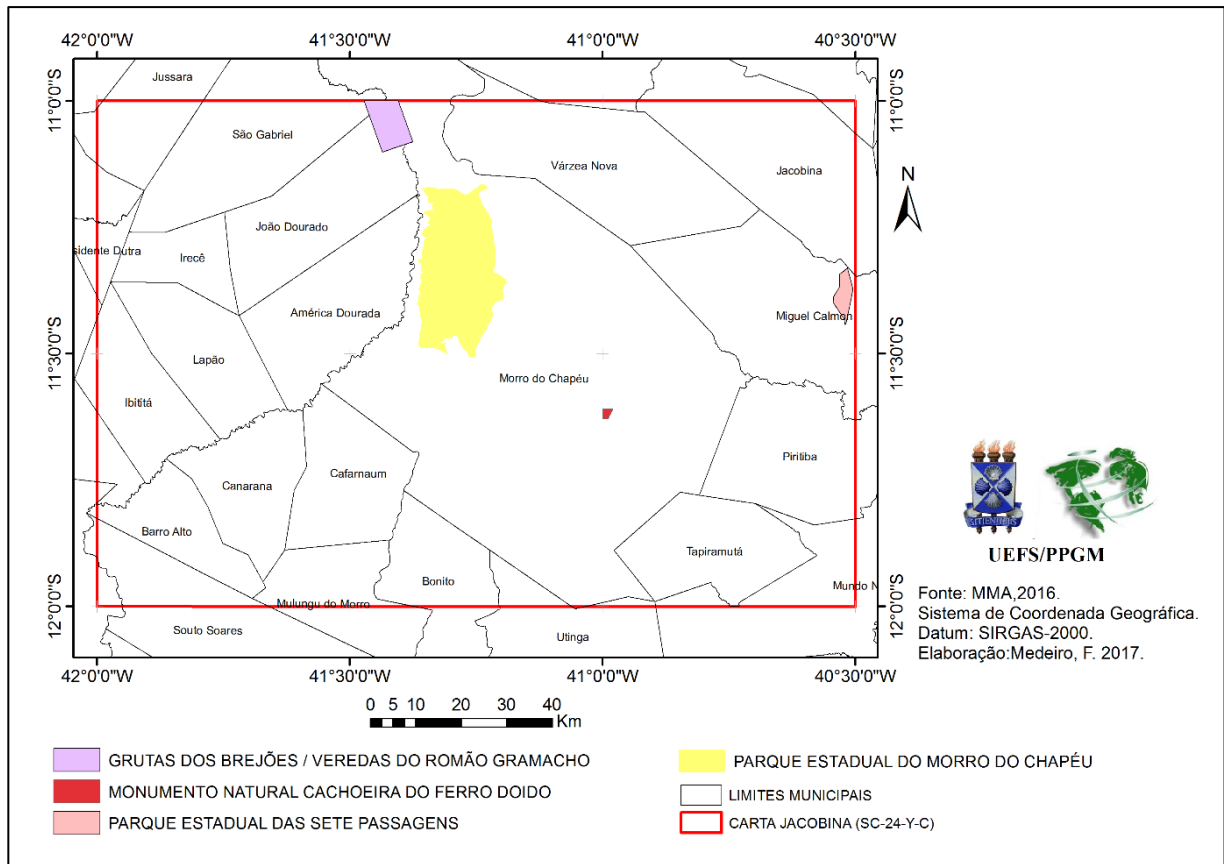
A extração mineral ainda é uma atividade de grande importância devido a presença de minas de ouro em atividade na serra de Jacobina e os garimpos de diamante na região de Morro do Chapéu. Vale citar também as mineralizações de fosfato na bacia de Irecê, com perspectiva de exploração a curto prazo, e os garimpos de barita. Também contribuem para a economia destas áreas as indústrias de cerâmica, de corretivo de solo e a produção de materiais de construção nos municípios de Morro do Chapéu, Piritiba, Largo etc. (SAMPAIO *et al*, 2001).

As feições geográficas bem marcantes na paisagem, as cachoeiras e hotéis nas cidades de Morro do Chapéu, Jacobina e Piritiba, contribuem para incentivar a atividade turística na região (SAMPAIO *et al*, 2001).

O geoturismo realizado em Morro do Chapéu é uma atividade que vem crescendo aos poucos, devido a beleza dos sítios geológicos e a presença de importantes unidades de conservação (UC) como a cachoeira do Ferro Doido, Parque Estadual de Morro do Chapéu, APA dos Brejões Vereda do Romão Gramacho com elevado significado cênico e turístico (SILVA, 2016).

Essas UC foram criadas por meio de decretos estaduais com objetivos de: assegurar a existência de espécies de animais raras e ameaçadas de extinção; preservar a vegetação de campo rupestre e o ecótono cerrado/caatinga, formações vegetais em fase de extinção fomentando a sua reprodução; efetuar levantamento da flora e da fauna; de proteger os sítios arqueológicos existentes na área; fomentar parceria com as instituições de ensino visando o desenvolvimento de projetos de cunho científico e educacional; e principalmente para criar na comunidade uma consciência voltada para preservação ambiental (LOBÃO, 2006; SILVA, 2016).

Figura 10: Unidades de Conservação existentes na carta Jacobina SC.24-Y-C

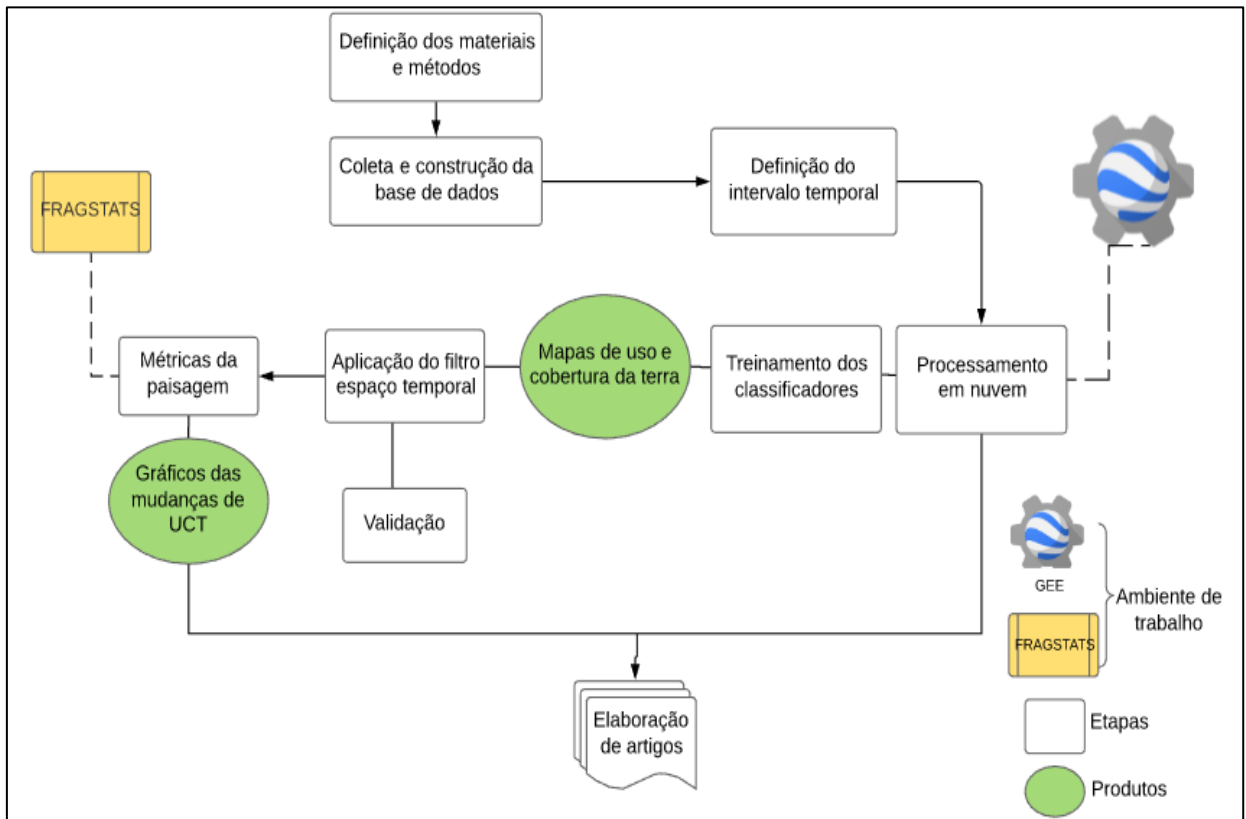


Em contradição a essa preservação, mas ainda na lógica da produção limpa, Morro do Chapéu é uma das mais importantes áreas produtoras de energia eólica na Bahia.

3.3 Procedimentos metodológicos gerais

Os procedimentos metodológicos adotados para esta pesquisa foram divididos em diferentes etapas e desenvolvidos de forma dependente e complementar: 1- Definição dos materiais e métodos; 2- Coleta e construção de uma base de dados; 3- Definição do intervalo temporal que vai compor cada mosaico; 4- Processamento em nuvem; 5- Treinamento dos classificadores; 6- Aplicação do filtro espaço-temporal; 7- Validação; 8- Cálculo das métricas de análise da paisagem. Na Figura 11 está representado o percurso geral das etapas da pesquisa bem como os produtos gerados a cada etapa.

Figura 11: Fluxograma geral das etapas da pesquisa.



Os materiais e métodos foram definidos de acordo com os objetivos da pesquisa. Em relação aos materiais, os principais dados utilizados foram: dados cartográficos, dados diários de pluviosidade e arquivos *rasters* pré-processados. Os dados cartográficos (Quadro 1) no formato *shapefile* foram armazenados em uma base de dados e usados em ambiente SIG para a confecção dos mapas temáticos de solo, vegetação, geologia, geomorfologia, altimetria, declividade, unidades de conservação e localização da área de estudo, que serviram posteriormente para descrever as características físicas da carta selecionada e compreender a sua complexidade.

Os dados *raster* correspondem a mosaicos de pixel provenientes do conjunto de imagens do satélite *LANDSAT* sensores TM, ETM+ e OLI com resolução espacial de 30m adquiridas diretamente na plataforma da GEE e armazenados na mesma.

Fazem parte também do banco de dados os livros *online*, dissertações de mestrados, tese de doutorados, artigos e periódicos indexados disponíveis na internet, que abordam sobre a temática da pesquisa, a metodologia e os principais conceitos trabalhados.

Diversas são as metodologias possíveis de serem adotadas para o mapeamento do uso e cobertura das terras (ZANATA, 2014; MORAIS e CARVALHO, 2015; PESSOA *et al*, 2013; MALLUPATTU *et al*, 2013; RAJAMANICKAM e SUGANTHI, 2014; ALBUQUERQUE e SAKAMOTO, 2015) entre outros.

Entretanto, em todos eles há limitações com relação a escala temporal e sua consequente disponibilidade de imagens, bem como um intensivo trabalho de pré-processamento de imagens.

Nesta pesquisa optou-se por utilizar o processamento de imagens em nuvem por meio da plataforma *Google Earth Engine* (GEE), pois comparado aos métodos tradicionais que demandam do usuário habilidade, custos com *softwares*, memória interna do computador, tempo de processamento e sistemas capazes de armazenar dados e programas, esta plataforma se mostra mais rápida para realizar análise espacial multitemporal em escala anual, processamento de dados orbitais e geração de produtos, visto que as imagens já vêm pré-processadas, ou seja, prontas para serem classificadas.

Portanto a principal ferramenta utilizada nesta pesquisa para as etapas de aquisição dos dados orbitais, bem como para a classificação de uso e cobertura da terra foi a plataforma GEE com base na metodologia de classificação usada no Mapbiomas na coleção 2.3.

Com a finalidade de quantificar as mudanças espaciais e temporais na paisagem, aplicou-se as métricas da paisagem por meio do software *FRAGSTATS*. A quantificação das classes mapeadas por meio das métricas da estrutura da paisagem possibilitam obter maior detalhamento da dinâmica da paisagem ao longo dos anos (PIROVANI *et al*, 2012; LANG e BLASCHKE, 2009).

As métricas representam um conjunto de índices desenvolvidos em ecologia da paisagem, com a finalidade de quantificar as características e padrões da paisagem, relacionados a dinâmica das mudanças de uso e cobertura da terra por meio de softwares específicos de SIG (VOLOTÃO, 1999).

Quadro 2: Metadados

TEMA	Dado	Fonte	Resolução/ Escala	Formato	Aplicações na pesquisa	Produto
Relevo Geomorfologia	MDT	JAXA	ALOS (AW3D)30m	Raster	Caracterização geomorfológica	Mapas temáticos (declividade e altimetria)
	Unidade Geomorfológica	CPRM	1:250.000	Vetor	Caracterização geomorfológica	Mapa temático de geomorfologia
Geologia	Formação geológica	CPRM	1:250.000	Vetor	Caracterização geológica	Mapa temático de geologia
Pluviosidade	Médias mensais e anuais de precipitação	INMET	---	.txt .xlsx	Construção dos mosaicos sazonais.	Gráfico de Pluviosidade de Morro do Chapéu
Solo	Tipos de solos	CPRM	1:250.000	Vetor	Caracterização do solo	Mapa dos tipos de solos
Clima	Coordenadas geográficas	INMET	—	.xls	Espacialização das estações	Mapa da localização da estação
Cobertura Vegetal	Descrição dos tipos de vegetação	MMA	1:250.000	Vetor	Caracterização da vegetação	Mapa temático de vegetação
Geoturismo	Unidades de conservação	MMA	1:100.000	Vetor	Aspectos econômicos	Mapa temático das Unidades de Conservação
Área de estudo	Municípios abrangidos pela carta SC.24-Y-C	IBGE	1:250.000	Vetor	Identificar os municípios	Mapa da área de estudo- Carta Jacobina

Referências

AB'SABER, Aziz. **Os Sertões: a originalidade da Terra**. Ciências Hoje. Vol. 3, n.18, p.44 – 47, 1985.

AB'SABER, Aziz. **Domínios de Natureza no Brasil Potencialidades Paisagísticas**. São Paulo: Ateliê, 2003.

AB'SABER, A. **Nordeste sertanejo: a região semiárida mais povoada do mundo**.1999. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/ea/v13n36/v13n36a03.pdf>>. Acesso em: 05 de jan. de 2017.

ALUQUERQUE, L.B.;SAKAMOTO, A.Y. **ANÁLISE AMBIENTAL E O SISTEMA HIDROGRÁFICO DO CÓRREGO DO PORTO, TRÊS LAGOAS (MS) PARA FINS DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL**. Revista Geográfica Acadêmica, Vol.9(1), p.5-18, 2015.

ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data**. Washington: USGS.p.28, 1979. Disponível em:< <http://pubs.usgs.gov/pp/0964/report.pdf>>. Acesso em: 22 de jul. de 2016.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. **Degradação da caatinga: Uma Investigação Ecogeográfica**. Revista Caatinga v.22, n3,p. 126-135, 2009.

ALVES, H. P. F. **Análise dos fatores associados às mudanças na cobertura da terra no Vale do Ribeira através da integração de dados censitários e de sensoriamento remoto**. Textos Nepo, v. 47, 2004.

AZEVEDO, P.V. SILVA, G.B. **Potencial agroclimatológico da região da “Chapada Diamantina” no Estado da Bahia**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.15, n.1,7788, 2000. Disponível em:< <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/viewFile/85555/88344>>. Acesso em: 16 de nov. de 2016.

BALLÉN, L. A. C; SOUZA, B. I; LIMA, E. R. **Análise espaço-temporal da cobertura vegetal na área de proteção ambiental do Cariri, Paraíba, Brasil**. Bol. Goiaano Geografia. Goiânia, v. 36, n. 3, p. 555-571, 2016.

BARBOSA, D. V. N. **Os impactos da seca de 1993 no Semiárido baiano: Caso de Irecê**. Salvador. SEI, 2000.

BARBOSA, D.C.A; Barbosa, M.C.A; Lima, L.C.M. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga. In: I.R. Leal, M. Tabarelli & J.M.C. Silva. **Ecologia e conservação da Caatinga**. p. 657-693. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife,2003.

CARDOSO, D. B., & QUEIROZ, L. P. Caatinga no Contexto de uma Metacomunidade: Evidências da Biogeografia, Padrões Filogenéticos e Abundância de Espécies em Leguminosas. In.: C. J. Carvalho, & E. A. Almeida. **Biogeografia da América do Sul Padrões e Processos** (p. 241-259). São Paulo, SP, Brasil: Roca, 2010.

CASTELLETTI, C. H. M et al. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. p 719–734. In: I. R. Leal, M. Tabarelli, & J. M. C. da Silva (eds). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Editora da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

CASIMIRO, P. C. **Estrutura, composição e configuração da Paisagem, Conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da Ecologia da Paisagem**. Estudos Regionais, Revista Portuguesa de Estudos Regionais, Revista da APDR, Nº 20,Coimbra. pg. 75-97, 2009.

COUTO, Paula. **Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATs**. Inv. Op. vol.24, n.1, pp.109-137, 2004.

COSTA, Alfredo. **Evolução uso e cobertura do solo e fragmentação da paisagem na Serra do Gandarela (MG): análise a partir de métricas de paisagem**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2012.

DONG, J., et al. **Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine**. Remote Sensing of Environment 2016. Disponível em:< <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.016> ≥ Acesso em: 27 de jan. de 2017.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 306P. 2006.

EMBRAPA. **Preservação e uso da caatinga**. Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Semiárido. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

EVANGELISTA, A. R. S. **O Processo de Ocupação do Bioma Caatinga e suas Repercussões Socioambientais na Sisalândia, Bahia**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado em Geografia do Instituto de Geociências, da Universidade Federal da Bahia, 2010.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley Sons, 1986.

FORMIGONI, M. H.; XAVIER, A. C.; LIMA, J. S. S. **Análise temporal da vegetação na região do Nordeste através de dados EVI do MODIS**. Ciência Florestal, v. 21, n.1, p. 1-8, 2011.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo, Oficina de Textos, 2002.

FRANÇA, F.; MELO, E.; SOUZA, I.; PLUGIESI, L. **Flora de morro do chapéu**. V.1, Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 258p. 2013.

GARIGLIO, Maria Auxiliadora; et al. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 368p. 2010.

GORELICK, N., et al., **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**, Remote Sensing of Environment, 2017.

HOECHSTETTER S. **Enhanced methods for analysing landscape Structure. Landscape metrics for characterising three-dimensional patterns and ecological gradients**. Band 6 der Reihe, Fernerkundung und angewandte Geoinformatik“. Rhombos-Verlag, Berlin. 156 p., 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação**. IBGE, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>>. Acesso em: 24 de set. de 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. IBGE, Rio de Janeiro 2012.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística **Manual Técnico de Uso e Cobertura da Terra**. 3ª edição. Rio de Janeiro. 2013.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Bases cartográficas**. 2016. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>> Acesso em: 12 de jul. de 2017.

JANSEN, L.J.M. & GREGORIO, A. Di. **Parametric land cover and land use classifications as tools for environmental change detection**. Agriculture Ecosystems e Environment. v. 91, p.89–100, 2002.

JAXA. **Modelo Digital de Terreno-MDT**. Disponível em: <<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/index.htm>> Acesso em: 10 de jun. de 2017.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução português 2 Ed. Parentese Editora. São José dos Campos SP, 598p. 2009.

JENSEN, J.R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, Third Edition, 2004.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução: Hermann Kux, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LILLESSAND, T. M. **Remote Sensing and Image Interpretation** Chipman, 6ed. 2008.

LOBÃO, J. S. B. **Análise Socioambiental do Município de Morro do Chapéu: baseada em Geotecnologias**. Dissertação de Mestrado. Pós Graduação em geografia Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 2006.

LOBÃO, J. S. B. SILVA, B. M.N. A configuração histórica e natural da região semiárida da Bahia. In.: **Análise socioambiental da região semiárida da Bahia: geoprocessamento como subsídio ao ordenamento territorial**. Feira de Santana: UEFS Editora, p.97-135, 2012.

MAURY, C. M. (Org.). **Biodiversidade brasileira**: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília, DF: MMA/SBF, 2002.

MAPBIOMAS.ORG.O que é o Mapbiomas. Disponível em <http://mapbiomas.org/pages/about/about> Acesso em: 12 de jul. de 2016.

MALLUPATTU et al. **Analysis of Land Use/Land Cover Changes Using Remote Sensing Data and GIS at an Urban Area, Tirupati, India**.The Scientific World Journal, 6 p., 2013.

MAXIMIANO, L. A. **Considerações sobre o conceito de paisagem**. R. RA´E GA, Curitiba, n. 8, p. 83-91, Editora UFPR, 2004.

MENESES, P. R. e ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012.

METZGER, J. P. **O que é ecologia de paisagem?** Campinas. Biota Neotropica, v.1, n1/2, 9 p.,2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Monitoramento dos Biomas Brasileiros. Bioma Caatinga**. Brasília, 2010. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br> >. Acesso: 30 de out. de 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite**. Acordo de cooperação técnica mma/ibama, monitoramento do bioma caatinga 2008-2009. BRASÍLIA/DF. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/arquivos/relatorio_tecnico_caatinga_2008_2009_72.pdf>. Acesso em: 30 de out. de 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Subsídios para a elaboração do plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Caatinga** / Ministério do Meio Ambiente. - Brasília, 128 p. 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil**. Brasília-DF, 213p. 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Arquivo vetorial das unidades de conservação do Brasil**. 2016. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 12 de ago. de 2017.

MORAIS, R. P.; CARVALHO, T.M. **COBERTURA DA TERRA E PARÂMETROS DA PAISAGEM NO MUNICÍPIO DE CARACARAÍ -RORAIMA**. Revista Geográfica Acadêmica, Vol.7(1), pp.46-59. 20115.

MOORE, R. T.; HANSEN, M. C. **Google Earth Engine: a new cloud-computing platform for global-scale earth observation data and analysis**. American Geophysical Union, Fall Meeting, 2011.

MORELLI, A.F. **Identificação e transformação das Unidades de Paisagem no município de São José dos Campos (SP) de 1500 a 2000**. Rio Claro –Brasil. Doutorado em Geociências e Meio Ambiente da Universidade Estadual Paulista, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 320p. 2005.

MCCONNELL, W.; MORAN, E. **Meeting in the middle: the challenge of meso-level integration**. Belgium, 2000.

NEVES. E. F. **Curraleiro, crioulo, peduro: a pecuária com fator da formação socioeconômica do semiárido**. Revista do Instituto Geográfico e Histórico da Bahia, v. 104, p. 11-58, 2009. Disponível em : <<http://www.ighb.org.br/publicaes>> Acesso em: 14 de mar. de 2017.

NIRAV, Patel *et al.* **Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 35 199–208, 2015.

NOVO, E. M. **Sensoriamento Remoto Principios e Aplicações** (Vol. 2ª edição). São Paulo, SP, Brasil: Edargar Blüc. 1995.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto princípios e aplicações**. 4ª edição. 2010.

PEREIRA, J.L.V. *et.al.* **Métricas da paisagem na caracterização da evolução da ocupação da Amazônia**. Geografia, Rio Claro, vol. 26(1): 59-90, abril 2001.

PIROVANI, D.B. *et al.* **USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL COM BASE EM PRINCÍPIOS DE ECOLOGIA DA**

PAISAGEM. In. SANTOS et al., Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais 2012. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/livros/geotecnologias%20aplicadas%20aos%20recursos%20florestais.pdf>> Acesso em: 14 de nov. de 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 127p. 2012.

PRADO, D. As caatingas da América do Sul. In: I.R. Leal, M. Tabarelli & J.M.C. Silva. **Ecologia e conservação da Caatinga.** Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. p. 3-73, 2003.

PRADO JR., Caio. **Formação do Brasil contemporâneo : colônia** / Caio Prado Jr; entrevista Fernando Novais ; posfácio Bernardo Ricupero. — São Paulo : Companhia das Letras, 2011.

PRADO JR, C. **História Econômica do Brasil.** Editora Brasiliense, 1979.

RAJAMANICKAM, K.; SUGANTHI, J. **Performance analysis of landsat 5 remote sensing data compression technique used for land use and land cover mapping.** International Journal of Engineering & Technology, Vol.3(3), pp.308-314, 2014.

ROCHA, J.M. **Modelagem do conhecimento e métricas de paisagem para identificar e analisar padrões espaciais em ambiente de Caatinga.** Dissertação de mestrado-Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2011.

ROCHA, W.F.; SILVA, A.B.; NOLASCO, M.C.; LOBÃO, J. BRITTO, D.; CHAVES, J. M.; ROCHA, C. C. **Levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo do Bioma Caatinga.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2629-2636, 2007.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto.** 5° Ed. Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

ROSA. M. **Análise e comparação entre diferentes metodologias de mapeamento e monitoramento da cobertura florestal de Mata Atlântica.** Boletim Paulista de Geografia, v.95, p.25-34, 2016.

ROSENDO, Jussara dos Santos. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS** / Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2005.

SANTOS, A. R. [et al.], **Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais.** [recurso eletrônico] 249 p., 2012.

SAMPAIO, A. R, (org). *et al.* **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Jacobina – Folha SC.24-Y-C, Estado da Bahia. Escala 1:250.000.** Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001.

SEABRA, V. S.; XAVIER, R. A.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. C. **Mapeamento do uso e cobertura do solo da bacia do rio Taperoá: região semiárida do estado da Paraíba.** Caminhos de Geografia Uberlândia v. 15, n. 50, p. 127–137, 2014.

SILVA, M. F. **Uma análise do bioma caatinga no município de Gado Bravo-PB através do índice de vegetação por diferença normalizada.** 2016.

SILVA, *et al.* **Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros.** Brasília, DF: MMA/SBF, 2002.

SILVA, *et al.*, Riqueza e diversidade de plantas lenhosas em cinco unidades de paisagem da Caatinga. In: I.R. Leal, M. Tabarelli & J.M.C. Silva. **Ecologia e conservação da Caatinga.** p. 337 a 360. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. 2003.

SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.** MMA. – UFPE – Conservation International –Biodiversitas – Embrapa Semiárido. Brasília.. 382p. 2004.

SILVA, A. C. **MODELAGEM DA GEODIVERSIDADE E IDENTIDADE COMO SUPORTE PARA ROTEIROS GEOTURÍSTICOS: ESTUDO DE CASO NO GEOPARQUE MORRO DO CHAPÉU, BAHIA.** Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) Universidade Estadual de Feira de Santana 2016.

SIQUEIRA, M. N. *et al.*, **GEOGRAFIA E ECOLOGIA DA PAISAGEM: PONTOS PARA DISCUSSÃO.** Soc. & Nat., Uberlândia, 25 (3): 557-566, 2013.

SOUZA *et al.* **Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires.** Remote Sensing of Environment 98, p.329 – 343, 2005.

TROVÃO *et al.* **Variações sazonais de aspecto fisiológico de espécies de caatinga.** Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental. Junho, 2007. Disponível em :
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662007000300010>
Acesso em 14 nov. de 2017.

VASCONCELOS, Y. **Colaboração do Céu.** Revista Pesquisa FAPESP. Edição 230, Abril, 2015. Disponível em:<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2015/04/10/colaboracao-do-ceu/>> Acesso em: 27 de jan. de 2017.

VENTURIERI, A. Curso de introdução as técnicas de Sensoriamento Remoto. Belém 2007. Disponível em: < <http://www.ufpa.br/epdir/images/docs/paper64.pdf> >. Acesso em 27 de jan. de 2017.

VOLOTÃO, C.F.S. **Trabalho de análise espacial: métricas do Fragstats**. São José dos Campos: INPE, 45 p. 1998.

ZANATA, J. M. **Mudanças no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Bonito, municípios de Avaré e Itatinga-SP** / Juliana Marina Zanata. - Presidente Prudente : [s.n], 122 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia 2014.

ARTIGO I

**PROCESSAMENTO DE SÉRIES MULTITEMPORAIS DE IMAGENS PARA
MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DAS TERRAS EM ÁREA COMPLEXA
DO BIOMA CAATINGA**

4 Artigo I – PROCESSAMENTO DE SÉRIES MULTITEMPORAIS DE IMAGENS PARA MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DAS TERRAS EM ÁREA COMPLEXA DO BIOMA CAATINGA

RESUMO: Este artigo teve por objetivo comparar o desempenho dos classificadores *Random Forest* (RF) e *Supporte Vector Machine* (SVM) para mapeamento do uso e cobertura das terras de uma área de Caatinga bastante heterogênea e sazonais do ponto de vista vegetacional e outras dinâmicas de uso da terra em ambientes semiáridos. Todas as etapas de treinamento, classificação e filtragem das imagens foram feitas na plataforma de processamento de imagens em nuvem *Google Earth Engine*, de forma multitemporal no período de 2000 a 2016. A comparação entre os mapas classificados foram feitas a partir de métodos de tabulação cruzada usando o pacote estatístico *diffeR* e o desempenho dos classificadores foi avaliado por meio dos coeficientes de Exatidão Global, *Tau* e *Kappa* calculados a partir da matriz de confusão correspondente à verdade terrestre. Os mapas gerados apresentaram diferenças de classificação das categorias ao longo dos anos principalmente no que diz respeito as classes Formações Savânicas e Agropecuária. Foi observado que o classificador RF apresentou melhor separabilidade das classes do que o SVM para áreas altamente heterogêneas, os valores de acurácia do mapa observados para o RF foram de 0,85 Exatidão global, 1,00 *Kappa* e 0,82 *Tau*, enquanto que para o SVM foram de 0,38, 0,17 e 0,25 respectivamente.

Palavras- chave: *google earth engine*; *machine learning*; áreas heterogêneas; semiárido.

ABSTRACT: This article aimed to compare the performance of random forest (RF) and supporte vector machine (SVM) classifiers for mapping the land use and coverage of a very heterogeneous and seasonal Caatinga area from the vegetative point of view and other land use dynamics in semi-arid environments. All stages of training, classification and filtering of images were done on the Google Earth Engine cloud image processing platform, in a multitemporal way from 2000 to 2016. The comparison between the classified maps was made from cross-tabulation methods using the *diffeR* statistical package and the performance of the classifiers was evaluated using the Coefficients of Global Accuracy, Tau and Kappa calculated from the matrix of confusion corresponding to the earthly truth. The maps generated showed differences in classification of the categories over the years mainly with regard to the classes Savanna Formations and Agriculture. It was observed that the RF classifier presented better separation ability of the classes than the VMS for highly heterogeneous areas, the accuracy values of the map observed for rf were 0.85 Overall accuracy, Kappa 1.00 and 0.82 Tau, while for the VMS were 0.38, 0.17 and 0.25, respectively.

Keywords: *google earth engine*; *machine learning*; heterogeneous areas; semiarid.

1 Introdução

O sensoriamento remoto tem um papel fundamental para obtenção de informações sobre o uso e cobertura da terra em diferentes escalas espaço temporais, atualmente é uma das principais fontes de detecção de mudanças naturais e antrópicas (MONTEIRO, 2015). Porém, uma das maiores dificuldades encontradas pelos usuários de dados de Sensoriamento Remoto é a disponibilidade de metodologias capazes de trabalhar com séries multitemporais de imagens para realizar mapeamentos de uso e cobertura da terra, principalmente em áreas de difícil acesso, extensas, heterogêneas e fragmentadas (VASCONCELOS e NOVO, 2004).

Com os avanços tecnológicos na área do Sensoriamento Remoto nos últimos anos, a evolução dos sensores de imageamento e o aumento do poder computacional tornou-se efetivamente possível processar grande quantidade de dados orbitais em pouco tempo se comparado aos métodos tradicionais de classificação de imagens (KENNEDY *et al.*, 2014).

Hansen *et al.* (2013), buscando identificar as mudanças na cobertura florestal no mundo todo entre os anos de 2000 a 2012, utilizaram mais de 650.000 cenas *Landsat 7*, o equivalente a 20 trilhões de pixels e 707 terabytes de dados, para isto 10.000 mil computadores foram colocados para processar em paralelo, reduzindo o tempo de tarefa em 100 horas, esta mesma tarefa em uma única unidade de processamento levaria mais 20 anos para ser finalizado (DONG *et al.*, 2016; JOHANSEN *et al.*, 2015).

Isto só foi possível porque em 2010, a *Google* revolucionou o campo das análises geoespaciais ao lançar a plataforma *Google Earth Engine* (GEE), um sistema baseado em computação em nuvem e projetado para permitir que *petabyte* de dados para análise geoespacial sejam processados em menor tempo, oferecendo uma plataforma integrada para analisar dados de Sensoriamento Remoto (GORELICK *et al.*, 2017).

O GEE fornece um ambiente de programação JavaScript e Python, com uma ampla gama de algoritmos para executar análises geoespaciais remotamente nos computadores da *Google*, incluindo um enorme catálogo de dados espaciais pré-processados e disponíveis gratuitamente (XIONG *et al.*, 2017; ALONSO *et al.*, 2016; DONG *et al.*, 2016, GORELICK *et al.*, 2017).

A principal finalidade da criação da plataforma é tornar mais fácil o acesso a recursos de computação de alto desempenho, para o processamento de grandes conjuntos de dados geoespaciais para que pesquisadores e outros interessados que não possuem fortes habilidades técnicas em Tecnologia da Informação (TI) desenvolvam suas pesquisas e análises espaciais (GORELICK *et al.*, 2017).

Uma das características do GEE se refere a disponibilidade de conjuntos de ferramentas e algoritmos específicos associados ao processamento digital de imagens e classificação, como os algoritmos baseados em aprendizagem de máquina, a exemplo do *Random Forest (RF)*, o *Supporte Vector Machine (SVM)*, *Classification and Regression Trees (Cart)*, entre outros (GORELICK *et al.*, 2017).

Nos últimos anos, os algoritmos baseados em aprendizado de máquina (*machine learning*) ganharam grande atenção em aplicações baseadas em sensoriamento remoto (NOI e KAPPAS, 2018). No Brasil ela tem sido fortemente explorada por diversos grupos que atuam neste campo, a exemplo do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais- INPE e mais recentemente a equipe do Projeto Mapbiomas.

Comparado a outros algoritmos de aprendizagem em máquina, o RF e o SVM têm demonstrado bom desempenho na análise de dados orbitais para classificação (SOUZA, 2016, SOTHE 2017; GISLASON, 2005; LI *et al.*, 2014, PELLETIER *et al.*, 2016; GALIANO *et al.*, 2012). O aprendizado de máquina está inserido em uma área de conhecimento denominada Inteligência Artificial que têm por objetivo desenvolver métodos e ferramentas capazes de construir conceitos a partir de amostras de dados, desta forma estes algoritmos empregam a técnica de indução a partir do conjunto de treinamento para prever a classe correta para novas entradas não apresentadas previamente (LORENA e CARVALHO, 2007).

O *Random Forest* proposto por Breiman em 2001, como o próprio nome sugere, combina muitas árvores de decisão para produzir classificações mais precisas (CUTLER *et al.*, 2007). O algoritmo consiste em uma combinação de preditores de diversas árvores, no qual cada árvore depende dos valores de um vetor independente, amostrados aleatoriamente e com a mesma distribuição para todas as árvores da floresta, a árvore que receber maior voto é a que determina que classe pertence determinado elemento (BREIMAN,2001), ou seja, são modelos *ensemble*, baseado em um conjunto de árvores de decisão.

Cada árvore é construída a partir de um conjunto de variáveis aleatórias de entrada, seus resultados são combinados através de um processo de votação (*bagging*), onde cada árvore sugere um voto para a classe que julga ser a correta, a classificação final ocorre através da classe mais votada (GISLASON *et al.*, 2005).

O *Supporte Vector Machine* foi desenvolvido por Vapnik em 1995, fundamenta-se na Teoria de Aprendizado Estatístico (LORENA e CARVALHO, 2007). O objetivo do classificador é gerar limites de decisão que determinem a separação ótima das classes. Desta forma, para dados linearmente separáveis é gerado um hiperplano ótimo usando a maior margem possível de separação entre as classes.

Para classificação de dados não lineares o SVM usa a função *Kernel* qual mapeia do espaço original para outro de alta dimensão chamado de espaço de característica, no qual os dados podem ser separados por meio de um hiperplano, ou seja, os dados tornam-se linearmente separáveis (RUFINO *et al.*, 2016). Muitos hiperplanos podem ser ajustados para separar as classes, porém apenas um com ótima separação é usado, a margem máxima entre os pontos é medida através de um subconjunto de pontos próximos ao hiperplano, estes pontos são denominados vetores de suporte (SANTOS, 2014).

Dentre os diferentes ambientes tropicais, o Bioma Caatinga destaca-se em função da alta sazonalidade e necessidade de informações úteis a conservação de seus ecossistemas (TABARELLI *et al.*, 2000; LEAL *et al.*, 2003). Neste sentido ainda é raro encontrar na literatura a presença de estudos que avaliem o desempenho de diferentes classificadores como o RF e o SVM em ambientes altamente sazonais e de alta heterogeneidade espaço temporal ou em ecótonos bem definidos como os presentes no semiárido do Nordeste do Brasil (SOUZA *et al.*, 2010; GALIANO *et al.*, 2012; SOTHE *et al.*, 2017)

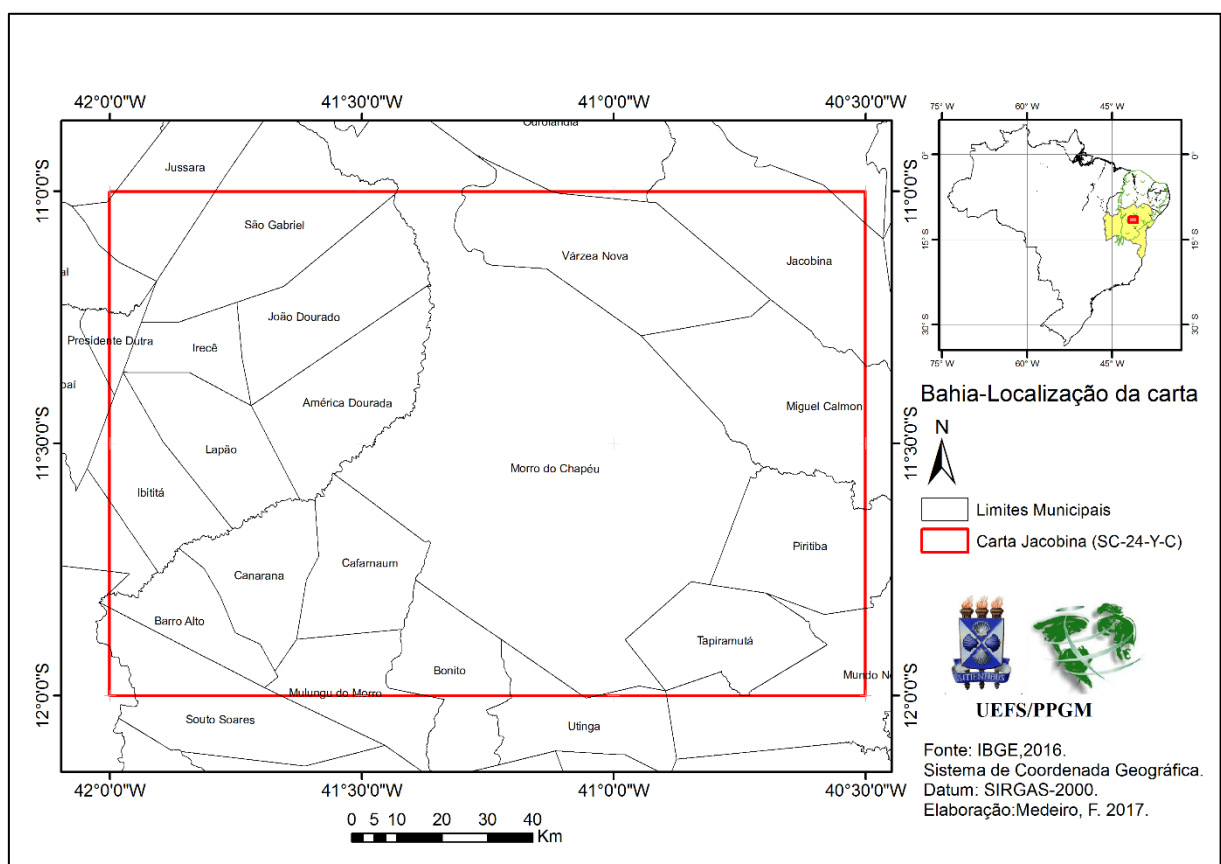
Em virtude da lacuna de informações associadas ao uso e performance de classificadores baseados em aprendizagem de máquina como o RF e SVM em regiões altamente heterogêneas e sazonais do ponto de vista vegetacional e outras classes de uso em ambientes tropicais como o semiárido, o presente estudo tem por objetivo mapear e comparar o desempenho dos classificadores RF e SVM numa área de grande heterogeneidade espacial para série multitemporal de 2000 a 2016 ano a ano.

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo definida foi a carta Jacobina SC.24-Y-C do IBGE na escala 1:250.000 do Sistema Internacional ao Milionésimo, definida pelas coordenadas 40°30'- 42°00' longitude W e 11° 00'- 12 00' latitude S. Está inserida em uma região semiárida, localizada na parte centro-oriental do Estado da Bahia, mais precisamente no norte da Chapada Diamantina (Figura 1).

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo



Em síntese esta área é controlada por uma combinação de diferentes elementos como: o clima que varia entre seco, subúmido, tropical semiúmido e semiárido; rochas do tipo sedimentares quais deram formação a importantes unidades geomorfológicas como a Bacia do Irecê, Baixada dos rios Jacaré e Salitre, Chapadas de Morro do Chapéu, os Patameres de Utinga, Souto Soares e Médio Rio Paraguaçu, o Pediplano Central da Chapada Diamantina, o Planalto do Rio Bonito e as Serras de

Jacobina, quais propiciaram a formação de uma grande variação de tipos de solos como predomínio dos cambissolos e latossolos vermelho-amarelo.

A combinação destes elementos físicos contribuiu para que esta área apresente uma grande heterogeneidade vegetacional que também é determinada pelas chuvas orográficas à barlavento onde predominam espécies do Bioma Mata Atlântica e a sotavento onde as espécies dos Biomas Caatinga se adensa com o Cerrado, formando ecótonos e encraves com áreas de transição muito complexas (FRANÇA *et al*, 2012).

Além desta diversidade vegetacional, as atividades econômicas desenvolvidas no semiárido baiano também são sazonais e dependem das condições climáticas para se desenvolverem. A agricultura e a pecuária se alternam nos períodos secos e chuvosos.

Esta grande diversidade biofísica e a dinâmica do uso da terra dificulta o mapeamento com base em imagens de satélite de média resolução e torna-se um desafio, pois além da dificuldade de se obter imagens sem nuvens, as sombras de relevo, ruídos e confusões espectrais se tornam mais evidentes.

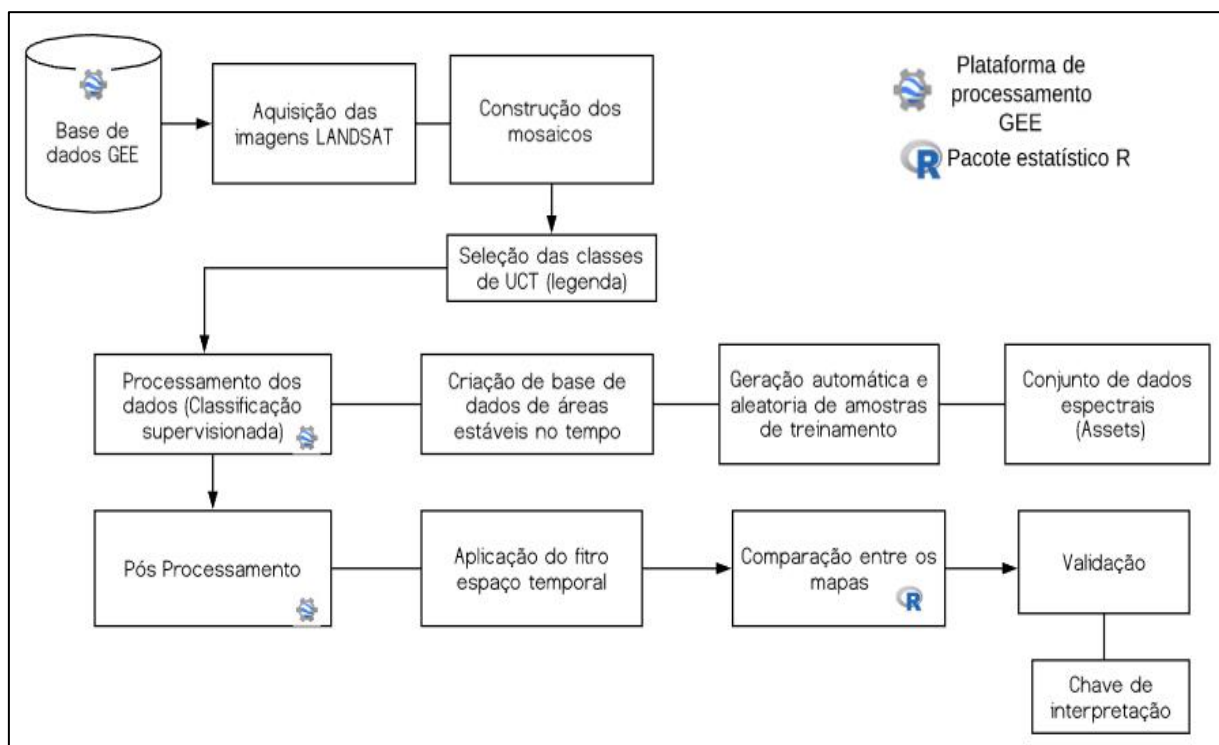
2.2 Construção dos mosaicos temporais

Para a construção dos mosaicos temporais foi utilizado a plataforma *GEE-Code Editor*. Neste ambiente, é possível a criação de rotinas otimizadas para geração dos mosaicos em função da escolha de janelas temporais específicas, além da possibilidade da criação de algoritmos para construção de máscara de sombra e nuvem, o que possibilita uma melhoria substancial na qualidade dos mosaicos para série temporal.

Após inúmeros testes, optamos em utilizar a mediana do valor de cada pixel para janela temporal de seis meses (janeiro a junho), na construção dos mosaicos para cada ano da série. Ao utilizar o período estabelecido acima, buscou-se, evidenciar o maior contraste espectral para separação dos alvos avaliados, bem como diminuir a interferência dos problemas associados a ruídos nas imagens. Em cada mosaico construído foi utilizado um total de 12 imagens *Landsat* a cada ano tendo como referência a janela temporal de seis meses.

No fluxograma na Figura 2, está exibido esquematicamente as etapas metodológicas seguidas para o desenvolvimento deste artigo.

Figura 2- Fluxograma Metodológico

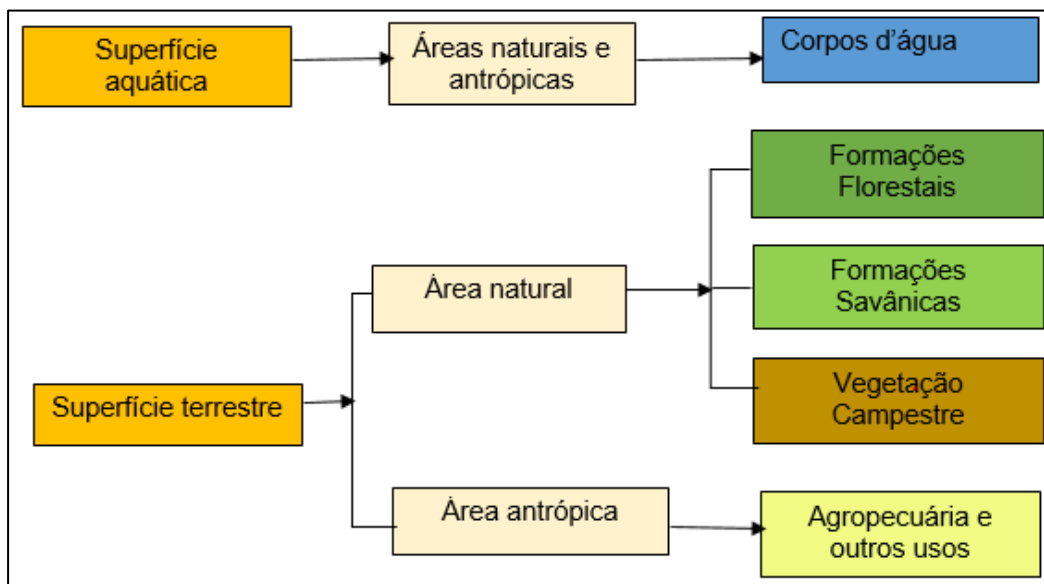


2.3 Legenda do mapeamento

Visto que um sistema de classificação para uso e cobertura da terra consiste em uma representação de classes temáticas em níveis de detalhamento (DI GREGORIO, 2004), as categorias adotadas para o mapeamento foram definidas *a priori* por meio das imagens de satélite a partir dos atributos possíveis de distinguir (cor, textura, geometria) e de dados secundários sobre as características da área de estudo, de modo a prever as possíveis classes existentes. O sistema de classificação foi definido em três níveis de detalhamento hierarquicamente de forma a representar a informação espacial de maneira lógica e ordenada (Figura 3). No nível I, estão representados a superfície aquática e a superfície terrestre, duas classes gerais de cobertura da terra. No nível II, as áreas naturais e antrópicas quais correspondem o tipo de cobertura. No nível III, está representado os usos e coberturas da terra propriamente dito, qual foram identificadas o total de cinco classes possíveis de

mapear: Formações Florestais, Formações Savânicas, Vegetação Campestre, Agropecuária e outros usos e Corpos d'água.

Figura 3- Níveis de abstração adotados no mapeamento do uso e cobertura das terras na carta Jacobina



2.4 Classificação

O conjunto de mosaicos multitemporais foram classificados de forma supervisionada, ou seja, por meio de amostras de treinamento estáveis definidas previamente, utilizando o classificador *RF* e o *SVM* implementados na plataforma GEE. Para tanto foram realizadas as seguintes etapas:

- 1- Criação do mapa de áreas estáveis no tempo: Utilizou-se os mapas da coleção 2.3 do Mapbiomas, para sumarizar os pixels que se mantiveram invariantes ao longo da série temporal 2000 a 2016. Esse procedimento foi realizado para todas as classes que obedeceram a seguinte regra: Formações Florestais-15 anos estáveis, Formações Savânicas-15, Vegetação Campestre-13, Corpos d'água-15 e Agropecuária e outros usos-12;
- 2- Geração automática e aleatória de amostras de treinamento: Foram sorteados aleatoriamente 5.000 pontos por classe anualmente para o treinamento do *RF* e do *SVM*, as amostras de treinamento foram sorteadas sobre o mapa de áreas estáveis. Este mapa representa os pixels que se mantiveram invariantes ao longo do tempo, ou seja, aquelas que apareceram com maior frequência ao longo da série temporal;

3- Assets (conjunto de dados) utilizados como bandas para o classificador: Foram utilizadas 29 bandas como *input* para rodar os classificadores, como a mediana da reflectância das bandas espectrais (Swir1, Swir2, Red, Nir, Green, Blue), frações do modelo de mistura espectral (NPV, GV, GVS, Soil, Shade, Cloud), a mediana dos índices (NDFI, NDVI, NDWI, SAVI, EVI2, FCI, NDFI3, NDFI4) a mediana das imagens fração (npvsoil, gvnps, wvi, ndfi_amplitude), e o mapa de áreas estáveis (Quadro 1);

4-Configurações para rodar os classificadores- Usamos *RF* com 100 iterações para fazer novas classificações e o para o SVM utilizamos os parâmetros default.

Quadro 1- Relação de variáveis usadas como *input*

ID	Nome da Banda	Descrição
0	Blue	Mediana de reflectância na banda 'azul'
1	Green	Mediana de reflectância na banda 'verde'
2	Red	Mediana de reflectância na banda 'vermelha'
3	Nir	Mediana de reflectância na banda Infravermelho próximo
4	swir1	Mediana de reflectância na banda Infravermelho médio
5	swir2	Mediana de reflectância na banda Infravermelho médio
6	Termal	Mediana de reflectância na banda termal
7	Gv	Vegetação verde da análise de Mistura Espectral
8	Npv	Vegetação não fotossintética de Análise de Mistura Espectral
9	Soil	Solo de análise de Mistura espectral
10	Cloud	Nuvem de análise de Mistura espectral
11	Gvs	$gvs = gv / (100 - shade)$
12	Shade	Sombra da análise de Mistura espectral
13	hillshade_mask	Máscara de sombra
14	water_mask	Máscara de água de algoritmo fmask
15	NDFI	Índice Normalizado de diferença de Fração
16	NDVI	Índice de vegetação de diferença normalizada
17	NDWI	Índice de água de diferença normalizada
18	SAVI	Índice de vegetação ajustado ao solo
19	EVI2	Índice de realce da vegetação
20	FCI	Índice de dossel de fração
21	NDFI3	Mediana do ndfi3 = (gvnpvs normalized por (Soil)) * 100 + 100
22	NDFI4	Mediana do ndfi4 = (gvs normalized por (shade + soil)) * 100 + 100
23	Npvsoil	Mediana npv + soil
24	Gvnps	Mediana gvs = $gv / (100 - shade)$
25	Wvi	Mediana gvs = $(gv + npv) / (100 - shade)$
26	Slope	Declividade

27	ndfi_amplitude	Variação anual do NDFI
28	Class estável	áreas estáveis no tempo

2.5 Aplicação do Filtro espaço temporal

Após concluído a etapa de classificação, um filtro espaço temporal foi aplicado em todas as classificações realizadas. O filtro espaço temporal tem por finalidade corrigir as transições de classes não permitidas entre os anos, identificando e corrigindo as informações dos pixels que não seguem a regra adotada (Quadro 2).

Quadro 2-Exemplo do conjunto de regras aplicados no filtro espaço/temporal na série de dados classificados

REGRAS	DADO DA SÉRIE				RESULTADO DO FILTRO			
	t_i	t_{i+1}	t_{i+2}	t_{i+3}	t_i	t_{i+1}	t_{i+2}	t_{i+3}
I	Floresta	Savana	Savana	Savana	Savana	Savana	Savana	Savana
II	Floresta	Savana	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta
III	Floresta	Floresta	Savana	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta
IV	Floresta	Floresta	Floresta	Savana	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta

2.6 Comparação entre os mapas *Random Forest* e *Supporte Vector Machine*

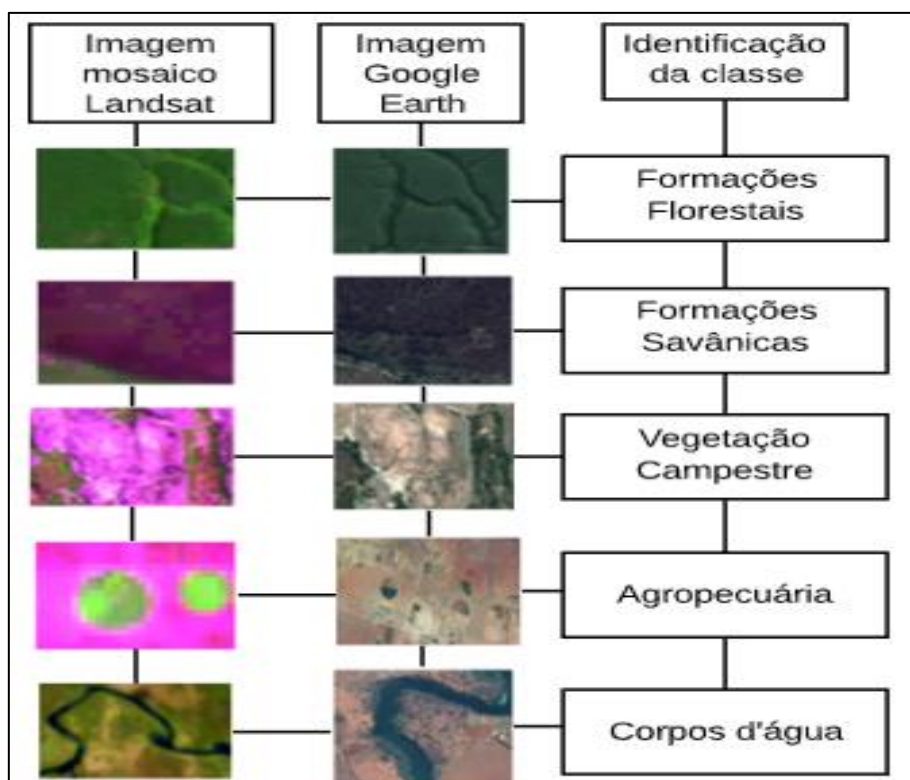
Para comparação foram feitas tabulações cruzadas entre os mapas classificados com o RF e o SVM anualmente. Utilizamos o programa *R* e o *Rstudio*, com auxílio do pacote estatístico *diffeR*. Este pacote gera uma matriz composta oriunda da tabulação cruzada entre mapas. A comparação é realizada pixel a pixel utilizando um mapa de referência em função do outro.

2.7 Validação

A validação dos mapas foi realizada a partir de imagens de alta resolução e por meio de técnicas de fotointerpretação com base na chave de interpretação (Figura 4), que possibilitou reconhecer melhor o padrão dos alvos a serem validados nas imagens *Landsat*.

Foram distribuídos aleatoriamente 600 pontos na área mapeada. Em seguida estes pontos foram incorporados e sobreposto a imagem de alta resolução referente ao ano de 2012 disponível no *Google Earth Pro*. E os erros e acertos foram interpretados com classificação referente ao mesmo ano. As áreas com imagem de alta resolução indisponível, foram validadas com o mapa de áreas estáveis.

Figura 4- Chave de interpretação



Concluída esta etapa foi gerada a matriz de confusão e calculados a acurácia do usuário e do produtor, o índice de omissão e comissão e os índices de concordância Global, *Kappa* e *TAU* (Quadro 3). Segundo Congalton e Green (1999) os valores *Kappa* variam de -1 a 1 onde: $K \leq 0$, péssimo; $0 < K \leq 0,2$, ruim; $0,2 < K \leq 0,4$, razoável; $0,4 < K \leq 0,6$, bom; $0,6 < K \leq 0,8$, muito bom; $0,8 < k$, excelente, a interpretação do *Tau* é feita da mesma forma do que o coeficiente *Kappa*. A validação dos mapas além de apresentar a precisão da classificação possibilitou comparar o desempenho dos classificadores RF e SVM.

Quadro 3- Índices de concordância para avaliação da acurácia do mapa

Acurácia	Fórmula	Interpretação
Coeficiente de concordância Kappa (COHEN, 1960)	$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe}$	$-1 \leq \kappa \leq +1$
Coeficiente de Concordância Tau (KLECKA, 1980)	$\tau \frac{Po - Pr}{1 - Pr}$	$-1 \leq \tau \leq +1$
Concordância Total (HELLDEN, et al., 1980)	$EG = \sum \frac{n_{ii}}{n}$	$0 \leq Po \leq +1$

3 Resultados e Discussões

3.1 Desempenho dos classificadores RF e SVM

Na Figura 5 e 6 estão representados os mapas temáticos da série multitemporal de 2000 a 2016, oriundas da classificação supervisionada a partir do *RF* e do *SVM*, respectivamente realizadas na plataforma de processamento em nuvem da *Google Earth Engine*.

Figura 5- Mapas classificados com o Random Forest

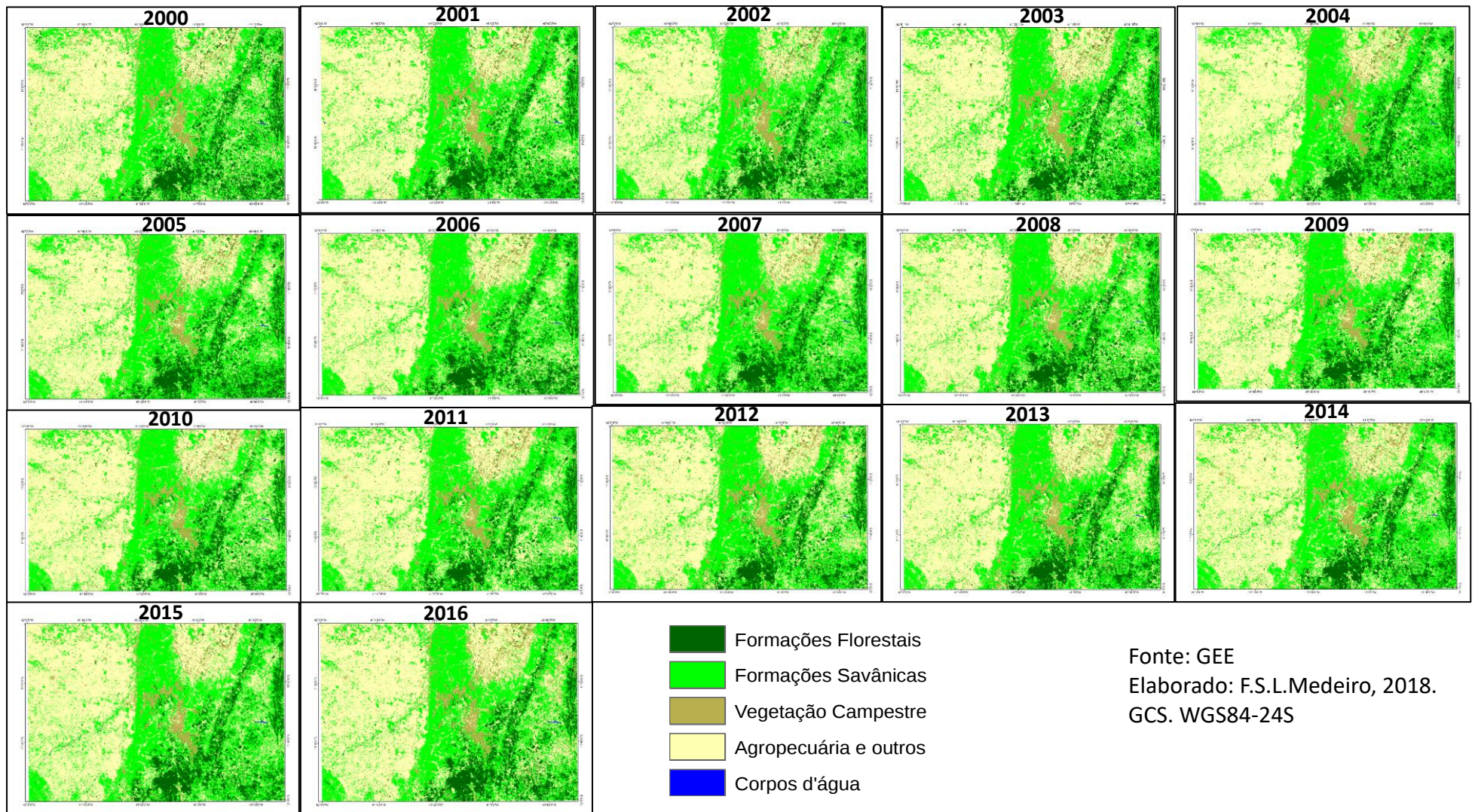
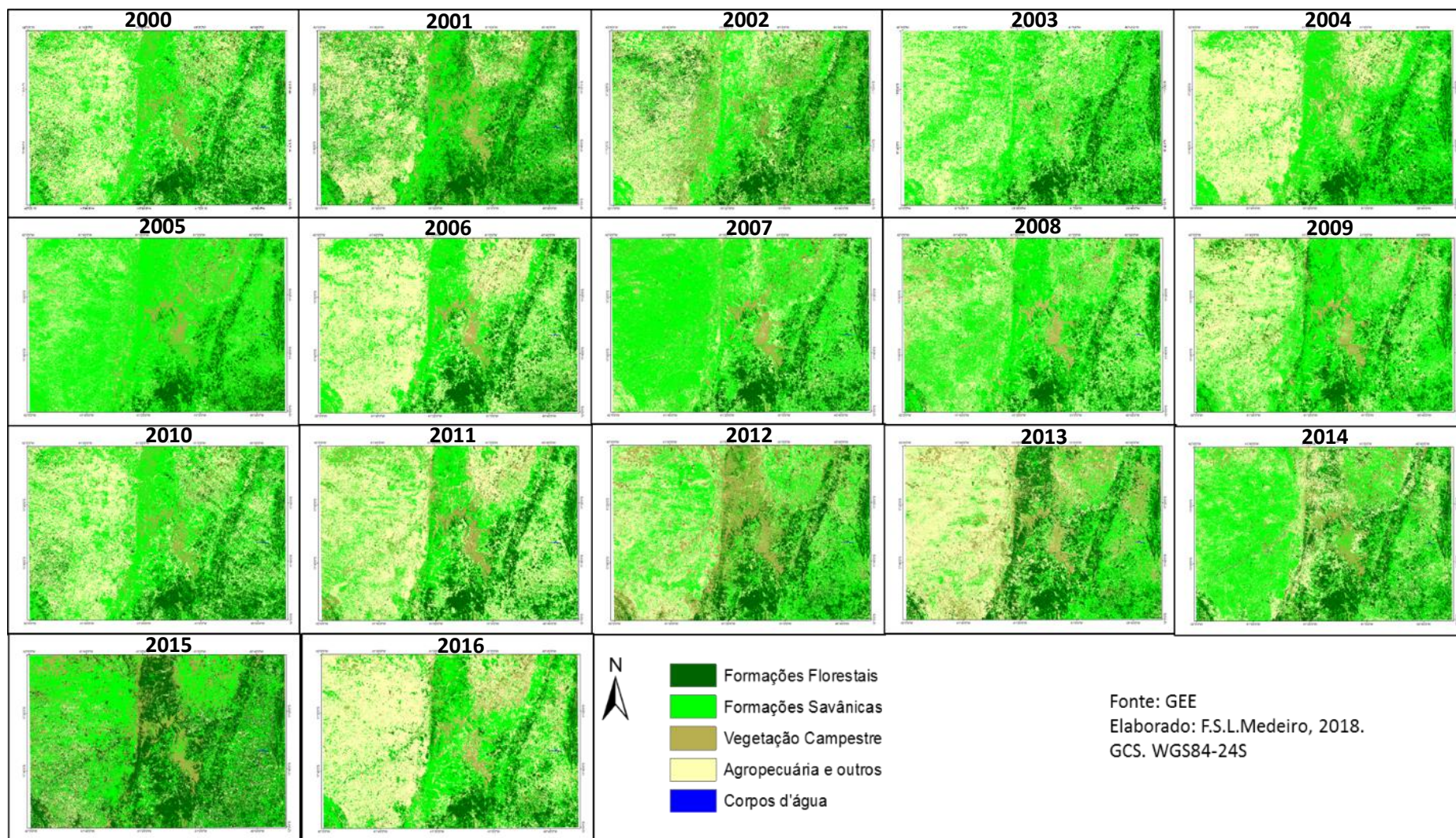


Figura 6- Mapas classificados com o Support Vector Machine



O resultado do cruzamento dos pontos de validação realizado com a classificação do ano de 2012, foram expressas na matriz de confusão (Quadro 4 e 5), a partir dos quais foram obtidos os índices de exatidão global, o *Kappa*, o *TAU*, a acurácia do usuário e do produtor e os erros de omissão e comissão.

A classificação realizada pelo RF obteve a Exatidão global de 0,85, o índice Kappa de 1,00 e Tau 0,82, ou seja, excelentes segundo Congalton e Green (1999). Enquanto que para o SVM os índices de acurácia observado foi de 0,38, 0,17 e 0,25 respectivamente, o que significa que foi ruim.

Quadro 4- Matrizes de confusão para o método Random Forest

Random Forest								
Classes	FSV	FFL	VCR	AGR	CAG	Total	Acu. do Usuário	Erro de comissão
FSV	183	2	38	9	0	232	78,88	21,12
FFL	5	45	0	0	0	50	90,00	10,00
VCR	0	0	47	1	0	48	97,92	2,08
AGR	10	0	24	223	0	257	86,77	13,23
CAG	0	0	1	1	11	13	84,62	15,38
Total	198	47	110	234	11	600		
Acu.do Produtor	92,42	95,74	42,73	95,30	100,00			
Erro de omissão	7,58	4,26	57,27	4,70	0,00			
Exatidão= Global	0,85	Kappa=	1,00	TAU=	0,82			

Sendo: FSV=Formações Savânicas; FFL= Formações Florestais; VCR= Vegetação Campestres; AGR= Agropecuária e outros; CAG= Corpos d'água.

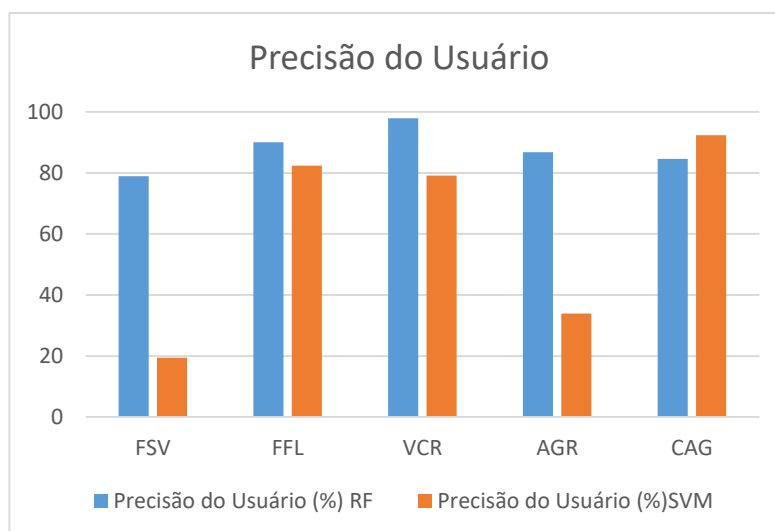
Quadro 5- Matrizes de confusão para o método Support Vector Machine

Support Vector Machine								
Classes	FSV	FFL	VCR	AGR	CAG	Total	Acu. do Usuário	Erro de comissão
FSV	44	40	111	31	0	226	19,47	80,53
FFL	6	42	1	1	1	51	82,35	17,65
VCR	3	2	38	5	0	48	79,17	20,83
AGR	132	6	32	89	3	262	33,97	66,03
CAG	1	0	0	0	12	13	92,31	7,69
Total	186	90	182	126	16	600		
Acu.do Produtor	23,66	46,67	20,88	70,63	75,00			
Erro de omissão	76,34	53,33	79,12	29,37	25,00			
Exatidão= Global	0,38	Kappa=	0,17	TAU=	0,25			

Sendo: FSV=Formações Savânicas; FFL= Formações Florestais; VCR= Vegetação Campestres; AGR= Agropecuária e outros; CAG= Corpos d'água.

Em relação a acurácia do usuário, para a classificação com o RF todas as classes apresentaram o percentual de acerto em relação a verdade terrestre acima de 75%. Enquanto que com o SVM somente três (Formações Florestais, Vegetação Campestre e Corpos d'água) das cinco classes apresentaram boa acurácia, as demais classes representadas pela Savana e Agropecuária apresentaram o percentual abaixo de 35% (Gráfico 1). Isto indica que houve maior dificuldade do classificador SVM para separar classes com maior heterogeneidade.

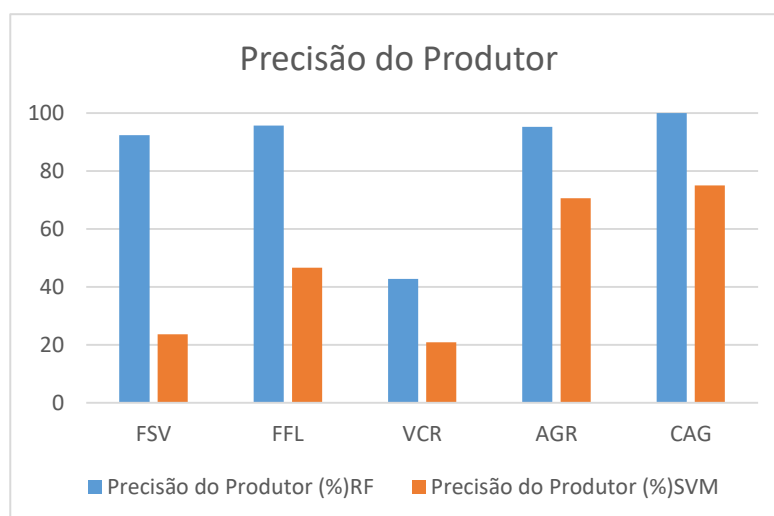
Gráfico 1- Comparação da Precisão do usuário



Sendo: FSV= Formações Savânicas; FFL= Formações Florestais; VCR= Vegetação Campestres; AGR= Agropecuária e outros; CAG=Corpos d'água.

A acurácia do produtor refere-se ao percentual de acerto de um pixel verdadeiro ter sido corretamente classificado. As classes mapeadas por meio do RF apresentaram altas taxas de acerto, mais de 90%, apenas a classe Vegetação Campestre obteve uma acurácia menor que 50%. Para o SVM a precisão das classes Formações Savânicas e Vegetação Campestre foram inferiores a 25% e para classe Formações Florestais foi aproximadamente 45%, apenas as classes Agropecuária e Corpos d'água apresentaram alta precisão (Gráfico 2).

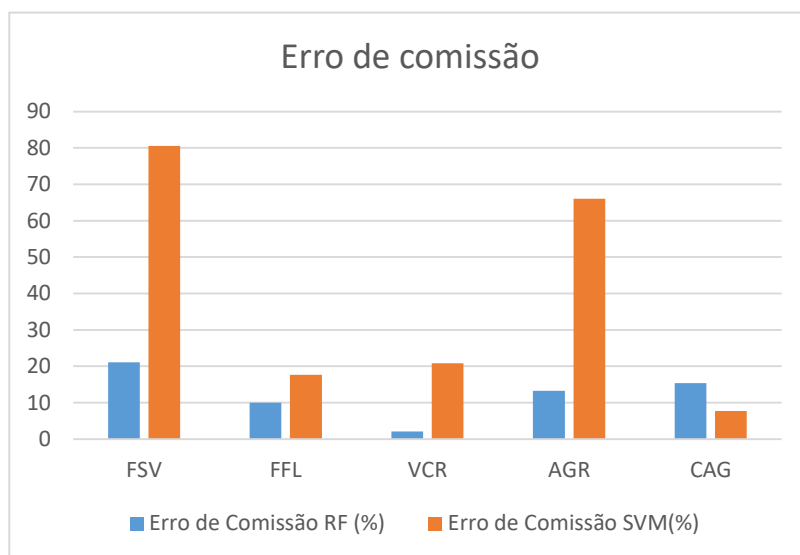
Gráfico 2- Comparação da Precisão do produtor



Sendo: FSV= Formações Savânicas; FFL= Formações Florestais; VCR= Vegetação Campestres; AGR= Agropecuária e outros; CAG= Corpos d'água.

O erro de comissão ou inclusão está relacionada a acurácia do usuário e diz respeito aos pixels que não pertencem à classe e foram a ela atribuídos. Em relação ao RF o erro de comissão calculado para cada classe foi baixo, menos de 20%. Ao contrário do SVM que apresentou porcentagem de erro superior principalmente para as classes Savana e Agropecuária com mais de 60%, porém para a classe Corpos d'água foi menor que o do RF, aproximadamente de 5%, como pode ser observado no gráfico 3.

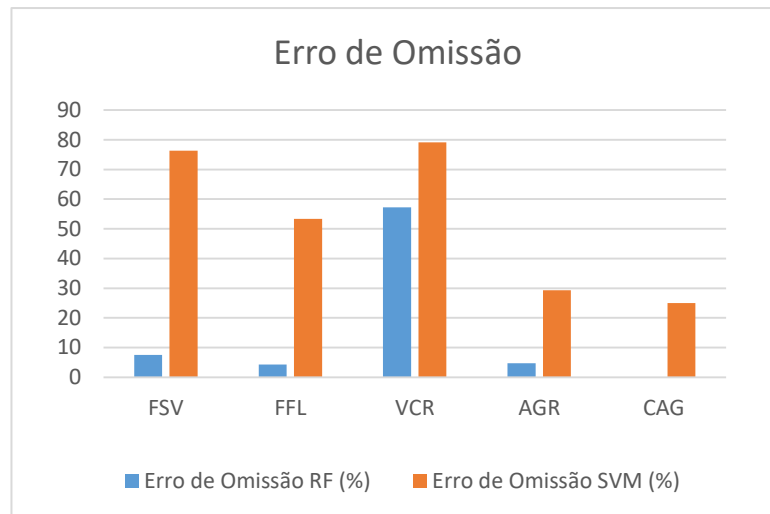
Gráfico 3- Comparação do erro de comissão



Sendo: FSV= Formações Savânicas; FFL= Formações Florestais; VCR= Vegetação Campestres; AGR= Agropecuária e outros; CAG=Corpos d'água.

O erro de omissão referente aos pixels que pertencem à classe em questão e não foram a ela atribuídos para o RF também foram baixos, apenas a classe Vegetação Campestre apresentou superior a 50%. Em comparação para o SVM foram superiores a 50% para as classes de Savana, Floresta e Vegetação Campestre, para as outras duas classes foram abaixo de 30% (Gráfico 4).

Gráfico 4- Comparação do erro de omissão



Sendo: FSV= Formações Savânicas; FFL= Formações Florestais; VCR= Vegetação Campestres; AGR= Agropecuária e outros; CAG= Corpos d'água.

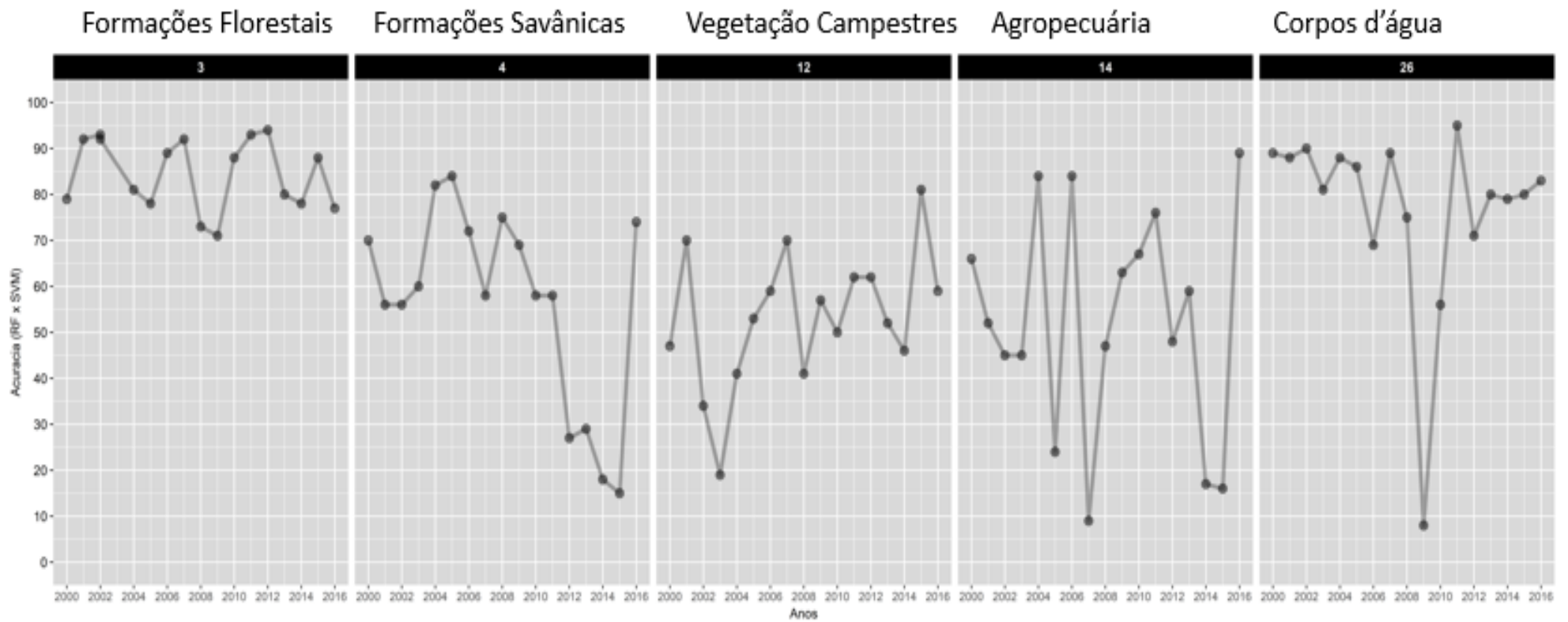
O classificador RF apresentou melhor desempenho para separar as classes, com acerto superior de 80% para quatro das cinco classes (Floresta, Campestre, Agropecuária e outros usos e Corpos d'água). As maiores inconsistências foram observadas para a classe Savana que foi muito confundida com a Vegetação Campestre. Enquanto que para o SVM apenas duas classes apresentaram acerto acima de 80% (Floresta e Corpos d'água), as categorias Savanas e Agropecuária foram bastante confundidas.

3.2 Comparação entre os mapas RF e SVM

A comparação entre os mapas ano a ano, classificados pelo método RF e SVM (Gráfico 5), indicaram que as classes que apresentaram maior semelhança entre os mapas foram as classes Formações Florestais e Corpos d'água com mais de 70% de semelhança entre os anos, com exceção para o mapa de 2009 no que diz respeito a classificação da classe Corpos d'água que apresentou baixa semelhança, apenas 8%. As maiores diferenças e variações de classificação entre os mapas foram observados para as classes Formações Savânicas, Vegetação Campestre e Agropecuária. Os percentuais de semelhança destas classes foram de menos de 70% para maior parte dos anos.

Os mapas que apresentaram maiores semelhanças nas classificações realizada pelos dois metodos distintos, foram os dos anos de 2004, 2006, 2011 e 2016.

Gráfico 5- Comparação entre os mapas classificados com o RF e SVM



4 Discussões

Segundo Borges e Silva (2009), as confusões ocorridas entre as áreas de caatinga representada pela classe Savana, classificadas erroneamente como Agropecuária, podem ser explicadas pelo processo de antropização da caatinga ao longo dos anos.

Espectralmente áreas desmatadas apresentam alto índice de reflectância, em função da exposição do material da composição, outra explicação são as clareiras abertas entre a vegetação, que consequentemente se tornam mais expressivas em áreas que a vegetação não é densa interferindo na identificação dos alvos (BORGES e SILVA, 2009).

Moreira (2009), afirma também que os diferentes graus de estágio da pastagem ou até mesmo graus de degradação proporcionam refletâncias diferenciadas em imagens de satélites, podendo ocasionar confusões na classificação automatizada.

Outra dificuldade é a própria heterogeneidade da área mapeada que está inserida em uma área de ecótono e encrave na região semiárida da Bahia, qual se caracteriza também por apresentar uma forte sazonalidade do uso da terra e também das espécies vegetacionais que precisam se adaptar aos períodos secos e chuvosos.

De acordo com MILAN e MORO (2016), uma área de ecótono se caracteriza como mistura de diferentes tipos de vegetação, sem grandes diferenças fitofisionômicas entre as espécies e encaves como áreas apenas de contato sem interpenetração entre as espécies.

Esta mistura e contato de uma espécie sobre a outra dificulta ainda mais o processo de separação das classes, principalmente em imagens de média resolução espacial como as *Landsat* cuja resolução espacial é de 30m.

Corroborando com esta ideia Galiano *et al* (2012), afirma que as paisagens heterogêneas são caracterizadas por categorias de cobertura terrestre que são difíceis de separar espectralmente devido a baixa separabilidade inter-classe e alta variabilidade intra-classe.

Ainda segundo Souza (2016), as diferentes condições do clima, as condições pluviométricas, a altitude, a inclinação das vertentes e a taxa de iluminação em determinadas épocas do ano, aumentam ainda mais esta diversidade, fazendo com que os alvos apresentem uma variação na resposta espectral.

Os resultados encontrados nesta pesquisa se assemelham com o de Galiano *et al.* (2012) realizado na Província de Granada no Sul da Espanha, cercada por cordilheiras e composta por uma variedade de cobertura que são influenciadas pela variação do clima e da altitude. Segundo os pesquisadores a precisão do mapa obtidos do RF foi alto, levando em consideração a heterogeneidade da área de estudo. A precisão geral e a estatística Kappa foram para 0,92 e precisão do usuário e do produtor de classes individuais também foram elevados, 91,33% e 92,08%, em média.

Sothe *et al.* (2017), ao avaliar metodologias para classificação do estágio sucessional da vegetação do Bioma Mata Atlântica, usando imagens de alta resolução espacial Rapideye e de média resolução espacial Landsat-8, buscaram comparar o desempenho dos algoritmos RF, SVM e MAXVER, os resultados encontrados demonstraram que o classificador RF se destacou em relação aos demais, obtendo acurácia máxima na imagem Landsat e RapidEye.

Outro estudo realizado por Santos (2014), qual tinha como finalidade avaliar o desempenho de diferentes algoritmos de classificação para o mapeamento do uso e cobertura da terra de uma área heterogênea do Centro-Oeste de MG, comparou o *Random Forest*, o *Naive Bayes*, o *DecisionTree* e o *Support Vector Machine* e concluiu que os melhores desempenhos dentre as classificações realizadas utilizando somente variáveis espectrais foi do RF com uma acurácia Kappa de 0,72.

5. Considerações finais

- A comparação entre os mapas anuais classificados com o RF e o SVM demonstrou que as classificações apresentaram bastante diferença, apesar de utilizar o mesmo conjunto de amostras para o treinamento dos classificadores.
- As classes que apresentaram maior variação entre os mapas classificados pelo RF e o SVM foram Formações Savânicas, Vegetação Campestre, Agropecuária e outros usos.
- Os resultados da acurácia entre o mapa gerado pelo RF e SVM, indicam que o RF apresentou desempenho superior ao SVM para separar as classes mapeadas na acurácia estimada para o ano de 2012.

- Os índices de exatidão global, Kappa e *Tau* alcançados pelo RF permitiu inferir que o modelo gerado pode ser classificado como excelente.
- A classificação realizada de forma automatizada na plataforma de processamento em nuvem com base na metodologia do Mapbiomas mostrou-se uma alternativa interessante para processar séries temporais de imagens orbitais economizando esforço e tempo de processamento das imagens.

É importante continuar estudos de mapeamentos nesta área buscando aperfeiçoar o modelo apresentado, para tanto é recomendado:

- Realizar testes buscando amostrar áreas e ou pontos de muito heterogeneidade para treinar o classificador.
- Incluir variáveis texturais e variáveis topográficas, geomorfologias, de aspecto e de solos ao *Random Forest*, pode ser uma boa alternativa para melhorar a separação entre as classes que apresentaram maiores inconsistências.
- Estimar a importância das variáveis usadas como bandas a fim de indicar quais foram as mais consistentes para separar as classes mapeadas numa área complexa.

Referências

ALONSO, A et al. **WETLAND LANDSCAPE SPATIO-TEMPORAL DEGRADATION DYNAMICS USING THE NEW GOOGLE EARTH ENGINE CLOUD-BASED PLATFORM: OPPORTUNITIES FOR NON-SPECIALISTS IN REMOTE SENSING**. American Society of Agricultural and Biological Engineers.Vol.59(5): p.1333-1344 2016.

BORGES, F. E.; BARROS, S.A. **Técnicas de segmentação de imagens e classificação por região: mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo, Mucugê-BA**. Mercator-Revista de Geografia da UFC, 2009. Disponível em:< <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/258>>. Acesso 22 de abri. de 2018.

BREIMAN. **Random forests**. Machine Learning, nº45, p5–32, 2001.

CUTLER, R., EDWARDS, T. C., BEARD, K. H. CUTLER, A., HESS, K. T., GIBSON, J.,LAWLER, J. J. **Random Forests For Classification in ecology**. Ecology 88 (11), p.2783-2792, 2007.

C. PELLETIER et al. **Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high resolution satellite image time series over large areas**, Remote Sensing of Environment 187, p.156–168, 2016.

DI GREGORIO, A. **Land cover classification system (LCCS)**, version 2: classification concepts and user manual. Rome: FAO, 2004.

DONG, J., et al.,**Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine**, Remote Sensing of Environment 2016.

FRANÇA, F.; MELO, E.; SOUZA, I.; PLUGIESI, L. **Flora de morro do chapéu**. V.1, Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 258p. 2013.

GALIANO, R. V. F.; et al. **An assessment of the effectiveness of a Random Forest classifier for land-cover classification**. Remote Sensing of Environment nº121, p.93–107, 2012.

GISLASON, P. O., BENEDIKTSSON, J.A, SVEINSSON. **Random Forest for Land Cover Classification**. Pattern Recognition Letters 27, p.294-300, 2005.

GORELICK, N., et al., **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**, Remote Sensing of Environment 2017.

GORAFALO, D.F.T.; et al. **Comparative analysis of digital classifiers of Landsat-8 images for thematic mapping procedures**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.50, n.7, p.593-604, jul. 2015.

HUANG, H., et al., **Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine**, Remote Sensing of Environment 2017.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística **Manual Técnico de Uso e Cobertura da Terra**. 3ª edição. Rio de Janeiro 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. IBGE, Rio de Janeiro 2012.

JOHANSEN, K., PHINN, S., TAYLOR, M.,. **Mapping woody vegetation clearing in Queensland, Australia from Landsat imagery using the Google Earth Engine**. Remote Sensing Applications: Society and Environment 1, p.36–49, 2015.

J. PADARIAN et al. **Case study Using Google's cloud-based platform for digital soil mapping**. Computers & Geosciences N°83, p.80–88, 2015.

J. XIONG et al. **Automated cropland mapping of continental Africa using Google Earth Engine cloud computing**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 126, p.225–244, 2017.

KENNEDY, R. E. et al. **Bringing an ecological 1344 TRANSACTIONS OF THE ASABE view of change to Landsat-based remote sensing**. Front. Ecol. Environ., V.12(6), p.339-346, 2014.

KLECKA, W. R. **Discriminant Analysis**. SAGE Publications, Inc., Beverly Hills, California, 71 p.,1980).

Leal, I.R., M. Tabarelli & J.M.C. Silva. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil 2003.

LEE et al. **Detecting industrial oil palm plantations on Landsat images with Google Earth Engine** Remote Sensing Applications: Society and Environment 4, p. 219–224, 2016.

LI, C.; et al. **Comparison of classification algorithms and training sample sizes in urban land classification with Landsat thematic mapper imagery**. Remote Sens. 6(2),p. 964-983, 2014.

LORENA, A. C.; DE CARVALHO, A.C.P.L.F. **Uma introdução as Support Vector Machini**. Revista de Informática Teórica e Aplicada (RITA), v. XIV, n.2, p.43-67, 2007.

LUIZ, T. B. P.; GAIARDO, G. F.; SILVA, J. L. S. **Use of support vector machine for prediction of groundwater levels**. Águas Subterrâneas, v. 32, n. 1, p. 25-34, 2018.

Coleção1 -Pastagem.Metodologia para Classificação de áreas de pastagem Relatório Fase-1. MAPBIOMAS. UFG-LAPIG, Abril-2016. Disponível em: <<https://s3.amazonaws.com/mapbiomasecostage/Base+de+dados/Metodologia/Relat+o%CC%81rio+Metodologia+Colec%CC%A7a%CC%83o+1+Pastagem.pdf>> Acesso em: 12 de dez. de 2017.

MONTEIRO, F. P. **ClasSIS: uma metodologia para classificação Supervisionada de imagens de satélite em áreas de assentamento localizados na Amazônia.** Dissertação de mestrado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ INSTITUTO DE TECNOLOGIA. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA 2015.

MOREIRA, G. F. **Classificação automatizada do uso e cobertura do solo utilizando imagens Landsat no município de Aropanga, MG.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa (2009). Disponível em : <<http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/solos%20e%20nutricao%20de%20plantas/2009/216698f.pdf>> Acesso em: 24 de out. de 2017.

MILAN e MORO. **O conceito biogeográfico de ecótono.** Terr@Plural, Ponta Grossa, v.10, n.1, p. 75-88, jan/jun.2016.

NOI, P. T.; KAPPAS, M. **Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery.** *Sensors* 18(1), 2018.

N.N. PATEL et al. **Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine.** International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation v.35,p.199–208, 2015.

OSHIRO, T. M. **Uma abordagem para a construção de uma única árvore a partir de uma *Random Forest* para classificação de bases de expressão gênica.** (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades em Bioinformática. Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 2013.

RIBEIRO, J.F; WALTER, B.M.T. Campo Rupestre. **Agência de Informação Embrapa.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_39_911200585233.html> Acesso em: 24 de out. de 2017.

RUFINO, H., VEIGA, A., NAKAMOTO, P. **SOMOTE_EASY: AN ALGORITHM TO TREAT THE CLASSIFICATION ISSUE IN REAL DATABASES.** JISTEM - Journal of Information Systems and Technology Management Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação Vol. 13, No. 1,p. 61-80, 2016.

SANTOS, P.A. **Avaliação do uso de variáveis temporais na classificação da cobertura da terra.** Dissertação de mestrado.Universidade Federal de Lavras-UFLA, 2014.

SOUZA, G.C.; et al. **Algoritmos de aprendizagem em máquina e variáveis de sensoriamento remoto para o mapeamento da cafeicultura.** Bol. Ciencia Geodésica, vol22, n4. Curitiba, 2016.

SOUZA, B.F.S.; et al. **AVALIAÇÃO DE CLASSIFICADORES BASEADOS EM APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA A CLASSIFICAÇÃO DO USO E**

COBERTURA DA TERRA NO BIOMA CAATINGA. Revista Brasileira de Cartografia N° 62 edição especial 2, 2010.

SOTHE, C.; et al. **ABORDAGENS PARA CLASSIFICAÇÃO DO ESTÁDIO SUCESSIONAL DA VEGETAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DE SÃO JOAQUIM EMPREGANDO IMAGENS LANDSAT-8 E RAPIDEYE**, Bulletin of Geodetic Sciences, vol. 23 (3), 389-404,2017.

TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C.; SANTOS, A.M.M. & VICENTE, A. **Análise de representatividade das unidades de conservação de uso direto e indireto na caatinga.** Relatório do Projeto Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da biodiversidade da Caatinga, Petrolina, 2000.

VASCONCELOS, C. H.; NOVO, E. M. L. M. **Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens – fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat 5, na região do reservatório de Tucuruí – PA.** ACTA Amazonica. v.34, n.3, p. 487-493, 2004.

ARTIGO II

**MÉTRICAS DA ESTRUTURA DA PAISAGEM: ANÁLISE DA DINÂMICA DO USO
E COBERTURA DAS TERRAS DE UMA ÁREA DE CAATINGA NO SEMIÁRIDO
BAIANO**

5 Artigo II- MÉTRICAS DA ESTRUTURA DA PAISAGEM: ANÁLISE DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA DAS TERRAS DE UMA ÁREA DE CAATINGA NO SEMIÁRIDO BAIANO

Resumo: Nas regiões semiáridas do nordeste do Brasil, o sistema agropecuário apresenta-se como um dos fatores que exerce maior pressão sobre a cobertura vegetal nativa. Diante desta problemática, este artigo teve por objetivo descrever e quantificar as mudanças dos padrões espaciais na região semiárida do Nordeste por meio das métricas estruturais da paisagem, tendo como limite a carta Jacobina (SC.24-YC), a partir de séries multitemporais de mapas de uso e cobertura do período de 2000 a 2016 classificado por meio do *Random Forest*. Para isto, foi usado como metodologia as métricas da paisagem para quantificação dos padrões estruturais da paisagem. Os resultados revelados demonstrou que a área total das classes apresentaram pouca mudança ao longo dos anos, mas isto não indica afirmar que não está havendo variações nos padrões de uso e cobertura das terras nesta área, podendo ser percebido variações em termo de estrutura e uma forte pressão sobre a vegetação, os dados ainda revelaram uma grande variação do tamanho médio dos fragmentos, com predominância e maior número de manchas da classe agropecuária na paisagem, indicando assim forte antropização nesta área.

Palavras-Chave: análise da paisagem; métricas; semiárido.

Abstract: In the semi-arid regions of northeastern Brazil, the agricultural system is one of the factors that exerts greater pressure on native vegetation cover. In view of this problem, this article aimed to describe and quantify the changes in spatial patterns in the semiarid region of the Northeast through the structural metrics of the landscape, having as limit the Jacobina chart (SC.24-YC), from multitemporal series of maps of use and coverage of the period from 2000 to 2016 classified through forest random. For this, landscape metrics were used as methodology to quantify the structural patterns of the landscape. The results revealed showed that the total area of the classes showed little change over the years, but this does not indicate that there are no variations in the patterns of land use and coverage in this area, and variations in structure term and a strong pressure on vegetation can be perceived, the data also revealed a large variation in the average size of the fragments, with predominance and greater number of spots of the agricultural class in the landscape, thus indicating strong anthropization in this area.

Keywords: landscape analysis; metrics; semiarid.

1 Introdução

O desenvolvimento econômico e social juntamente com as ações antrópicas, geram grandes transformações na paisagem ao longo do tempo, ocasionando um intenso processo de substituição das áreas naturais por diversos tipos de uso, como agropecuário, urbano, implantação de infraestrutura entre outros, afetando diretamente e comprometendo os recursos naturais e os processos ecossistêmicos (COELHO, 2014; SIQUEIRA, 2013).

Com o avanço do Agronegócio observa-se que em diferentes regiões do planeta existe uma tendência de que com o passar do tempo mais áreas naturais sejam convertidas em áreas de agricultura e pecuária, dando lugar a uma paisagem fragmentada (SIQUEIRA, 2013).

Não diferente do que ocorre em outros lugares da terra, nas regiões semiáridas do nordeste do Brasil o sistema agropecuário apresenta-se como fator que exerce maior pressão sobre a cobertura vegetal nativa, podendo vir a causar diversos impactos ambientais negativos, como por exemplo, a desertificação e o comprometimento das espécies (ANDRADE *et al*, 2005).

As alterações na cobertura vegetal do semiárido se deu inicialmente como consequência da pecuária bovina associada às atividades agrícolas rudimentares praticadas no processo de colonização do Brasil. Ao longo do tempo outras formas de uso da terra foram sendo adotadas modificando ainda mais a paisagem e suprimindo a cobertura vegetal nativa (LOBÃO, 2012; NEVES, 2009; ANDRADE *et al*, 2005).

Desta forma, a avaliação da paisagem por meio de informações multitemporais provenientes de imagens orbitais se faz imprescindível, principalmente para diagnosticar os problemas atuais e para orientar o planejamento e manejo sustentável dos recursos naturais.

Uma das formas de analisar a paisagem é por meio do uso das chamadas métricas da paisagem (*landscape metrics*) ou índices da paisagem (MTZEGGER, 2003). O uso destes descritores é de grande aplicação no estudo da paisagem, possibilitando avaliar e descrever as principais mudanças na estrutura da paisagem e suas implicações (CASIMIRO, 2009; PIROVANI 2012; VOLOTÃO, 1998).

Estas análises podem ser realizadas levando em conta a composição e/ou configuração espacial. A composição remete a noção quantitativa do que existe na

paisagem, descreve a qualidade e a quantidade dos elementos, mas não sua localização e posição. A configuração, descreve principalmente a distribuição dos fragmentos, ou seja, a organização espacial (MACHADO, 2012; CASIMIRO, 2009; MTZGER, 2003).

Para representar e descrever estes aspectos da paisagem uma série de métricas com base nos princípios da Ecologia da Paisagem têm sido utilizadas (MTZGER, 2003; PEREIRA, 2001), principalmente com o advento das técnicas de Sensoriamento Remoto e do Sistema de Informações Geográficas, aliada a ampla disponibilidade de imagens *Landsat* disponíveis gratuitamente.

Isto contribuiu para que muitos pesquisadores passassem a integrar em suas análises as métricas da paisagem para avaliar as mudanças da cobertura e uso das terras nos diversos ambientes (LIU e YANG, 2015; Y. PENG *et al*, 2015; PEREIRA *et al*, 2001).

A Caatinga é o único Bioma exclusivamente brasileiro, o que o faz único no mundo. Entretanto vem sendo muito devastado desde o processo de ocupação das suas terras no período colonial que ocorreu a partir da expansão pastoril (NEVES, 2009).

É o terceiro mais degradado depois da Mata atlântica e do Cerrado, aproximadamente 45% de sua área já foi desmatada para dar lugar a outros usos e para suprir as necessidades da sociedade (MMA, 2010; EMBRAPA, 2007), é também um dos mais negligenciados e ameaçados devido ao uso inadequado da terra e dos recursos naturais (CASTELLETTI *et al.*, 2004).

Alguns trabalhos sobre a estrutura da paisagem no contexto do Bioma Caatinga já foram realizados (FERNANDES *et al*, 2017; COELHO *et al*, 2014; ROCHA, 2011), porém na maioria deles as análises e quantificação da paisagem são feitas utilizando apenas imagem intra anual. Isto implica em falta de informações consistentes sobre a dinâmica e os padrões de uso e cobertura da terra neste ambiente.

Diante disto, neste estudo optou-se por trabalhar com series temporais, visando compreender melhor a dinâmica espaço temporal de uso e cobertura das terras no ambiente semiárido. A unidade espacial escolhida foi uma área do Bioma Caatinga que inclui também outras espécies vegetacionais do Bioma Cerrado e Mata Atlântica determinada pelas chuvas orográficas. A principal atividade econômica é a agropecuária desenvolvida principalmente na Bacia hidrográfica do Irecê, desde os

anos de 1960 a partir dos projetos Federais de Desenvolvimento Nacional que identificaram na região um potencial de produção do consórcio feijão, milho e mamona. Na década de 80 recebeu o título de “Capital Mundial do Feijão” por sua grande produção, atualmente tem se destacado como das principais produtoras de hortaliças do semiárido baiano.

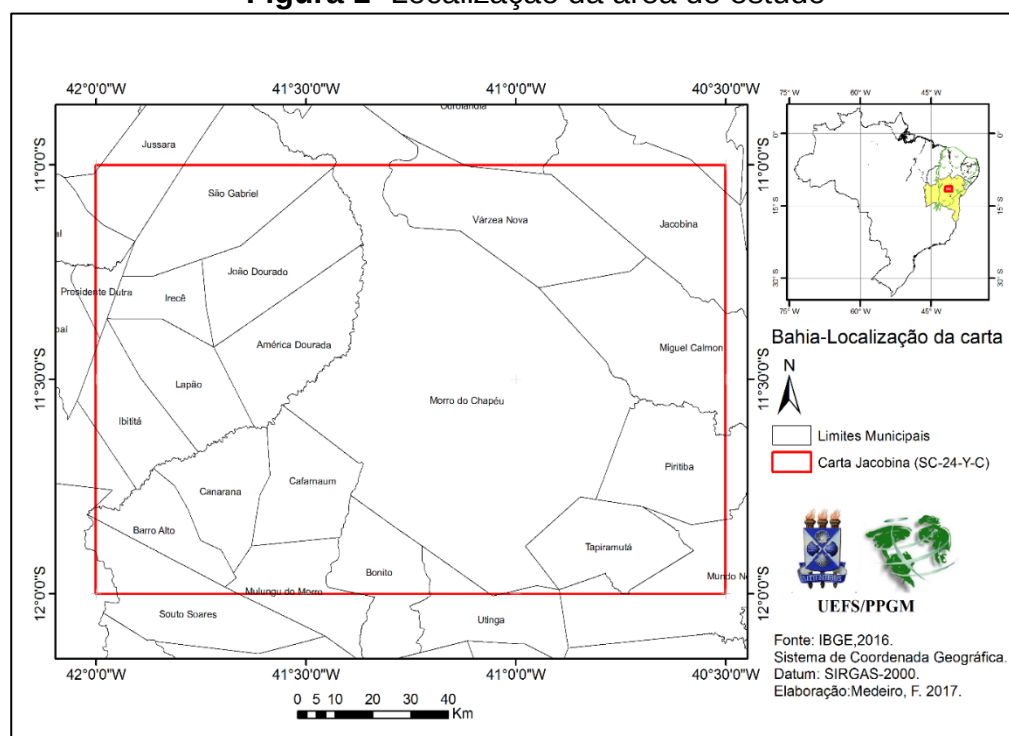
Portanto, considerando as modificações dos padrões estruturais das paisagens provenientes do processo de uso da terra ao longo do tempo o presente estudo tem por objetivo descrever e quantificar as mudanças dos padrões espaciais na região semiárida do Nordeste por meio das métricas estruturais da paisagem, tendo como limite a carta Jacobina (SC.24-YC), a partir de séries multitemporais de mapas de uso e cobertura do período de 2000 a 2016 classificados por Medeiro (2018).

2 Material e método

2.1 Área de estudo

A unidade de estudo selecionada é a carta Jacobina (Figura 1). Em síntese é bastante heterogênea, controlada por uma combinação de diferentes elementos como clima, geologia, solo e geomorfologia, que proporcionaram a formação de uma paisagem singular e a ocorrência de espécies endêmicas.

Figura 1- Localização da área de estudo



É uma área endêmica do Bioma Caatinga, porém contempla fitofisionomias dos Biomas Cerrado e Mata Atlântica, portanto uma área de tensão ecológica e grande importância biológica. As principais atividades econômicas desenvolvidas na área são a agricultura e a pecuária.

Nos diferentes municípios que compõem a carta desenvolvem os cultivos de milho, mandioca, tomate, especialmente na bacia do Irecê, que foi por muito tempo conhecida como maior produtora de feijão da Bahia (SAMPAIO *et al*, 2001).

A extração mineral ainda é uma atividade de grande importância devido a presença de minas de ouro em atividade na serra de Jacobina e os garimpos de diamante na região de Morro do Chapéu. Vale citar também as mineralizações de fosfato na bacia de Irecê, com perspectiva de exploração a curto prazo e os garimpos de barita. Também contribuem para a economia destas áreas as indústrias de cerâmica, de corretivo de solo e a produção de materiais de construção nos municípios de Morro do Chapéu, Piritiba, Largo etc. (SAMPAIO *et al*, 2001). O carvão vegetal é obtido em larga escala, sem levar em consideração as preocupações ambientais e o desenvolvimento de projetos de reflorestamento (SAMPAIO *et al*, 2001).

2.2 Procedimentos metodológicos

Os mapas usados para geração das métricas são resultados da classificação do uso e cobertura das terras da carta SC-24-Y-C na série multitemporal 2000 a 2016 realizado por Medeiro (2018), disponível no artigo “Processamento de séries multitemporais de imagens para mapeamento da cobertura e uso das terras em área complexa do Bioma Caatinga”.

A classificação foi realizada na plataforma de processamento de imagens em nuvem denominada *Google Earth Engine* que possibilita processar grande quantidade de imagens e em um tempo curto comparado aos métodos tradicionais de Processamento Digital de Imagens -PDI.

O método de classificação escolhido para separar as classes: Formações Florestais, Formações Savânicas, Vegetação Campestre, Agropecuária e outros usos e Corpos d'água foi *Random Forest* após identificar que este classificador se demonstrou mais consistente que o *Supporte Vector Machine* para separar estes elementos (MEDEIRO, 2018).

Para quantificação dos padrões espaciais da paisagem ano a ano para toda a série 2000-2016 utilizamos o software FRAGSTATS versão 4.0 McGarigal (2012). As métricas utilizadas foram: as métricas de área (CA); porcentagem da paisagem correspondente a cada classe (PLAND); índice de maior mancha (LPI); número de manchas (NP); e tamanho médio do fragmento (AREA_MN).

Estas métricas foram selecionadas por possibilitarem quantificar as mudanças na estrutura da paisagem. As métricas aplicadas nesta pesquisa e sua respectiva descrição e importância de acordo com McGarigal (2012) estão representadas no Quadro 1.

Quadro 1- Métricas aplicadas para quantificar a dinâmica da cobertura vegetal da carta Jacobina

SIGLA	Métrica	Descrição	Equação	Significado
CA	Área	CA é igual a área de todos os fragmentos da classe em hectares	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10,000} \right)$	Os valores indica a área de cada classe
PLAND	Porcentagem da paisagem	PLAND é igual Porcentagem de fragmentos da mesma classe na paisagem	$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$	Os valores indica a proporção de cada classe na paisagem
LPI	Índice de maior mancha	LPI é igual a porcentagem que maior fragmento da classe ocupa na paisagem	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$	Maior valor Indica qual classe predomina na paisagem
NP	Número de <i>patches</i>	NP é igual ao número de <i>patches</i> correspondente a cada classe	$NP = n_i$	Maior valor indica maior fragmentação da paisagem.
AREA_MN	Tamanho médio dos fragmentos	AREA_MN é igual a média das áreas dos fragmentos de uma determinada classe	$AM = \sum_{j=1}^n \left[x_{ij} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$	Fornece o tamanho médio do patch da área da classe.

Fonte: McGarigal (2012). Organizado por Medeiro, 2018.

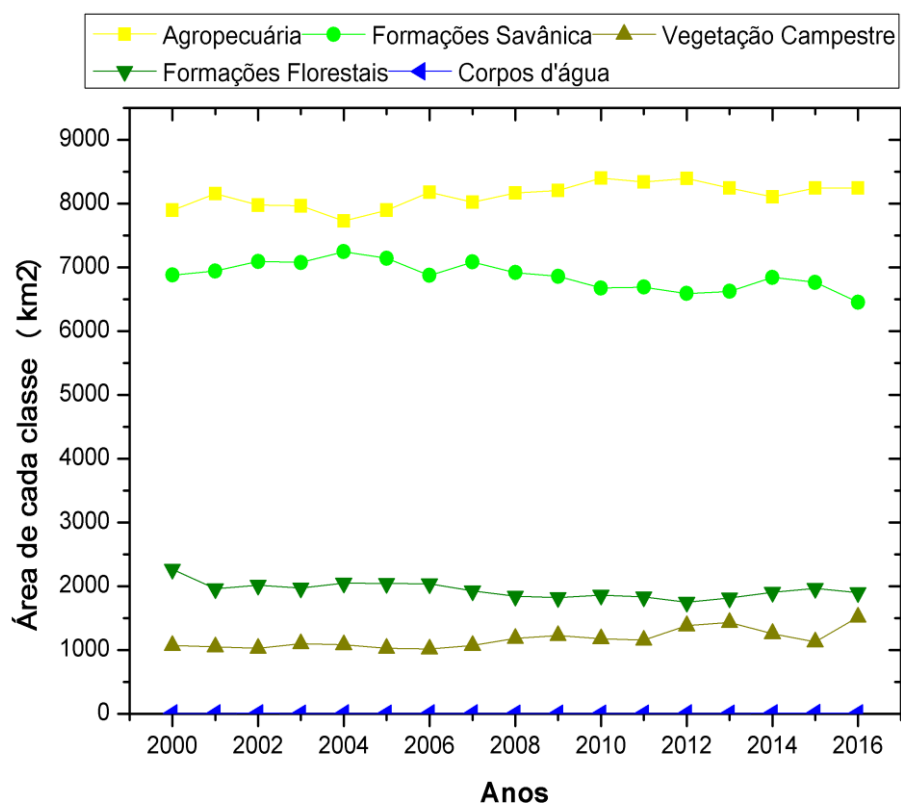
3 Resultados e discussões

A partir dos padrões de quantificação espacial a classe que apresentou maior área é a Agropecuária seguida das classes Formações Savânicas, Formações Florestais, Vegetação Campestre e Corpos d'água (Gráfico 1).

A Classe Corpos d'água manteve sua área constante para todos os anos observados. Semelhantemente as classes Formações Florestais e Vegetação Campestre. Porém, a Formação Florestal apresentou uma tendência bem sucinta de perda de área, enquanto que a Vegetação Campestre aumentou um pouco sua área a partir de 2011 até 2013, no ano posterior decresceu e retornou aumentar em 2016.

As classes que apresentaram maior variação de área ao longo da série temporal foram a Agropecuária e Savana, demonstrando uma dinâmica de transição entres as classes representada pelo aumento/diminuição da classe Savana de acordo com a dinâmica da Agropecuária, contudo nos últimos dois anos observou-se que há um decréscimo da classe Savana.

Gráfico 1- Área das classes de uso e cobertura da terra em Km²

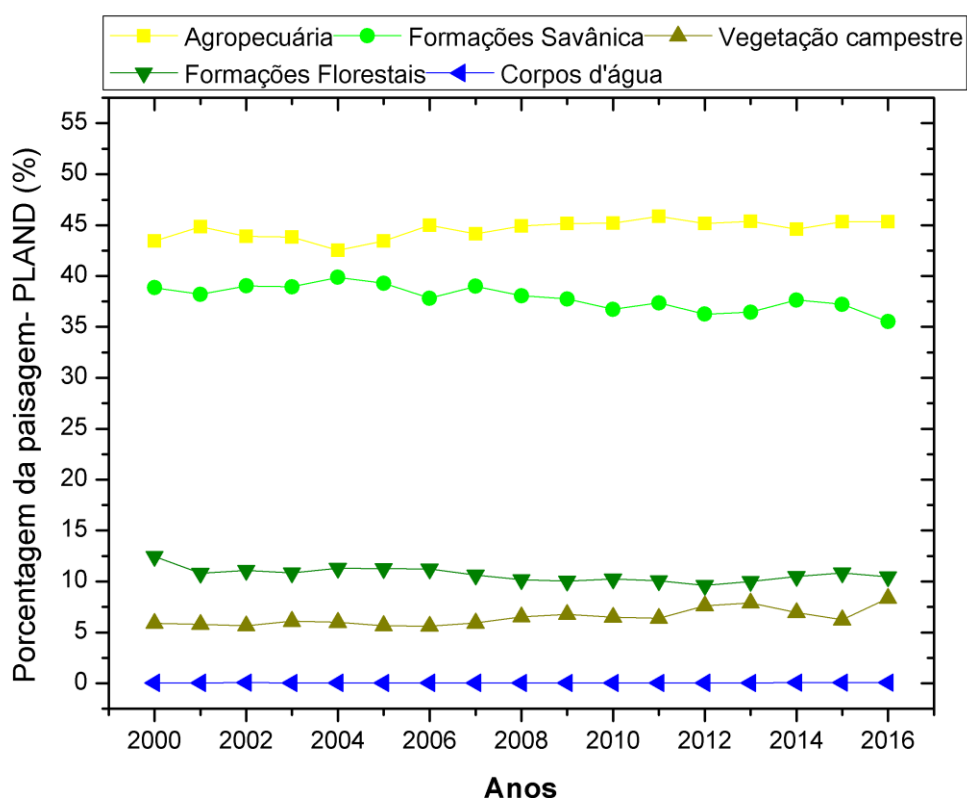


A Agropecuária além de ocupar a maior área é também a classe que predomina na paisagem, ocupa 44, 7% $\pm$ 1,03 média desvio padrão e a Formações Savana 37,8% $\pm$ 1,17 média desvio padrão (Gráfico 2).

Enquanto que as formações vegetais representadas pelas classes Formações Florestais, Vegetação Campestre e a classe Corpos d'água ocupam as menores proporções da paisagem.

Esta maior proporção da classe Agropecuária indica uma mudança na estrutura que compõe a paisagem passando de uma matriz natural para antrópica.

Gráfico 2- Comportamento da métrica Percentual da paisagem correspondente a cada classe – PLAND%

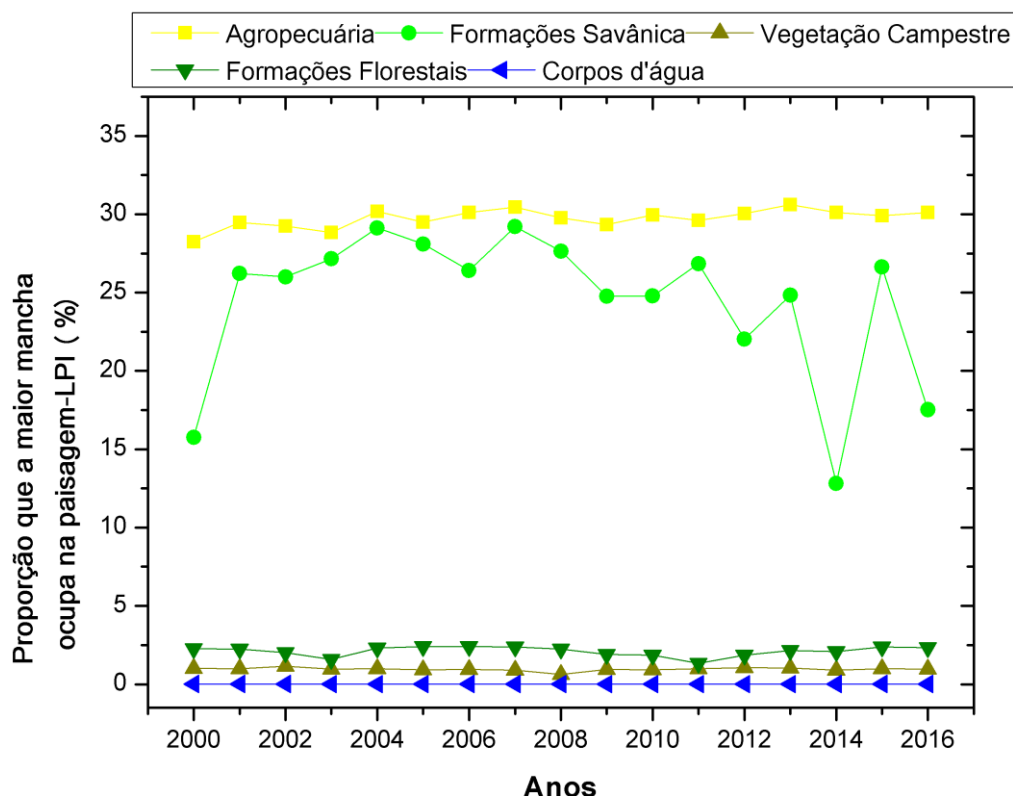


Este padrão de dominância também se repete no que diz respeito a proporção que a maior mancha ocupa na paisagem (Gráfico 3). O percentual de maior mancha foi observado para a classe Agropecuária e se manteve-se constante ao longo de toda serie temporal.

Esta constância também foi observada para as classes Formações Florestais, Vegetação Campos e Corpos d'água e as maiores manchas destas classes ao ano também apresentaram as menores proporções na paisagem.

A maior mancha da classe Formações Savanas, tendeu a variar ao longo do tempo e do espaço. Em 2000, 2014 e 2016 a maior mancha ocupou aproximadamente 15%, 12% e 17% da paisagem, enquanto que para os outros anos mais de 20%. Esta variação indica que mesmo não apresentando mudança perceptível em termos de área, houve algum tipo de conversão desta classe.

Gráfico 3- Comportamento da métrica de proporção que a maior mancha ocupa na paisagem- LPI



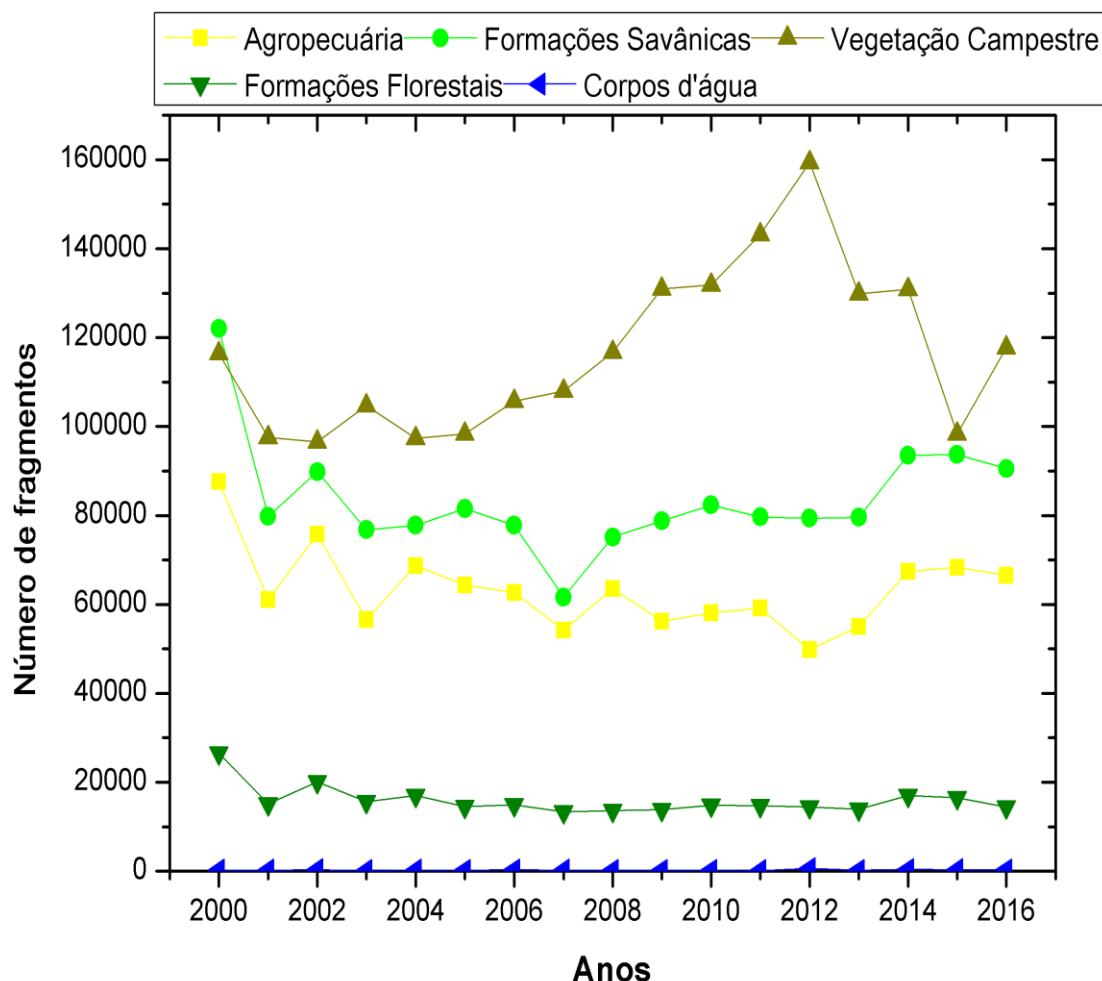
Em relação ao número de fragmentos (Gráfico 4) observa-se que a classe Vegetação Campestre embora tenha apresentado-se estável em termos de área, apresentou maior número de fragmentos e bastante flutuação entre os anos. Em 2012 apresentou o maior pico de NP, este ano em especial foi registrado um longo período de seca, o que pode ter implicado uma maior predominância do número de fragmentos desta classe.

A classe Formações Savânicas apresentou também elevado número de fragmentos seguida da Agropecuária e comportamento semelhante a Vegetação Campestre. Observou-se que quando a Savana e a Agropecuária diminuem o número

de fragmentos, aumenta o da Classe Vegetação Campestre. Isto provavelmente possa indicar que está havendo regeneração desta vegetação.

Para a classes Corpos d'água não foi observada variação de número de fragmentos. As Formações Florestais, também se manteve praticamente estável ao longo da série, apenas em 2001 houve um menor número. Isso pode ser justificado em parte pela existência das Unidades de Conservação como o Monumento cachoeira do Ferro Doido e Parque Estadual das Sete Passagens presentes na carta Jacobina.

Gráfico 4- Comportamento da métrica de Número de fragmentos por classe – NP



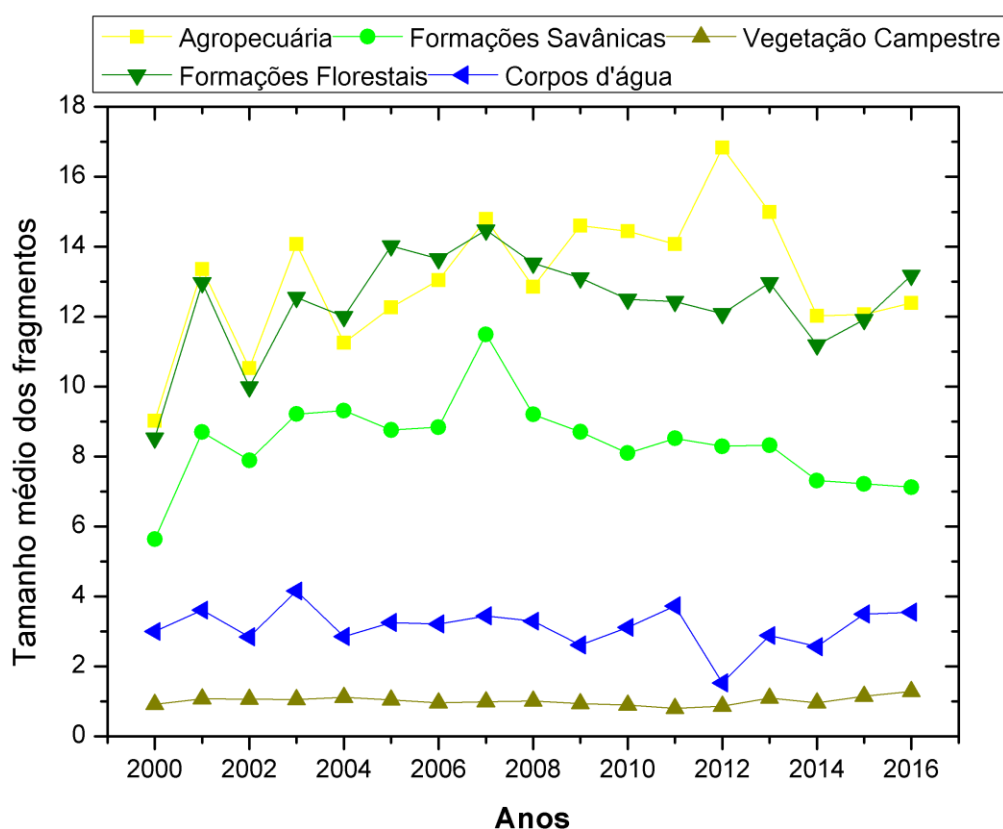
Embora a Vegetação Campestre tenha apresentado bastante variação do número de fragmentos, a área média do tamanho dos fragmentos para os anos

observados manteve-se estável em comparação as outras classes que variaram bastante ao longo da série temporal (Gráfico 5).

A Agropecuária apresentou as maiores áreas médias dos fragmentos em toda a série temporal, com exceção para os anos de 2004 a 2008, quando foi observado que a maior área média foi representada pela classe Formações Florestais.

Pode-se observar também que o tamanho médio dos fragmentos das Formações Savânicas variou seguindo a dinâmica de uso da terra representada pela Agropecuária.

Gráfico 5- Comportamento da métrica do tamanho médio dos fragmentos-
AREA_MN



Esta predominância da Agropecuária nesta área pode ser explicada pelos investimentos Estaduais recebidos nos anos de 1950, o que contribuiu para a implantação de programas governamentais que resultaram no aumento da mecanização e na introdução de novas técnicas agrícolas na região do Irecê. Nos últimos anos muitas empresas se instalaram na região para a exploração do fosfato e

outros minérios, da mamona e do peão manso para a produção de agrocombustíveis (SANTOS, 2008).

Situação semelhante foi observado por Fernandes *et al.* (2017) na região semiárida de Sergipe. A área total indicou uma progressiva diminuição da classe floresta representada pela espécie caatinga para os anos de 1992 a 2003 em 35383,0 ha, de 2003 a 2013 em 120.784,0 ha, a maior parte da cobertura vegetal nativa foi convertida para uso de atividades agropecuárias.

Este avanço da agropecuária se reflete para todo o Bioma, que vem sofrendo um desmatamento gradativo devido à extração ilegal de madeira e conversão para pecuária e agricultura (CASTELLETTI *et al.*, 2004). Segundo Pereira *et al.* (2001) a conversão de áreas de floresta em áreas de uso agropecuário causa impacto sobre o meio ambiente, como diminuição da biodiversidade, mudanças no balanço do CO₂ e demais gases de efeito estufa, ruptura no regime hidrológico, entre outros.

4 Considerações finais

- A área total das classes de uso e cobertura da terra da carta Jacobina apresentou pouca mudança e pouca variação ao longo dos anos. Contudo não indica afirmar que não estar havendo mudanças nos padrões de uso e cobertura das terras.
- Os resultados encontrados indicaram uma predominância da classe Agropecuária na paisagem. Isto contribui para simplificar o ambiente, tonando a cobertura da terra mais homogênea, podendo futuramente ocasionar efeitos negativos sobre a diversidade de espécies vegetal e animal além de causar impactos no clima local.
- Observou-se também que as maiores manchas na paisagem foram de Agropecuária, o que indica forte antropização. E a segunda maior mancha foi da Formações Savânicas, mas com forte oscilação em seu tamanho, indicando possivelmente transições entre estas duas classes
- O tamanho médio dos fragmentos variou bastante ao longo do período analisado. Isso indica uma forte oscilação de alternância entre as classes com exceção para a Vegetação Campestre.

Recomenda-se analisar padrões de conectividade estrutural e funcional nessas paisagens com o intuito de avaliar como os processos de perda de hábitat e fragmentação tem alterado o grau de isolamento entra as manchas de hábitat natural.

Referências

ANDRADE, L. A. de *et al.* **ANÁLISE DA COBERTURA DE DUAS FITOFISIONOMIAS DE CAATINGA, COM DIFERENTES HISTÓRICOS DE USO, NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO CARIRI, ESTADO DA PARAÍBA.** Cerne, Lavras, v. 11, n. 3, p. 253-262, jul./set. 2005.

CASIMIRO, P. C. **Estrutura, composição e configuração da Paisagem, Conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da Ecologia da Paisagem.** Estudos Regionais, Revista Portuguesa de Estudos Regionais, Revista da APDR, Nº 20, Coimbra. pg. 75-97, 2009

CASTELLETI, C.H.M. et al. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J.M.C. et al. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.** P.91-100. MMA, Brasília, 2004.

COELHO, V. H. R. et al.,. **Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.18, n.1, p.64-72, 2014.

EMBRAPA. **Preservação e uso da caatinga.** Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Semiárido. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

FERNANDES, M. et al. **Ecologia da Paisagem de uma Bacia Hidrográfica dos Tabuleiros Costeiros do Brasil.** Floresta e Ambiente, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/floram/v24/2179-8087-floram-2179-8087025015.pdf>> Acesso em: 02 de abril de 2018.

FERNANDES, M.R.M et al. **Análise temporal da fragmentação florestal na região semiárida de Sergipe.** Nativa, Sinop, v.5, n.6, p.421-427, nov./dez. 2017. Disponível em:<<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/viewFile/4665/pdf>> Acesso em 02 de abril de 2018.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG.** Tradução Hermann Kux. São Paulo: Oficina das Letras, 2009.

LIU, T., YANG, X. **Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics.** <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.10.002> / Applied Geography nº56, p.42 -54, 2015.

LOBÃO, J. S. B. SILVA, B. M.N. A configuração histórica e natural da região semiárida da Bahia. In.: **Análise socioambiental da região semiárida da Bahia: geoprocessamento como subsídio ao ordenamento territorial.** Feira de Santana: UEFS Editora, p.97-135, 2012.

MACHADO, R.D.P. **Proposta metodológica para avaliação de impactos na paisagem.** Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa. Dissertação de mestrado. Novembro de 2012.

MEDEIRO, F.S.L. **Processamento de séries multitemporais de imagens para mapeamento da cobertura e uso das terras em área complexa do bioma caatinga.** In.: MEDEIRO, F.S.L. Classificação do uso e cobertura das terras e quantificação dos padrões espaciais de áreas de caatinga em séries multitemporais. Dissertação (Mestrado em Ciências da Terra e do Ambiente) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2018.

METZGER, J. P. **O que é ecologia de paisagem?** Campinas. Biota Neotropica, v.1, n1/2, p.9, dez. 2001.

METZGER, J.P. **Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas.** P. 423-453. In: L. Cullen Jr.; R. Rudran & C. Valladares-Padua (orgs.). Métodos de estudo em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Editora UFPR e Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, Curitiba. 2003.

MCGARIGAI, K., SA CUSHMAN e E ENE. 2012. FRAGSTATS v4: **Programa de Análise de Padrões Espaciais para Mapas Categóricos e Contínuos.** Programa de software produzido pelos autores da Universidade de Massachusetts, Amherst. Disponível em: <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>> Acesso em 10 de maio de 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Monitoramento dos Biomas Brasileiros. Bioma Caatinga.** Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso: 30 de outubro de 2016

NEVES. E. F. **Curraleiro, crioulo, peduro: a pecuária com fator da formação socioeconômica do semiárido.** Revista do Instituto Geográfico e Histórico da Bahia, v. 104, p. 11-58, (2009). Disponível em:< <http://www.ighb.org.br/publicaes> > Acesso em: 14 de março de 2017.

NEVES et al. **Análise da fragmentação de Cerrado na bacia hidrográfica do rio Aguapeí, Porto Esperidião (MT): um estudo de caso a partir das geotecnologias e métricas da paisagem.** Ateliê Geográfico - Goiânia-GO, v. 8, n. 2, p.130-149,2014.

PEREIRA, J. L. G. et al., **MÉTRICAS DA PAISAGEM NA CARACTERIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO DA AMAZÔNIA*.** GEOGRAFIA, Rio Claro, Vol. 26(1): p.59-90, abril 2001.

PIROVANI, D.B. et al. **USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL COM BASE EM PRINCÍPIOS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM.** In. SANTOS et al., Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais. 2012. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/livros/geotecnologias%20aplicadas%20aos%20recursos%20florestais.pdf>>Acesso em: 14 de nov. de 2016.

ROCHA, JANCERLAN; DA PENHA PACHÊCO, ADMILSON. **MODELAGEM DE CONHECIMENTO E MÉTRICAS DE PAISAGEM PARA IDENTIFICAR E ANALISAR PADRÕES ESPACIAIS EM AMBIENTE DE CAATINGA.** 2011. Dissertação

(Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SAMPAIO, A. R, (org). *et al.* **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Jacobina – Folha SC.24-Y-C, Estado da Bahia. Escala 1:250.000.** Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001.

SANTOS, C. A. P.; SANO, E. E.; SANTOS, P. S. **FRONTEIRA AGRÍCOLA E A ANÁLISE DA ESTRUTURA DA PAISAGEM NA BACIA DO RIO PRETO– OESTE DA BAHIA.** R. Ra'e Ga – Curitiba, v. 36, p.179 – 207, Abr/2016.

SANTOS, C.F.; FILHO, J. N.; SOUSA, G.B.G. **O SEMI-ÁRIDO BAIANO E O AGRONEGÓCIO DOS “BIOCOMBUSTÍVEIS”: PROBLEMATIZANDO A REGIÃO DE IRECÊ-BA (PRIMEIRAS APROXIMAÇÕES).** Revista Pegada – vol. 9 n.2. Dez.-2008.

SIQUEIRA, M. N. *et al.*,. **GEOGRAFIA E ECOLOGIA DA PAISAGEM: PONTOS PARA DISCUSSÃO.** Soc. & Nat., Uberlândia, nº25, p.557-566,dez./2013.

VOLOTÃO, C.F.S. **Trabalho de análise espacial: métricas do Fragstats.** São José dos Campos: INPE, 45 p. 1998.

Y. Peng *et al.* **Identification of the main factors determining landscape metrics in semi-arid agropastoral ecotone.**
Doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.08.009>. / Journal of Arid Environments 124, p.249 e 256, 2016.

6 Considerações gerais

A classificação realizada na plataforma *Google Earth Engine* tornou mais ágil e eficiente as etapas de PDI e classificação, apresentando um grande potencial para ser utilizado como forma de monitoramento em diversas áreas, principalmente por facilitar o acesso a rotinas semi automatizadas, capacidade de armazenamento de grande volume de dados em nuvem e diminuição de custos com softwares e tempo de processamento.

A inovação trazida por esta nova forma de processar imagens se compõe em um importante avanço para a ciência e de grande utilidade para pesquisadores que trabalham com Sensoriamento Remoto, devido a possibilidade de usar múltiplos classificadores ao mesmo tempo e a vantagem de processar grande volume de imagens orbitais de forma rápida e automatizada, constituindo-se, portanto, em um novo paradigma para análise de dados orbitais e uma tendência para processamento de dados de Sensoriamento Remoto, possibilitando a geração de produtos multiuso.

A comparação dos classificadores RF e SVM para o mapeamento de uma área complexa do Bioma caatinga demonstrou que o RF apresentou um melhor desempenho para separar as classes de uso e cobertura da terra.

A quantificação da estrutura da paisagem por meio das métricas foi fundamental, por possibilitar uma melhor análise da dinâmica do uso e cobertura da terra no semiárido baiano. Os resultados apresentados demonstraram que embora a cobertura vegetal tenha se mantido praticamente estável ao longo dos anos, isto não significa que não houve mudança de área, mas sim que há uma modificação pouco perceptível para esta escala. As variações mais perceptíveis foram observadas em termos da estrutura como o número de mancha e proporção que a maior mancha ocupa na paisagem e ocorreram em classes importantes como Agropecuária, Formações Savânicas e Vegetação Campestre.

Espera se que os resultados gerados nesta pesquisa sirvam a favor de desenvolvimento de políticas públicas de planejamento ambiental para toda a Caatinga. Bem como que a espacialização e quantificação da cobertura das terras nesta área tenham valor de uso para a sociedade, como a possibilitar tomadas de decisões que atuem de a orientar o planejamento do uso da terra, visando a preservação das espécies. Pois sabe -se que o desmatamento pode vir a causar

impactos irreversíveis, como desertificação, aumento dos gases estufas, extinção das espécies e outros problemas ambientais.