



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIA HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE



ALDENICE CORREIA DA SILVA

**ESTIMATIVA DE SEQUESTRO DE CARBONO NO BIOMA CAATINGA: ESTUDO
DO BALANÇO DE CARBONO SOB A INFLUÊNCIA DA ALTITUDE**

Recife

2018

ALDENICE CORREIA DA SILVA

**ESTIMATIVA DE SEQUESTRO DE CARBONO NO BIOMA CAATINGA: ESTUDO
DO BALANÇO DE CARBONO SOB A INFLUÊNCIA DA ALTITUDE**

Dissertação submetida para defesa ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de concentração: Gestão de Políticas Ambientais

Linha de Pesquisa: Gestão e Tecnologia Ambiental

Orientadora: Josicleda Domiciano Galvínio

Coorientadora: Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Maria Janeide Pereira da Silva, CRB4-1262

S586e Silva, Aldenice Correia da.
Estimativa de sequestro de carbono no bioma caatinga : estudo do balanço de carbono sob a influência da altitude / Aldenice Correia da Silva. – 2018.
88 f. : il. ; 30 cm.

Orientador : Prof^ª. Dr^ª. Josicleda Domiciano Galvêncio.
Coorientador : Prof^ª. Dr^ª. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2018.
Inclui referências e anexos.

1. Meio Ambiente. 2. Bioclimatologia. 3. Relevo (Geografia). 4. Sensoriamento remoto. 5. Produtividade primária (Biologia). I. Galvêncio, Josicleda Domiciano (Orientador). II. Pimentel, Rejane Magalhães de Mendonça (Coorientador). III. Título.

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2018-213)

ALDENICE CORREIA DA SILVA

**ESTIMATIVA DE SEQUESTRO DE CARBONO NO BIOMA CAATINGA: ESTUDO
DO BALANÇO DE CARBONO SOB A INFLUÊNCIA DA ALTITUDE**

Dissertação submetida para defesa ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: 18/05/2018

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvínio (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Profa. Dra. Valéria Sandra de Oliveira Costa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Lucivânio Jatobá de Oliveira (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Dr. Rodrigo de Queiroga Miranda (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Dedico a você que esteve sempre ao meu lado,
Enfrentando e superando todas as adversidades,
E comemorando todas as conquistas.
Minha filha amada

“Melissa”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que foi minha fortaleza e amparo nas horas de dificuldades que enfrentei nessa trajetória.

A minha filha que esteve presente em todos os momentos de angustias, ansiedade e alegrias vividas no decorrer destes anos, perseverando e me apoiando sempre.

A meus familiares, que me deram forças nos momentos mais críticos dessa jornada.

A Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, que através de incentivos financeiros, contribuiu para minha formação acadêmica.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do estado de Pernambuco-FACEPE, pela concessão de bolsa de mestrado, que me permitiu concluir a pesquisa.

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento-SERGEO, pela infraestrutura que permite aprimorar nossos conhecimentos.

A minha orientadora professora Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio, por me servir de inspiração como modelo profissional, ter me dado oportunidade de adquirir os conhecimentos necessários para meu crescimento acadêmico e pessoal, pela disponibilidade em momentos de dúvidas no processo de estruturação do trabalho e pela confiança em mim depositada, imensa gratidão.

A coorientação da professora Dra. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel, ao Dr. Rodrigo de Queiroga Miranda e do doutorando Ygor Brito de Moraes, por contribuírem com minha aprendizagem.

Aos professores da Pós-Graduação de Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA, que possibilitaram a ampliação de meu aprendizado nas diversas áreas de conhecimento por eles ministradas.

Aos meus secretários favoritos, Solange de Paula Lima e Tarcísio José, que estiveram sempre, a me dar apoio acadêmico e pessoal, minha eterna gratidão.

Aos amigos que compartilharam dessa jornada, me dando força nos momentos difíceis, Rodrigo Miranda, Joelia Natalia, Janaína Vital, Luana Oliveira, Antônio Elton, Estevão Lucas agradeço imensamente tê-los conhecido.

E a todos os colegas que tive a oportunidade de conhecer nessa trajetória, em sala de aula, no laboratório SERGEO, nos corredores da academia, enfim,

Meu muitíssimo obrigado a todos.

“Sábio, é quem está aberto ao conhecimento
sabe que é errando que se aprende perseverando
que se concretizam os sonhos, o importante é acreditar”
(CORREIA, Aldenice, 2018).

“Quem acredita sempre alcança”
Mais uma vez – (RUSSO, Renato, 1986).

RESUMO

As variações climáticas estão elevando os índices de emissões de dióxido de carbono na atmosfera desde o período industrial, decorrentes principalmente de atividades antrópicas. Com intuito de reduzir as emissões na atmosfera, pesquisas direcionadas ao sequestro de carbono tem se intensificado globalmente. Nesse sentido o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da altitude no sequestro de carbono no Bioma Caatinga, no perímetro da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre do Tatu-Bola - PE. Aplicando técnicas de sensoriamento remoto, utilizando imagens referentes aos anos de 2015 e 2016 obtidas através do sensor MODIS do satélite Terra, empregando o produto indicado a análises de vegetação, o MOD17. Estimada a produção primária bruta (GPP) e balanço do carbono, observou variações distintas em relação às altitudes de acordo com as feições do relevo da área. Para análise dos dados foram aplicadas estatísticas descritivas, multivariadas utilizando o método de Ward. A quantificação da GPP nas áreas de maiores altitudes apresentaram médias de 46,87 e 55,84 g C/m⁻², em 2015 e 2016 respectivamente e menores de 2,49 e 3,75g C/m⁻². Nas áreas planas as maiores médias observadas foram de 46,03 e 55,84 g C/m⁻² em 2015 e 2016 e menores de 3,75 e 2,49 g C/m⁻². O balanço de carbono obteve maior volume de carbono sequestrado em 2016, com evidências de maior sequestro para as áreas de altitudes mais elevadas. Os resultados das análises estatísticas mostraram haver uma forte correlação nas áreas de maiores altitudes com $r = 0,97$ e nas áreas planas com $r = 0,91$, e o menor valor de $r = 0,62$, igual nas duas áreas analisadas, também correspondendo a uma forte correlação, com nível de confiança de 99%. Em relação às análises de cluster houve agrupamento de quatro grupos com características similares nas áreas de maiores altitudes e cinco grupos nas áreas planas, evidenciando haver diferenças na variação da GPP diante as altitudes. Nas análises de dissimilação que relacionou a GPP com índice pluviométrico e temperatura, as variações nos agrupamentos mostraram padrões e gradientes distintos de acordo às estações, chuvosas ou secas, durante todo período estudado. Comparando os resultados das análises no que se refere à variação espaço-temporal da GPP, nas altitudes analisadas, podemos afirmar que entre as duas áreas, os maiores valores de GPP, foram identificados nas áreas de maiores altitudes. Fundamentando a influência da altitude em relação às variações no sequestro de carbono e eficácia do produto MOD17 do sensor MODIS na compreensão da dinâmica espacial do sequestro de carbono no bioma Caatinga.

Palavras-Chaves: Relevo. Sensoriamento Remoto. Produção Primária Bruta. Sensor MODIS.

ABSTRACT

Climatic variations are raising the carbon dioxide emission levels in the atmosphere since the industrial period, mainly due to anthropogenic activities. In order to reduce emissions in the atmosphere, research on carbon sequestration has intensified globally. In this sense, the objective of this study was to evaluate the influence of altitude on carbon sequestration in the Caatinga biome, in the perimeter of the Tatu-Bola Wildlife Refuge Unit. Using remote sensing techniques, using images referring to the years 2015 and 2016 obtained through the Terra satellite MODIS sensor, using the product indicated for vegetation analyzes, MOD17. Estimated crude primary production (GPP) and carbon balance, observed distinct variations in relation to altitudes according to the relief features of the area. Data analysis was performed using descriptive, multivariate statistics using the Ward method. The GPP quantification in areas of higher altitudes presented averages of 46.87 and 55.84 g C / m⁻², in 2015 and 2016 respectively, and less than 2.49 and 3.75 g C / m⁻². In the flat areas, the highest averages observed were 46.03 and 55.84 g C / m⁻² in 2015 and 2016 and under 3.75 and 2.49 g C / m⁻². The carbon balance obtained the highest volume of carbon sequestered in 2016, with evidence of increased sequestration for areas of higher altitudes. The results of the statistical analyzes showed a strong correlation in the areas with higher altitudes with r 0.97 and in the flat areas with r 0.91, and the lowest value of r 62, equal in the two areas analyzed, also corresponding to a strong correlation, with a confidence level of 99%. In relation to the cluster analysis, four groups with similar characteristics were found in the areas with higher altitudes and five groups in the flat areas, evidencing that there were differences in the variation of the GPP in relation to the altitudes. In the dissimilation analyzes that related the GPP with rainfall index and temperature, the variations in the clusters showed distinct patterns and gradients according to the seasons, rainy or dry, throughout the studied period. Comparing the results of the analyzes with regard to the spatial-temporal variation of the GPP, in the analyzed altitudes, we can affirm that between the two areas, the highest GPP values were identified in the areas of higher altitudes. Based on the influence of altitude in relation to variations in carbon sequestration and the effectiveness of MODIS product MOD17 in understanding the spatial dynamics of carbon sequestration in the Caatinga biome.

Keywords: Relief. Remote sensing. Gross Primary Production. MODIS sensor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Representação do Espectro Eletromagnético.	28
Figura 2-	Representação da Latitude e Longitude do Sensor MODIS.	31
Figura 3-	Mapa de Localização da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco.	33
Figura 4-	Mapa de Relevo Tridimensional da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco.	36
Figura 5-	Características dos Solos Presentes na Unidade de Conservação no Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco (Classificação - SiBCS/EMBRAPA, 2006).	38
Figura 6-	Mapa do Solo na Unidade de Conservação Refugio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco (Classificação: EMBRAPA, 2012).	39
Figura 7-	Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco. (Classificação: PROBIO, 2008).	42
Figura 8 -	Fluxograma Metodológico	43
Figura 9-	Mapa de Elevação (Fig. A), Mapa de declividade (Fig. B) da Unidade de Conservação Refugio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco.	48
Figura 10-	Produção Primária Bruta de Áreas com Maiores Altitudes	49
Figura 11-	Produção Primária Bruta de Áreas Planas	50
Figura 12-	Precipitação pluviométrica e temperatura média mensal, do período de 2015 e 2016, no perímetro da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola Pernambuco.	52
Figura 13-	Variação mensal da Produção Primária Bruta (GPP) da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre, Pernambuco, para o ano de 2015.	53

Figura 14-	Varição mensal da Produção Primária Bruta (GPP) da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre, Pernambuco, para o ano de 2016.	55
Figura 15-	Balço anual do carbono da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco. (Período de 2015 a 2016).	57
Figura 16-	Dendogramas de similaridade dos 86 acessos baseados nas medidas de distância euclidiana utilizando o algoritmo de Ward.	66
Figura 17-	Dendrograma obtido através do algoritmo de Ward com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2), para agrupamento de 86 acessos das médias de GPP para áreas com maiores altitudes do período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016.	69
Figura 18-	Variações da produção primária bruta (GPP), precipitação pluviométrica e temperatura, observados nos dias sequenciais (acumulados de oito dias) no período de 2015 a 2016 para áreas maior altitudes.	71
Figura 19-	Dendrograma obtido através do algoritmo de Ward com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2), para agrupamento de 86 acessos das médias de GPP para áreas planas do período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016.	72
Figura 20-	Variações da produção primária bruta (GPP), precipitação pluviométrica e temperatura, observados nos dias sequenciais (acumulados de oito dias) no período de 2015 a 2016 para áreas planas.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Produtos do Sensor MODIS, Resolução Espacial e Temporal Aplicado para Avaliação Vegetal.	30
Tabela 2-	Representação das classes de relevo.	37
Tabela 3-	Famílias da Vegetação Predominante na Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola.	40
Tabela 4-	Altitudes dos Pontos Observados nas Áreas mais Elevadas e Áreas Planas.	47
Tabela 5-	Médias mensais de precipitação pluviométrica no período de 2015 e 2016.	50
Tabela 6-	Análise descritiva dos agrupamentos encontrados pelo método Ward da produção primária bruta das áreas/pontos nas áreas de maiores altitudes e áreas planas.	58
Tabela 7-	Correlação da GPP das áreas com maiores altitudes.	60
Tabela 8-	Correlação de GPP entre as áreas planas.	63
Tabela 9 -	Formação dos grupos de 86 acessos de GPP para as áreas de maiores altitudes, segundo o algoritmo de as áreas planas segundo o algoritmo de Ward com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2). Ward com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2).	70
Tabela 10 -	Formação dos grupos de 86 acessos de GPP para as áreas planas segundo o algoritmo de Ward com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2).	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR5	Relatório de Avaliação
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CAM	(<i>Crassulaceous Metabolism Acid</i>) Ácido do Metabolismo Crassuláceo
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
CRAD	Centro de Referência para Recuperação de Áreas Degradadas
CE	Comércio de Emissões de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
DS	Dias Sequenciais
FPAR	Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa
GEE	Gases de Efeito Estufa
GPP	(<i>Gross Primary Production</i>) Produção Primária Bruta
IC	Implementação Conjunta de Projetos
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas
ITERP	Instituto de Terras e Reforma Agrária do Estado de Pernambuco
LAFF	Laboratório de Fitomorfologia Funcional
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
MODIS	(<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>) Espectroradiômetro de Imagem de Resolução Moderada
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
RVS	Refúgio de Vida Silvestre
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação do Solo
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SEMAS	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SERGEO	Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento
UCs	Unidades de Conservação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Geral.....	17
2.2	Específicos.....	17
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	18
3.1	Bioma Caatinga e sua importância no sequestro de carbono.....	18
3.2	Importância de áreas preservadas no semiárido.....	20
3.3	Sequestro de carbono e o clima.....	23
3.4	Produção primária bruta.....	25
3.5	Sensoriamento remoto no diagnóstico e monitoramento da vegetação.....	26
3.6	Sensor MODIS e produtos aplicados em análises de vegetação.....	29
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	33
4.1	Localização e caracterização da área de estudo.....	33
4.2	Climatologia.....	34
4.3	Relevo.....	34
4.3.1	<i>Feições do relevo.....</i>	37
4.4	Solos.....	38
4.5	Vegetação.....	40
4.6	Metodologia.....	43
4.7	Dados orbitais.....	43
4.8	Dados estatísticos.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1	Relevo.....	47
5.2	Quantificação da produção primária bruta das áreas com maiores altitudes e áreas planas.....	49
5.3	Variação dos índices pluviométricos e temperatura entre os anos 2015 e 2016.....	51
5.4	Variação mensal da produção primária bruta entre os anos 2015 e 2016.....	52
5.5	Balanco anual do carbono.....	56
5.6	Análises estatísticas aplicando o método de Ward para as áreas com maiores altitudes e áreas planas.....	58
5.7	Análises de agrupamentos hierárquico dos pontos/áreas com características	

	de similares das áreas de maiores altitudes e áreas planas.....	66
5.8	Agrupamento hierárquico utilizando distância generalizada de Mahalanobis (D²) do algoritmo de Ward para áreas de maiores altitudes e áreas planas.....	68
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
	ANEXO A- MAPA PLANALTIMÉTRICO DE CRISÁLIA (PERNAMBUCO, 2005).....	86
	ANEXO B - PROPOSTA DE CRIAÇÃO DO REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE TATU-BOLA (SEMAS, 2014).....	87

1 INTRODUÇÃO

As mudanças no sistema climático terrestre ocorrem através de processos naturais desde as eras geológicas (SPIELHAGEN, 2012). Os níveis de dióxido de carbono aumentaram 61 parte por milhão (ppm) em 35 anos, e segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas (IPCC 2013), a influência humana sobre o sistema climático é clara e evidente, tendo em conta as concentrações crescentes de força radiativa positiva na atmosfera, que em longo prazo, tem elevado à temperatura média da terra.

A geração desses gases de efeito estufa (GEE) tem aumentado a níveis sem precedentes, em torno de 40% desde a era pré-industrial, devido às emissões derivadas de combustíveis fósseis, queimadas, desmatamento e do uso do solo. Sob a forma de mitigação foram fomentadas medidas através de acordos de crédito de carbono, o que levou a criação do Protocolo de Kioto em 1997. Com intuito de estabelecer metas de redução das emissões dos gases de efeito estufa por parte dos países industrializados (CHANG, 2004), foi acionado o Mecanismos de Flexibilização, surgindo o conceito de sequestro de carbono, com finalidade de conter e reverter o acúmulo de CO₂ atmosférico.

A divulgação do relatório do IPCC (2007) aponta o monitoramento de parâmetros relacionados ao sequestro e à emissão de carbono pela vegetação de grande importância para a comunidade científica e para o governo. Pois, este tem interesse em estabelecer e manter políticas públicas que assegurem a diminuição das emissões de carbono e se inserir ou permanecer no mercado internacional de créditos de carbono (SANDOR; BETTELHEIM; SWINGLAND, 2002). Segundo Wang et al., (2017) a estimativa das tendências espaciais e temporais na produção primária bruta e produção primária líquida de um país se faz essencial para decisões políticas, tais como: uso da terra, processos da vegetação e seu fluxo de carbono. De acordo com IPCC (2017) a emissão contínua de gases de efeito estufa causará mudanças climáticas duradouras em todos os componentes do sistema climático, aumentando a probabilidade de impactos severos, penetrantes e irreversíveis para pessoas e ecossistemas.

Estudos envolvendo perda da cobertura vegetal e emissões de GEEs na atmosfera tem se intensificado bastante no semiárido, aplicando tecnologias avançadas através do uso de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto, cujo conceito clássico, refere-se à utilização de objetos e fenômenos da superfície terrestre, através de sensores, sem que haja um contato direto com o objeto (ANTUNES 2014). Tecnologia essa comprovadamente eficiente e bastante viável para investigar e monitorar as problemáticas ambientais quer sejam de âmbito natural ou antrópico.

Sabe-se que os diferentes ecossistemas naturais têm papel essencial no sequestro de carbono, mantê-los exercendo suas funções ecológicas e ambientais são primordiais para a sustentabilidade de diferentes atividades antrópicas e de sobrevivência humana, da fauna e da flora. No Brasil, estudos recentes apontam o semiárido como a região mais afetada pelas variações climáticas globais, por ser considerada uma das regiões brasileiras mais vulneráveis a impactos ambientais. Projeções sobre o aumento da temperatura realizada para essa área, de acordo Ambrizzi e Araújo (2014), apontam que o aumento da temperatura poderá chegar entre 3,5° a 4,5°C no final do século com agravamento do déficit hídrico da região e diminuição entre 40 a 50% da distribuição da precipitação.

O bioma caatinga é um ambiente bastante fragilizado, pelas condições adversas do clima e uso de seus recursos naturais; Assim, faz-se necessário criar ações e conhecer as variações do sequestro de carbono no bioma, reduzir as emissões de gases estufa, garantir a resiliência desse ecossistema e proporcionar um desenvolvimento sustentável.

O estudo tem como objetivo de avaliar a influência da altitude no sequestro de carbono no bioma Caatinga, no perímetro da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre do Tatu-Bola – PE. Investigando onde apresenta maiores valores de Produção Primária Bruta (GPP, em inglês) se nas áreas de maiores altitudes ou em áreas planas. Especificamente o estudo se propõe correlacionar a variação espacial e temporal do sequestro de carbono entre as altitudes observadas no perímetro, utilizando dados do sensor MODIS para o período de 2015 e 2016; avaliar a variação do balanço anual de carbono, ocorridos entre os referidos anos analisados e identificar as características de similaridades da GPP entre as variações de altitudes e as características de similaridades da GPP e as variações climáticas diárias.

A Justificativa para essa pesquisa se fundamenta pela importância de desenvolvimento de estudos relacionados a mudanças climáticas diante a atual vulnerabilidade ambiental decorrentes de ações antrópicas desde o período industrial. O que ressalta a relevância desse estudo, por apresentar informações referentes ao sequestro de carbono em âmbito local, relacionados às variações climáticas no Bioma Caatinga e por tratar-se de um tema original que avalia a variação do sequestro de carbono sob a influência da altitude.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a influência da altitude no sequestro de carbono no bioma Caatinga, no perímetro da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre do Tatu-Bola.

2.2 Específicos

- a. Estimar o estoque de carbono através do cálculo da GPP e analisar a variação mensal e o balanço anual de carbono, para o período de 2015 a 2016, utilizando dados do sensor MODIS;
- b. Correlacionar a variação espacial e temporal do sequestro de carbono entre as altitudes e a GPP no perímetro;
- c. Identificar as características de similaridades da GPP nos pontos/áreas entre as variações das altitudes e as similaridades da GPP com as variações climáticas observadas no perímetro.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Bioma Caatinga e sua importância no sequestro de carbono.

A Caatinga está inserida no semiárido nordestino, na área conhecida como Polígono da Seca, ocupando 844.453 Km², o que equivale a 11% do território nacional e 54% na região nordestina, e em Pernambuco abrange, aproximadamente, 83% de sua área territorial (NOTA TÉCNICA, 2018). A terminologia caatinga surgiu do tupi-guarani, CAA= mata e TINGA= branca, mata branca, caracterizada pela paisagem que no período de estiagem a vegetação perde as folhas apresentando um aspecto seco e sem vida (ALVES, 2007).

A geomorfologia da área se desenvolveu em terrenos da unidade geológica estrutural designada como Província Borborema, onde predomina uma pediplanação suave ondulada, essa superfície foi designada como Pd1 que compõe o elemento topográfico mais evidente e dominante no interior do Nordeste Brasileiro (JATOBÁ, 1994a), elaborada no Plioceno/Pleistoceno.

A área investigada situa-se integralmente no compartimento regional de relevo conhecido como Depressão Sertaneja. Existem na área rochas ígneas intrusivas e metamórficas todas de idade Pré-Cambriana, tais como granitos, gnaisses e xistos diversos. Nesse vasto pediplano, nos espaços em que ocorrem rochas mais resistentes o relevo se salienta sob a forma de cristas, serras e inselbergs (JATOBÁ, 1994b). O refúgio de Vida silvestre exemplifica esse fato.

A Caatinga está entre um dos biomas mais ameaçados do mundo, sofrendo com o desmatamento e o acelerado processo de degradação, levando a uma acentuada diminuição na biodiversidade e conseqüentemente dos serviços ambientais. O bioma possui um papel estratégico no abastecimento de água do Brasil, pois concentram as nascentes de importantes bacias hidrográficas do país, além de terem ecossistemas ricos em diversidade de plantas e animais (ICMBIO, 2014).

Uma região com um baixo nível de precipitação pluviométrica que apresenta média anual de 500 a 800 mm de chuvas, acarretando um déficit hídrico bastante significativo. De acordo com Trovão et al., (2007), não apenas a diminuição da precipitação provoca o déficit hídrico, como também há outros fatores característicos associados à região, como altas temperaturas associadas à alta intensidade luminosa que provoca uma demanda evaporativa alta e conseqüentemente a dessecação do solo.

Conforme Araújo (2011), o balanço hídrico dessa região apresenta deficiência hídrica, porque o potencial de evapotranspiração é maior do que as precipitações. Ainda segundo o

autor, devido a esse fator, as plantas se adaptaram ao longo de milhares de anos as variações das condições ambientais do bioma, permanecendo vivas, mas com a aparência de mortas, em um período de latência, esperando para florir e se mostrarem frondosas em épocas de chuvas.

A vegetação da caatinga é composta por plantas hiperxerófila com trechos de floresta caducifólia, que estão adaptadas a ambientes áridos. Pois possuir algumas características bastante definidas no semiárido, as plantas lenhosas como árvores, arbustos, e algumas herbáceas, tipo lianas e ervas são relativamente baixas, geralmente perdem as folhas para enfrentar os períodos de estiagem (SEMAS, 2014), permitindo a adaptação aos baixos índices de pluviosidade anual. De acordo com Sánchez et al., (2018) a vegetação xerofílica, representadas por cactos suculentos, árvores tipo crassuláceas e arbustivas, se adaptam a severas secas, porque utiliza mecanismos que lhes permitem realizar o processo de fotossíntese de forma eficaz para sua sobrevivência.

Conhecer a dinâmica da vegetação, a distribuição das espécies, o comportamento fisiológico e morfológico é de suma importância para o entendimento das características climáticas, edáficas geológicas e fisiográficas de uma determinada área de estudo (TEIXEIRA, 2014).

As adaptações morfológicas da vegetação da caatinga também são características observadas na maioria das espécies, adaptações que transformaram folhas em espinhos, perda total das folhas em espécies caducifólias nos períodos de estiagens, formação de cutículas altamente impermeáveis, sistema radicular bem desenvolvido, e sistemas de armazenamento de água e nutrientes nos caules e raízes (SEMAS, 2014).

As plantas possuem órgãos com estruturação morfoanatômica específica que as tornam distintas entre si (SILVA et al., 2011). Em ambientes xerofíticos, as plantas desenvolvem caracteres morfoanatômicos favoráveis que as permitem a sobrevivência em condições adversas, sobretudo com elevada luminosidade, a exemplo das plantas C3 e C4, quando realizam o processo de fotossíntese para assimilação de CO₂. A arquitetura foliar apresentada por diferentes espécies exerce uma função estratégica na absorção de energia luminosa e, por conseguinte, na produção fotossintética (SILVA et al., 2011). Segundo Liu (2007), estas espécies de plantas absorvem energia da radiação solar de dia com os estômatos fechados e absorvem grandes quantidades de CO₂ armazenados em forma de malato durante a noite com estômatos abertos. Ainda afirma o autor que plantas suculentas são chamadas *Crassulaceous Metabolism Acid* (CAM, em inglês) por possuir o mecanismo do ácido das crassuláceas, predominante em plantas de deserto xerofílicas, como as espécies encontradas no Sertão, tais como cactos, mandacaru, palma, abacaxi, entre outras.

A grande devastação que enfrenta o bioma em consequência das atividades antrópicas, que segundo os dados do Projeto de Monitoramento dos Biomas Brasileiros, do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2012), a porcentagem decorrente do desmatamento chega a 64% da supressão de sua vegetação. De acordo com Araújo (2011), grandes extensões da caatinga são destruídas para uso como lenha, o que gera redução nas condições ecológicas locais e também, de valor do recurso, do ponto de vista da sua evolução e de uso para humanidade. E ainda segundo o autor, pesquisas apontam que 500 mil hectares de caatinga são consumidos anualmente para uso da indústria-extrativa mineral, indústria de panificação e uso doméstico.

Entretanto, este constante aumento na degradação dos recursos da região, acarreta um alto risco a desertificação e perda de biodiversidade em diversas áreas e o agravamento dessa degradação, implicará na diminuição de estoque de carbono orgânico no solo. Segundo Sampaio (2008), a vegetação da caatinga quando apresenta o crescimento vegetal estabilizado, consegue manter estoques de carbono nas plantas e no solo com médias regionais estimadas entre 20-40 mg ha⁻¹ e um fluxo com variação entre 2 a 15 mg ha⁻¹ ano⁻¹, na qual o sequestro compensa a liberação de CO₂ na atmosfera. A capacidade de fixação de carbono do bioma caatinga pode chegar à média de 35,00 T CO₂ km⁻² de carbono sequestrado no período de 20 anos (IRPAA, 2008).

Diante do gradiente climático regional, informações sobre o sequestro de carbono para diferentes ecossistemas são importantes da diversidade do ambiente. E políticas globais e estratégias para melhorar o armazenamento de carbono nos ecossistemas, devem ser consideradas (MARKS, et al., 2009). Ressaltando a necessidade de encontrar soluções para as problemáticas existentes nessa área, no intuito de mitigar os efeitos devastadores causados pelas atividades antrópicas, enfatizando a importância da criação de áreas de preservação, juntamente com políticas públicas voltadas para sustentabilidade desse bioma e toda a sua biodiversidade.

3.2 Importância de áreas preservadas no semiárido.

A formação de áreas preservadas, conhecidas presentemente como Unidade de Conservação (UC) é considerada de relevante importância na preservação dos ecossistemas, que proporciona uma busca contínua pela conservação e proteção do meio ambiente (SILVA et al., 2017b). Visto que uma área preservada proporciona conexão de remanescentes da vegetação e contribui com o equilíbrio ecossistêmico, acarretando o aumento do volume de carbono sequestrado, segundo Oliveira Junior (2004) o aumento de formações vegetais

implica no maior consumo de CO₂ pela vegetação, através do processo de fotossíntese, diminuindo o acúmulo de GEEs na atmosfera. De acordo com Martins, Branco e Toledo, (2010) o restauro florestal em áreas legalmente protegidas contribui de maneira significativa para as remoções de grandes quantidades de CO₂ atmosférico da atmosfera.

A criação de áreas protegidas é um dos instrumentos mais utilizados em todo o mundo, no sentido de buscar formas alternativas de frear a degradação ambiental. No Brasil, essas áreas tomaram a nomenclatura de unidades de conservação (SANTOS, 2009), são consideradas legalmente protegidas quando decorrentes de lei ou decreto específico, que as denomine como unidade de conservação (BRAGA, 2009).

Para a preservação dos ecossistemas as Unidades de Conservação (UCs), são de extrema importância, por proporcionar uma possibilidade concreta de conservação e proteção do meio ambiente, viabilizada através de políticas públicas bem sucedidas, principalmente no âmbito federal (SILVA et al., 2017b).

Atualmente a gestão de uma área protegida requer embasamento legal através do enquadramento no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), instituída legalmente no Brasil pelas três esferas do Poder Público, que são a municipal, estadual e federal, em 18 de julho de 2000, pela Lei de nº 9.985, que define Unidades de Conservação como sendo “espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídas pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob o regime especial de administração, à qual se aplicam garantias adequadas de proteção”.

O SNUC agrupa as unidades de conservação em diferentes categorias de manejo, divididas em Unidades de Proteção Integral, que têm como objetivo preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais e Unidades de Uso Sustentável, que visam compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parte dos seus recursos naturais (RODRIGUES, 2005).

A Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola foi criada em 16 de março de 2015, através do DECRETO Nº 41.546 (PERNAMBUCO, 2015), implantada a partir de estudos prévios e campanhas para conservação da espécie de tatu-bola (*Tolypeutes tricinctus*), que consta no Livro Vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção e na revisão da IUCN está categorizado como “Vulnerável” (VU), pelo critério A2cd (redução da população com um declínio continuado), por estimar-se que sua população tenha sido reduzida em pelo menos 50% nas últimas três gerações, devido à perda de hábitat, Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014). Realizadas pela Secretaria de Meio Ambiente e

Sustentabilidade (SEMAS), com a colaboração pesquisadores do Centro de Referência para Recuperação de Áreas Degradadas (CRAD), da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Universidade Rural de Pernambuco (UFRPE), em conjunto com outros órgãos públicos, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária/Petrolina, (INCRA/Petrolina), da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), Instituto de Terras e Reforma Agrária do Estado de Pernambuco (ITERP) e representantes prefeituras municipais Petrolina, Lagoa Grande, e Santa Maria da Boa vista. (SEMAS, 2014).

A proposta de criação da UC Refúgio de Vida Silvestre do Tatu-Bola surgiu com intuito de aumentar o número de áreas de preservação nessa região, de fundamental importância para conservação da biodiversidade no Estado. Inserida em uma área onde por ser um bioma único no mundo, comporta uma diversidade de espécies endêmicas, tanto da fauna como da flora.

Além da espécie de tatu-bola (*Tolypeutes tricinctus*), existem outras espécies em vulnerabilidade com risco de extinção assim como a onça-de-bode, (*Puma concolor greenie*), o porco queixada, (*Tayassu pecari*), assim como da flora as espécies (*Schinopsis brasiliensis Engl.*) conhecida como baraúna do sertão e aroeira (*Myracrodruon urundeuva Allemão*) espécies de alto valor econômico, pertencentes à família Anacardiaceae (SEMAS, 2014).

Atualmente, a maneira mais eficaz de se preservar a biodiversidade como um todo (organismos vivos individualmente, sua variabilidade genética e suas populações) é através das comunidades naturais intactas ou pouco alteradas (LEITE; GEISELER; PINTO, 2012). E só através de implantação de um maior número de UCs em áreas de relevante vulnerabilidade, recorrendo aos planos de manejos, que englobe todos os fatores ambientais inseridos na problemática, através de uso de tecnologias, monitoramento e educação ambiental, possibilitando conservar e recuperar áreas, e salvar espécies vulneráveis da extinção (LACERDA; ALBUQUERQUE e GALVÍNCIO, 2017).

No que se refere ao aspecto socioambiental a RVS Tatu-Bola está inserida em uma área, onde em sua adjacência, existem vários assentamentos rurais, criados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, (INCRA) comunidades quilombolas, comunidades indígenas e comunidade que sobrevive da caça, pesca e irrigação. Que alega Lacerda, Albuquerque e Galvínio (2017), seja necessário haver a integração conjunta na implantação de políticas públicas, para que se possa contextualizar a problemática, de forma a encontrar soluções que possam auxiliar na preservação da biodiversidade, sem comprometer o

desenvolvimento local. E também que sejam criados planos de manejo, onde a população possa ser inserida nos projetos, e busque juntos aos órgãos públicos encontrar formas e soluções voltadas para desenvolvimento sustentável.

3.3 Sequestro de carbono e o clima.

O sequestro de carbono é um processo integrante do ciclo do carbono. O ciclo biogeoquímico é onde o CO₂ é trocado entre a biosfera, pedosfera, geosfera e hidrosfera da Terra (SILVA et al., 2012). O planeta naturalmente sofre variações térmicas, com períodos glaciais intercalados com elevações de temperatura, no entanto temos vivenciado momentos de apreensão com o aumento acelerado da elevação da temperatura terrestre decorrentes das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Estudos mostram que o aumento da concentração dos GEE geradas em grande parte por atividades econômicas e industriais, poderá causar um aumento da temperatura média do planeta entre 3° a 5° C nos próximos 100 anos (RENNER, 2004).

A geração desses gases segundo relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas (IPCC, 2014), constado no relatório de avaliação (AR5), o qual evidencia a elevação dos níveis de concentração dos GEEs na atmosfera. Apresentando o aumento de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico em torno de 40% precedentes desde a era pré-industrial. A concentração de GEEs na atmosfera aumentou de aproximadamente 277 partes por milhão ppm em 1750 até no início da era industrial para 392,52 em 2012 (DLUGOKENCKY; TANS, 2013).

O aumento das emissões de CO₂ levou a criação do Protocolo de Kyoto no ano de 1997, na Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças climáticas. Com intuito de reduzir as emissões de GEE, foram firmados compromissos com países desenvolvidos, criando assim o conceito de sequestro de carbono, definido por Silva et al., (2012) como processo pelo qual o CO₂ é removido da atmosfera e incorporado a biomassa da planta. Sendo consagrado a partir da aprovação dos mecanismos de redução de emissões do efeito estufa (YU, 2004), que consistiu em estabelecer metas de redução de emissões dos GEE através dos Mecanismos de Flexibilização.

Conforme Araújo (2007), dois mecanismos de flexibilização são de exclusiva aplicação em países desenvolvidos; a Implementação Conjunta de projetos (IC) e o Comércio de Emissões (CE). O terceiro é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que de acordo com Helou et al., (2012), desde a década passada, o MDL vem firmando

compromissos voluntários junto as Nações Unidas, com o intuito de mitigar e reduzir as emissões de gases estufa no planeta.

O MDL envolve países desenvolvidos e em desenvolvimento, pois o mecanismo permite que países desenvolvidos invistam em projetos de redução de emissões em países em desenvolvimento, onde cada tonelada de CO₂ retirada da atmosfera é negociada no mercado mundial de crédito de carbono, contribuindo com o desenvolvimento sustentável desses países. Para o Brasil esse mecanismo gerou oportunidades e viabilizou o país estabelecer políticas públicas instituindo a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), por meio da Lei nº 12.187/2009 que define o compromisso nacional voluntário de adoção de ações de mitigação com vistas a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre 36,1 e 38,9% em relação às emissões projetadas até 2020 (BRASIL, 2009).

As florestas são as principais sequestradoras de carbono, atuando como sumidoro de CO₂ através do processo da GPP, afirmando Watzlawick (2004) que a floresta apresenta uma elevada capacidade de fixação de CO₂, se comparado com outras tipologias vegetais. O autor ainda afirma que as florestas estocam carbono tanto na biomassa acima do solo como abaixo da superfície, em relação ao estoque de carbono atualmente existente na atmosfera.

A vegetação detém elevados estoques de carbono, sendo que um aumento na temperatura do ar pode proporcionar emissões de carbono para a atmosfera por meio de um aumento nos processos de decomposição da vegetação (VILLELA et al., 2012). De acordo com Renner (2004), os vegetais utilizam sua capacidade biossintetizante para fixar o CO₂ atmosférico na forma de carboidratos, sendo por fim depositado na parede celular. Tornando assim o sequestro de carbono vegetal uma alternativa bastante viável no processo de mitigação dos gases da atmosfera terrestre (LACERDA, 2015). Cabe ressaltar que as florestas cobrem cerca de 30% da superfície terrestre, e segundo Varejão-Silva (2006) o seu tronco é 90% composto por carbono.

Diante os constantes episódios catastróficos causados pelas variações climáticas e o aumento sem precedentes dos GEE na atmosfera terrestre, tem se intensificado os estudos a partir da aplicação das tecnologias de sensoriamento remoto, no intuito de compreender o regime climático do planeta, na intenção de encontrar formas de redução dessas emissões. Pesquisas baseadas nessas temáticas idealizam encontrar meios de conter o avanço das emissões de CO₂ na atmosfera e conseqüentemente a elevação da temperatura, a nível local. Wang et al., (2017) realizou estudo cujo objetivo foi analisar padrões espaciais de NPP em escala nacional e explorar controles climáticos regionais em NPP, na China no período de 2000 a 2012, utilizando o sensor MODIS. Ele aplicou um algoritmo NPP melhorado que usou

conjuntos de dados de driver local e parâmetros na China. Constatando a diminuição de 30% para a produção primária bruta (GPP) e 17% para NPP em comparação com os produtos GPP e NPP globais amplamente utilizados, respectivamente.

3.4 Produção primária bruta

A Produção Primária Bruta estimada por sensoriamento remoto é um parâmetro que está diretamente relacionado com a quantidade da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela vegetação e também tem relação direta com o índice de vegetação, definida como sendo o total de carbono produzido pela vegetação, incluindo o gasto pelo processo de respiração (GITELSON et al., 2008). Que ocorre quando a planta converte a energia fixada em açúcar e a partir daí é possível quantificá-la, determinando a quantidade de açúcar produzida através da velocidade em que converte energia solar em biomassa contando com o gasto da respiração, servindo de base para toda a forma de vida existente na Terra.

A produtividade é uma variável de fluxo de carbono, caracterizando a taxa de troca de CO₂ entre a atmosfera e o ecossistema terrestre dentro de um ano, em uma área da unidade (SONG; DANNENBERG; HWANG. 2013). A produção primária bruta GPP é representada pela equação: $GPP = \text{massa de matéria orgânica} / \text{tempo} / \text{área}$.

Para obter a NPP, se faz necessário subtrair da produção primária bruta pela biomassa disponível para o consumo de organismos heterotróficos. Sendo uma variável chave para o monitoramento das atividades ecológicas e um indicador sensível de mudanças climáticas e ambientais (NIEMEIJER, 2002). A NPP é representada pela equação: $NPP = GPP - R$.

Aproximadamente 45% de luz solar quando incide nas plantas é refletida e absorvida de forma inútil, ou é dispersa, ou seja, 45% são inutilidades em relação à produtividade; e 5% transformado em GPP; de 2,5% a 4,0% é transformado em NPP e de 1% a 2,5% é usado para respiração própria da planta (TOWNSEND; BEGON; HERPER, 2006).

A Produção Primária Bruta e a Produção Primária Líquida são usualmente expressas em unidade de energia (Joules m⁻² ano⁻¹) ou em unidade de matéria orgânica seca (kg m⁻² ano⁻¹). Globalmente, atinge cerca de 243 bilhões de toneladas métricas de biomassa de planta seca por ano. Estes padrões de produtividade primária variam tanto espacialmente como temporalmente (FREITAS, 2005). Tais padrões dependem do processo de fotossíntese, e afirma Liu (2007) que a captação de CO₂ é influenciada por vários fatores externos tais como intensidade da luz, temperatura, nutrientes, água, vento, umidade do ar, CO₂ entre outros.

Para estimar a GPP, segundo Hooda e Dye (1996), é necessário encontrar valores representativos da eficiência de conversão (ϵ) de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR em inglês) para vários tipos de radiação solar, uma vez que essa eficiência muda com o tipo de vegetação, estado fenológico, temperatura, disponibilidade de água e tipo de metabolismo da planta C3 ou C4.

Existem vários métodos de se estimar carbono através da quantificação da produção primária: o de amostragem direta, realizado de forma destrutiva o qual é necessário desmatar a área estudada. O método que emprega equações alométricas realizado através do emprego das técnicas do sensoriamento remoto. Que demonstra eficácia e eficiência nas análises, aplicando índices de vegetação, dentre outros, e ressaltando a técnica de covariância dos vórtices turbulentos, bastante empregada por diversos autores para quantificar o fluxo de CO₂ em diversos biomas. Segundo Silva (2012), essa técnica consiste na instrumentação sofisticada, instalada em torres micrometeorológicas colocada em alturas dependes da altura das árvores que constituem o bioma estudado. Através do método de covariância de vórtices turbulentos, Oliveira et al., (2006) avaliou as variações sazonais dos fluxos de dióxido de carbono, vapor d'água e energia em área de caatinga nativa, utilizando medições de alta frequência dos componentes do vento, temperatura do ar e concentrações de vapor de água e de CO₂. Comprovando em seus resultados que o bioma caatinga exerce a função de sumidoro no início de seca e período chuvoso, e como fonte de CO₂ no final da estação. Zang et al., (2014) avaliou as recuperações de *f*APAR e MOD15A2. *f*PAR através de comparação com medidas de campo de corte e o desempenho da estimativa GPP através da comparação com GPP de fluxo de torre. Zang et al., (2015), investigou quais os fatores de escala e compensações existem entre a fração de PAR absorvido pela clorofila de um dossel, que pode eliminar a deficiência e melhorar a precisão das estimativas de produção primária bruta.

3.5 Sensoriamento remoto no diagnóstico e monitoramento da vegetação.

O conceito de sensoriamento remoto foi definido por ROSA (2009), como “um conjunto de atividades, cujo objetivo consiste na caracterização das propriedades, físico-químicas, de alvos naturais através da detecção de registro, e análise do fluxo de energia radiante, por eles refletidos ou emitidos”, à medida que os sistemas ficaram mais sofisticados o conceito foi sofrendo adequação por vários autores. Segundo o autor, os primeiros registros de sensoriamento remoto, foram obtidos apresentados em 1839 e 1840, por Daguerre e Niepce, que propôs o uso de fotografias em levantamentos topográficos, utilizada desde 1859.

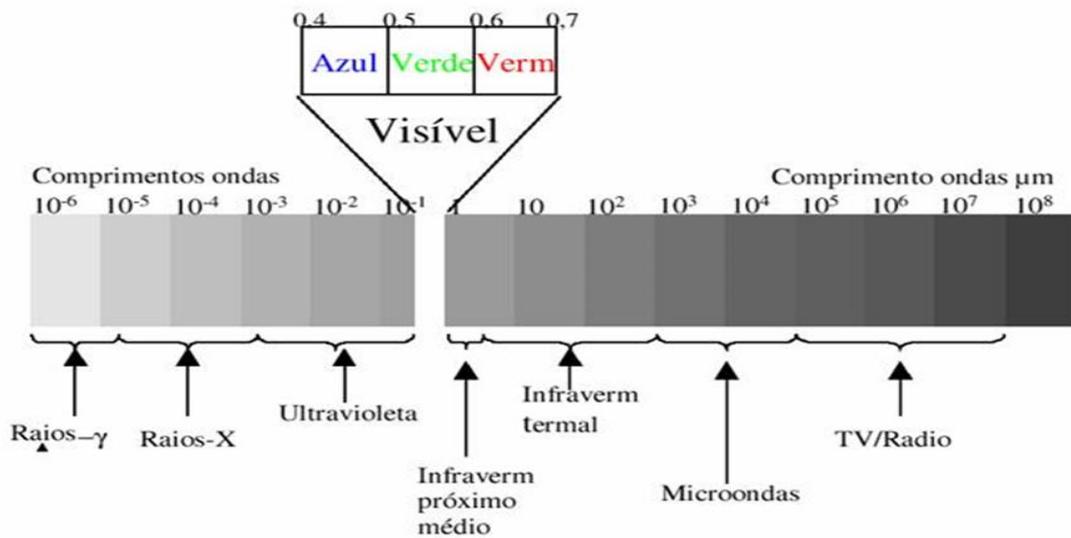
Para Galvínio et al., (2016), o desenvolvimento de novas tecnologias nos sistemas de satélites propicia à sociedade, um número muito grande de informações úteis sobre diversos aspectos da superfície terrestre em forma de dados espaciais. Propiciando avanços em pesquisas que se referem a análises de vegetação, contribuindo com projetos de preservação em ambientes degradados. Estudos sobre a interação da energia eletromagnética com alvos terrestres em relação à vegetação é de suma importância, por fornecer informações sobre a tipologia, a estrutura do dossel, o estado fenológico, as condições de estresse, a falta de nutrientes, entre outros (LIPPERT et al. 2009).

O sensoriamento remoto atua a partir de dados coletados por plataformas orbitais equipadas com vários sensores, para fornecer dados com boa repetitividade, por imagear à superfície terrestre em diversas resoluções espaciais. A reflexão da radiação eletromagnética, não ocorre igualmente em todas as direções ao longo do espectro eletromagnético para um determinado ângulo de incidência, e sim a partir de três processos de interação, que são: a reflexão, a transmissão e a absorção. Simplificadamente, as frações espectrais da radiação incidente que será refletida, transmitida e absorvida, e dependerão das características físico-químicas de um objeto.

Segundo Kuplich et al., (2016), os produtos de sensoriamento remoto podem ou não vir na forma de imagens, trazendo informações sobre as características espectrais ou o quanto o objeto reflete ou emite radiação eletromagnética (REM) em determinada faixa do espectro eletromagnético. Conforme Beneditti et al (2015), a radiância espectral é influenciada pela disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes na região do visível, pela quantidade de água na região do infravermelho médio e pelo espalhamento múltiplo entre as folhas na região do infravermelho próximo.

A Figura 1 mostra imagem do espectro eletromagnético, visualizando suas respectivas bandas, e os correspondentes comprimentos de ondas atuantes na radiação eletromagnética incidente, as faixas espectrais do visível correspondem ao (comprimento de onda de 0,4 a 0,7 μm), a do infravermelho próximo (0,72 a 1,3 μm), e a infravermelho médio (1,3 a 4,0 μm) e infravermelho distante (4,0 a 300 μm), são as faixas mais empregadas nas análises realizadas por sensoriamento remoto. A radiação eletromagnética incidente, correspondente à região visível do espectro EM (0,40 – 0,72 μm), interage especialmente, com os pigmentos presentes nos cloroplastos, como xantofilas, carotenoides e clorofila (GATES et al., 1965).

Figura 1- Representação do Espectro Eletromagnético



Fonte: Figueiredo (2005).

Quando a radiação solar quando interceptada por uma folha, os fótons podem ser absorvidos ou dispersos. A folha e os pigmentos absorvem fortemente a luz visível para realização da fotossíntese, geralmente, as plantas têm baixa reflectância variável no espectro visível em comparação com os comprimentos de onda mais longos do sistema eletromagnético espectro (SONG; DANNENBERG; HWANG, 2013).

Segundo Martins e Galo (2012) as vantagens na aplicação do sensoriamento remoto em monitorar determinadas áreas, ocorrem pela alta qualidade radiométricas dos sensores dos satélites, e pela capacidade de descrever as características do espalhamento e absorção atmosférica no espaço e no tempo. Segundo Shen (2014), o sensoriamento remoto tem sido considerado uma promessa como ferramenta em alguns estudos relativos por causa de suas vantagens em monitoramento em larga escala, e de longo prazo em tempo real. Que conforme Anderson et al., (2008) tornam possível realizar uma recuperação remota com precisão aceitável e viável de muitos processos físicos e biológicos, como por exemplo, a assimilação de carbono pela vegetação, o uso da água, e as trocas energéticas entre a superfície e a atmosfera. Conforme Silva et al., (2017a), a utilização do sensoriamento remoto para levantar dados e obter imagens orbitais de altas resoluções da superfície terrestre, que representa uma grande ferramenta para monitoramento em amplas áreas, possibilitando a confecção de mapas para identificar e analisar alterações de uma mesma área em períodos distintos.

No Brasil o sensoriamento remoto tem sido aplicado em diversas áreas por pesquisadores usando variados sensores, dentre eles sensor TM (*Thematic Mapper*) é bastante aplicado para vários tipos de análises. Beneditti et al., (2015) realizou análise temporal da variação do Índice de Área Foliar (IAF), aplicando as técnicas de sensoriamento remoto, utilizando imagens do sensor TM do Landsat 5, considerando a alteração da cobertura vegetal em duas áreas no estado de Rondônia. Através da estimativa dos índices de área foliar executando algumas etapas, do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) proposto por Bastiaanssen (1998).

Foi observado que na área da Fazenda Nossa Senhora o IAF diminuiu 61%, sendo 30% entre 1984 e 2000 e 41% entre 2000 e 2011, e na área da Rebio Jarú diminuiu apenas 6%, e durante o mesmo período estudado, comprovando haver diferença nos resultados do IAF entre as áreas estudadas, que provocou alteração no balanço radiativo superficial devido ao desmatamento da área não protegida.

Assim como o sensor MODIS, tem sido bastante empregado para monitoramento em grande escala, por imagear a superfície terrestre diariamente e possuir diversas resoluções espaciais. No semiárido vem sendo utilizado para várias áreas de estudos. Miranda et al., (2017), realizaram estudo utilizando dados dos produtos MODIS para estimar a evapotranspiração (ET) em áreas de vegetação de Caatinga no Nordeste do Brasil, acreditando ser o sensor MODIS mais adequado para monitorar a evapotranspiração em Caatinga, devido a sua alta resolução temporal.

Para calibrar as estimativas MODIS da evapotranspiração foi utilizado dados de covariância de fluxos turbulentos, comparando ET terrestre com ET dos produtos MOD16A2 e SAFER, que apresentou valores de r^2 na escala mensal = 0,92, escala de 8 dias = 0,88, e escala diária = 0,85 para o algoritmo SAFER. O estudo comprovou que produtos derivados MODIS podem ser úteis para modelar ET na Caatinga, com valores r^2 aceitáveis para o algoritmo SAFER em todas as escalas temporais. Observando a confiabilidade e eficácia na aplicação do sensoriamento remoto em diagnósticos de estudos ambientais.

3.6 Sensor MODIS e produtos aplicados em análises de vegetação.

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), foi integrado à plataforma Terra (*EOS/AM*), e lançada em 18 de dezembro de 1999. O segundo sensor MODIS foi integrado à plataforma Aqua (*EOS/PM*) lançada em 04 de maio de 2002 (SOARES, 2007). A plataforma Terra possui uma órbita polar, com inclinação de 98,2 graus,

síncrona com o sol, com período orbital de 98,88 minutos, com passagens pelo equador às 10h30min minutos da manhã. Conforme SOARES (2007), o sensor foi projetado para fornecer uma série de observações globais da superfície terrestre, oceano e atmosfera nas regiões visível e do infravermelho do espectro eletromagnético, cobrindo a Terra a cada 1 a 2 dias. Ainda conforme o autor o sensor MODIS possui alta sensibilidade radiométrica, (12 bits) em 36 bandas espectrais em um intervalo de 0,4 a 14,4 nm do espectro eletromagnético.

O sensor apresenta 36 bandas, adquirem dados em duas bandas com resolução espacial de 250m, cinco bandas possuem resolução de 500m, e as vinte nove das bandas restantes, adquirem dados em resolução espacial de 1 km, com varredura de 55° para cada lado da órbita de 705 km, imageando uma faixa de 2.330 km da Terra, a cada dois dias. Estas 36 bandas possuem especificações que viabilizam avaliar a temperatura da superfície Terra, tanto do solo, como do oceano, verificando a cor do oceano, quantificando o sedimento e fitoplâncton existentes nele, avaliar características das nuvens, detectar as concentrações e propriedades de aerossóis, detectar incêndios e gerar mapas da vegetação global. O sensor MODIS oferece 44 produtos padrão que pesquisadores de várias disciplinas, incluindo Oceanografia, Biologia, Ciências da Atmosfera, etc., estão utilizando para o estudo de mudanças globais (RUDORFF, 2007). Ressaltando os produtos voltados para análises de vegetação apresentados na (Tab. 01), representando suas especificidades quanto às resoluções espaciais e temporais.

Tabela 1 - Produtos do Sensor MODIS, resolução espacial e temporal aplicado para avaliação vegetal.

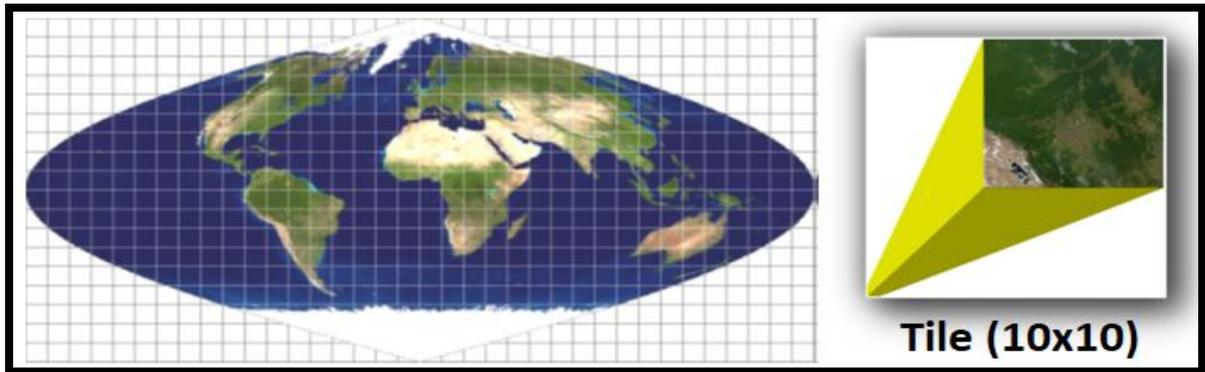
Produto	Nome	Resolução	
		Espacial	Temporal
MOD 09	Refletância superfície	1 km, 250 m e 500 m	1 e 8 dias
MOD 11	Temperatura da superfície da Terra e emissividade	1,5 e 56 km	5 min; 1 e 8 dias
MOD 13	Índices de Vegetação	1 e 28 km; 250 m e 500 m	16,30 e 32 dias
MOD 15	Índice de área foliar e FPAR	1 e 56 km	8 e 32 dias
MOD 17	Produção Primária e fotossíntese líquida	1 e 56 km	8 e 32 dias

Fonte: IMPE. Adaptado pela autora (2018).

Os produtos MODIS são disponibilizados pelo LP DAAC / NASA (Land Processes Distributed Active Archive Center) LP em arquivos no formato (*Hierarchical Data Format*)

HDF, e cobrem uma área de $10 \times 10^\circ$ de latitude e longitude (*tile*, em inglês), na (Figura 2) o sistema de coordenadas começa no tile (0,0) no canto superior esquerdo da grade horizontal e vertical, e termina no *tile* (35,17) (INPE, 2014).

Figura 2- Representação da Latitude e longitude do Sensor MODIS



Fonte: Imagens Google.

Os produtos MODIS mais empregados para o monitoramento dos ecossistemas terrestres são: O MOD13 (*Gridded Vegetation Indices*), índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI, em inglês) e o índice de vegetação realçado (EVI, em inglês), mais sensível às variações na atividade fotossintética e estrutura do dossel vegetal, ao mesmo tempo em que é mais resistente à contaminação atmosférica e menos suscetível à saturação (HUETE, 2006).

O MOD 15 Índice de Área Foliar e Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (LAI, em inglês) que contém os parâmetros de área foliar e a fração da radiação fotossinteticamente ativa (*fPAR*) absorvida pela vegetação. O LAI representa uma importante propriedade estrutural do dossel da vegetação medindo a área foliar por unidade de área do terreno. A *fPAR* é a estimativa da fração da radiação solar incidente fotossinteticamente ativa (0,4 a 0,7) que é absorvida pela vegetação (SOARES, 2007).

O MOD 17 (Primary Production) é um produto do nível quatro e consiste na medida da fotossíntese bruta e da produtividade primária líquida para períodos de oito a trinta e dois dias, além de anual. A produtividade primária é a taxa com que a energia luminosa é convertida em biomassa e a soma total da energia, após a respiração da planta é convertida na assimilação é denominada produção primária bruta. Este produto fornece em escala global, uma medida de estimativa do crescimento da vegetação terrestre e sua produtividade (SOARES, 2007).

O MODIS GPP depende em grande parte da atividade fotossinteticamente ativa da eficiência de conversão de radiação (PAR), que varia de acordo com tipo de vegetação (FIELD et. al., 1995; PRINCE e GOWARD, 1995; TURNER et al., 2003). Mapas de GPP integrantes do produto MOD17A2 são disponibilizados para diversos ecossistemas terrestres, com resolução de 1 km, gerado para períodos de oito dias; onde, a RFA é estimada a partir de dados de radiação solar global, extraídos de dados de reanálises (SILVA et al., 2013). Vários pesquisadores empregam o produto MOD 17 para análises e monitoramento de vegetação quanto ao fluxo de carbono.

Shim et al., (2014), realizou estudo de caso utilizando dados da torre de fluxo e o produto MOD 17, para avaliação dos dados do MODIS GPP sobre uma vegetação heterogênea em terrenos montanhosos, com o GDK na Coreia, onde os dados mensais do GPP MODIS superestimaram as medidas de GDK em uma faixa de + 15% a + 34% e foi bem correlacionada apresentando um (r 0,88), com a variabilidade mensal na GDK durante a estação de crescimento. O autor afirma que a discrepância MODIS para GDK sugere investigações mais aprofundadas para determinar os erros MODIS associados às características aerodinâmicas e hidrológicas específicas do site, que estão intimamente relacionados com a topografia montanhosa.

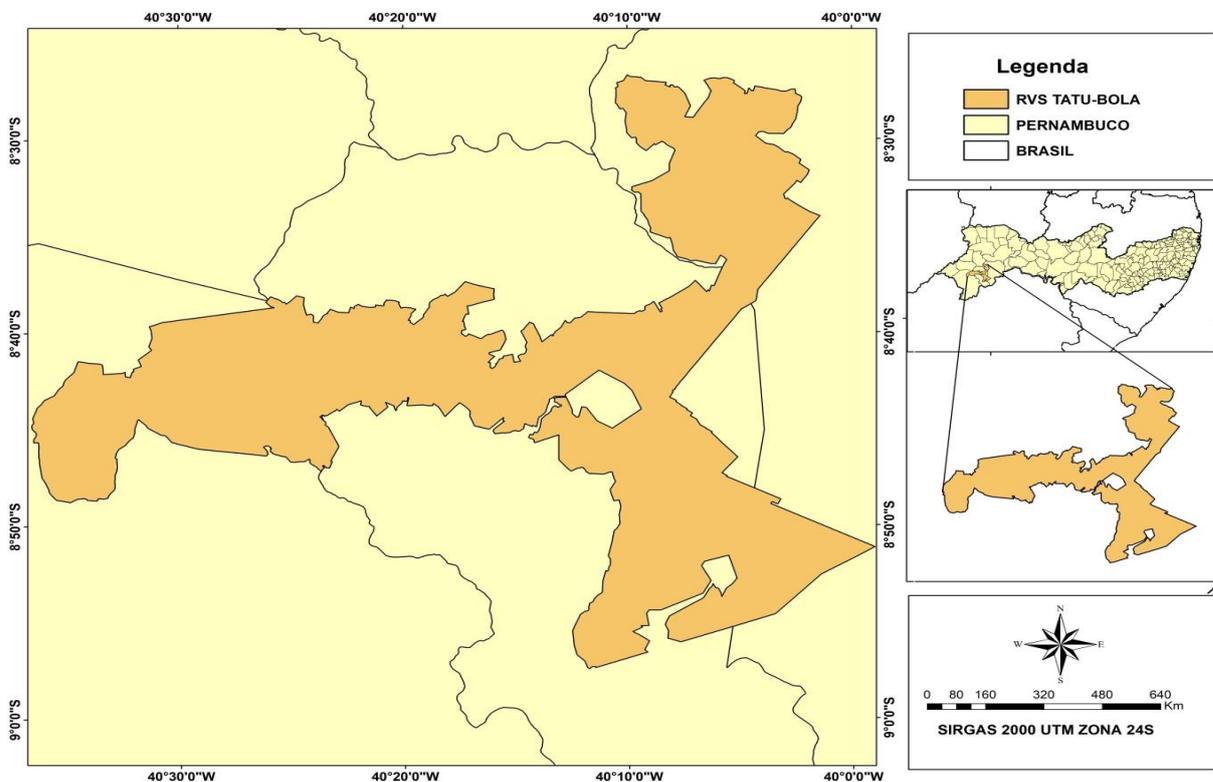
No Brasil, Morais et al., (2017) analisou o sequestro de carbono em áreas de caatinga localizadas no município de Petrolina, Pernambuco, aplicando o produto MOD 17 estimando a GPP e NPP para os anos de 2011 e 2012, foi possível verificar as diferentes respostas apresentadas pela GPP, encontrando variações no sequestro de carbono, de 500 a 700 g C/m² em 2011 e de 100 a 400 g C/m² em 2012. Ressaltando a aplicabilidade e confiabilidade do sensor MODIS, nas análises realizada para o bioma estudado.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Localização e caracterização da área de estudo.

A área de estudo está inserida no Bioma Caatinga, na mesorregião do São Francisco, na Unidade de Conservação Reserva de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco no perímetro que abrange os municípios de Petrolina, Lagoa Grande e Santa Maria da Boa Vista (Figura 3). Possui uma área de 110.110,25 ha, com 425.117,95 m, a uma distância entre 615 a 722 km do Recife, e altitudes entre 300 a 778 m (IBGE, 2010). Inserido no semiárido nordestino com clima tropical semiárido quente, com chuvas de verão, o período chuvoso contempla os meses de novembro até abril, com precipitação média de 431,8 mm, com temperatura média de 26 °C. A vegetação é composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de floresta Caducifólia. Os solos geralmente variam de extremamente rasos a moderadamente profundos. A hidrografia da área está inserida na bacia do rio São Francisco na porção do Submédio São Francisco que vai de Remanso até a Cachoeira de Paulo Afonso.

Figura 3- Mapa de localização da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.2 Climatologia

O bioma caatinga no semiárido é uma área com alta variabilidade climática, onde há ocorrência de episódios extremos de secas, alternados a irregularidade de períodos chuvosos concentrados entre o verão e outono, que apresenta eventos de chuvas orográficas. Segundo a classificação climática de Koppen, o clima é BSw_h, que representa clima seco, inverno seco e temperatura média no mês mais frio, superior a 18°C. A temperatura média anual fica em torno de 26,0°C. A precipitação média anual varia de 521,5 a 600 mm, com distribuição irregular. Este clima particular dentro dos trópicos é devido à presença de centros de altas pressões que vem do Atlântico Sul, da célula denominada anticiclone semifixo do Atlântico Sul que durante o inverno invadem os sertões secos. Área onde há maior influência de sotavento, massas de ar quentes e secas, por conter serras que funcionam como barreiras (barlavento) para as massas úmidas provenientes dos ventos alísios de sudeste (MENDONÇA, 2007).

Para a realização do trabalho foi utilizado os dados meteorológicos de precipitação pluviométrica do período de 2015 e 2016, adquiridos a partir do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), na sessão de Índices Pluviométricos, obtidos através da GERE do município de Petrolina, onde foram coletados apenas os dados de registros de precipitação referentes aos três municípios de abrangência do perímetro, Petrolina, Lagoa Grande e Santa Maria da Boa Vista, do qual foram obtidas as médias mensais e diárias (soma de oito dias). Enquanto que os dados da temperatura média mensal e diária (soma de oito dias) foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia INMET do município de Petrolina.

4.3 Relevo

A área em estudo está localizada na unidade geoambiental denominada como Depressão Sertaneja, apresenta uma fisionomia, cujo relevo é caracterizado como suave-ondulado, por possuir superfície pediplanada, áreas cortadas por vales estreitos, e vertentes dissecadas. Também apresenta trechos com elevações residuais, cristas ou outeiros (pequeno monte) que pontuam a linha do horizonte, esses relevos isolados testemunham os ciclos formados por períodos de erosão intensos, ocorridas em várias áreas do sertão nordestino (IBGE, 2010).

Baseado nas informações encontradas no Mapa Planaltimétrico de Crisália (Pernambuco, 2005), apresentado no Anexo A, foi possível identificar no mapa de relevo

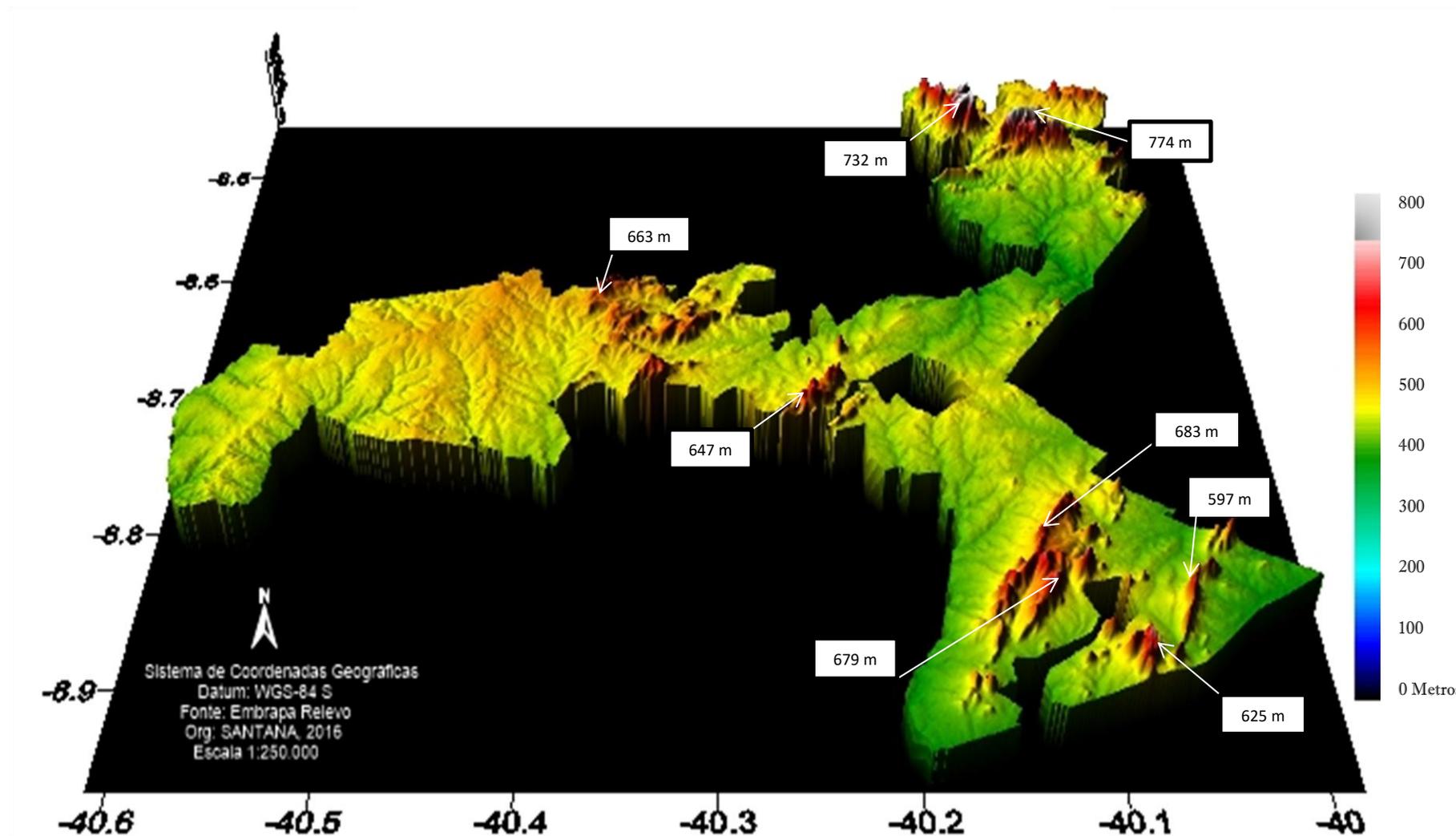
tridimensional do perímetro da Unidade de conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, (Figura 4), as feições do relevo que caracterizadas como áreas planas e áreas elevadas.

Pode-se observar que as áreas mais baixas do perímetro encontram-se em torno dos 300 m de altitude acima do nível do mar, caracterizadas como áreas planas, como também é observado que há uma grande porção de área com altitudes que variam entre 400 e 450 m representando a feição de relevo suave ondulado. Em alguns trechos a altitude apresenta variações entre 500 a 600 m caracterizando um relevo ondulado, observado entre os três municípios do perímetro, com maior abrangência para o município de Petrolina, onde o ponto mais alto está situado na Serra São Mateus com 663 m de altitude, seguida de Serra Grande com altitude de 647 m.

Trechos com altitudes mais elevadas ultrapassam 650 m, que são áreas caracterizadas como áreas escarpadas, que podem ser observados mais ao sul do município de Lagoa Grande, onde há porções que apresentam altitudes de 667 a 685 m, localizadas na Serra do Recreio, áreas com altitudes de 679 m, observados na Serra do Bom Sucesso, e áreas com 679 m encontradas na Serra do Jacú.

Porém as áreas de maiores altitudes foram observadas ao norte do município de Santa Maria da Boa Vista, destacando como um ponto mais evidente a Serra do Bonito com altitude de 774 m acima do nível do mar. Estas áreas podem constituir uma elevação residual uma crista, uma serra, ou até brejos de altitudes, onde provavelmente, apresentará variação clima a nível local, no solo e na vegetação.

Figura 4- Mapa de relevo tridimensional da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco.



Fonte: Acervo da autora (2016).

A hidrografia do perímetro é dotada de intermitência de rios e riachos devido às temperaturas elevadas existentes, a irregularidade da chuva, a infertilidade de solos e consequentemente a desnudação e uso inadequado dos recursos ambientais do bioma caatinga, principalmente pela agropecuária caracterizam o geoambiente dessa região (AB' SABER, 2003). Esses fatores e as altas amplitudes térmicas diárias influenciam, na formação de elevações residuais em região de semiárido.

O processo de pedimento ocorre com a retração lateral das escarpas das vertentes, e acúmulo de material detrítico em sua base, formando rampas suaves em direção ao fundo dos vales, e se as condições climáticas forem mantidas, ocorre a coalescência dos pedimentos que formam pediplanos (MAIA, 2010). Áreas onde o relevo apresenta maior elevação como inselbergs, tendem ser ricas em biodiversidade, por possuir uma vegetação diferenciada da existente em seu entorno, com a riqueza de plantas endêmicas.

Geralmente estes aspectos são muito encontrados em brejos de altitudes, que é uma área com maior umidade, um solo mais rico e profundo, geralmente abriga uma vegetação mais alta e mais densa, influenciadas pelas características climáticas com altitudes superiores a 500 m e progressivamente maiores, no sentido geral SE-NW, podendo chegar a mais de 1000 m de altitude.

4.3.1 *Feições do relevo.*

A Tabela 2 representa as feições do relevo classificação de relevo definida pela EMBRAPA (1978) utilizada para identificar as classes de relevo observadas nos mapas de relevo e de declividade existentes no perímetro da Unidade de Conservação do Refúgio de Vida Silvestre.

Tabela 2- Representação das classes de relevo

Classes de Relevo	
Plano	0-3%
Forte Ondulado	20-45%
Suave Ondulado	3-8%
Ondulado	8-20%
Montanhoso	45-75%
Escarpado	Acima de 75%

Fonte: EMBRAPA (1978). Adaptada pela autora (2017).

4.4 Solos

Os tipos de solos de uma determinada área dependem de diversos fatores, que destacam as diferenças geológicas e os processos de formação, como o tipo do relevo, das rochas, do clima e da vegetação.

Na área estudada, foram identificadas oito classes de solos, com classificação definida pelo SiBCS/EMBRAPA (2006), cujas características encontram-se descritas na Figura 5 e observadas em mapa (Figura 6): o Latossolo Amarelo, o Argissolo Vermelho e Amarelo, o Planossolo Hálpico, o Neossolo Quartzarênico, o Neossolo Flúvico e o Neossolo Litólico.

Figura 5 - Características dos Solos Presentes na Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco (Classificação - SiBCS/EMBRAPA, 2006).



LATOSSOLO AMARELO (LA): solo uniforme em cor, textura e estrutura, constituído por mineral, profundos, bem drenado, horizonte B, textura argilosa e muito argilosa. Predominam nos tabuleiros, em relevo plano e suave-ondulado, nas áreas do cristalino em relevo ondulado a montanhoso.

ARGISSOLO VERMELHO E AMARELO (PVA): solos de médio a profundos, moderadamente drenados, horizonte B, textura argilosa abaixo de um horizonte A, baixos teores de matéria orgânica, susceptível a erosão. Ocorrem nos ambientes relacionados a rochas cristalinas, com variação significativa de relevo.

ARGISSOLO AMARELO (PA): solos desenvolvidos dos sedimentos do Grupo Barreiras, ou rochas cristalinas ou sob a influência destas. Característica principal, horizonte de acumulação de argila, B textural. Ocorre próximo as bordas dos Tabuleiros Costeiros.

PLANOSSOLO NÁTRICO (SN): solos com grades quantidades de minerais primários, intemperizáveis, textura arenosa ou média, seguida de um horizonte B plântico, estrutura prismática, susceptível a erosão, baixa permeabilidade, devido à alta concentração de sódio, encontrado em áreas semiáridas com topografia suave.

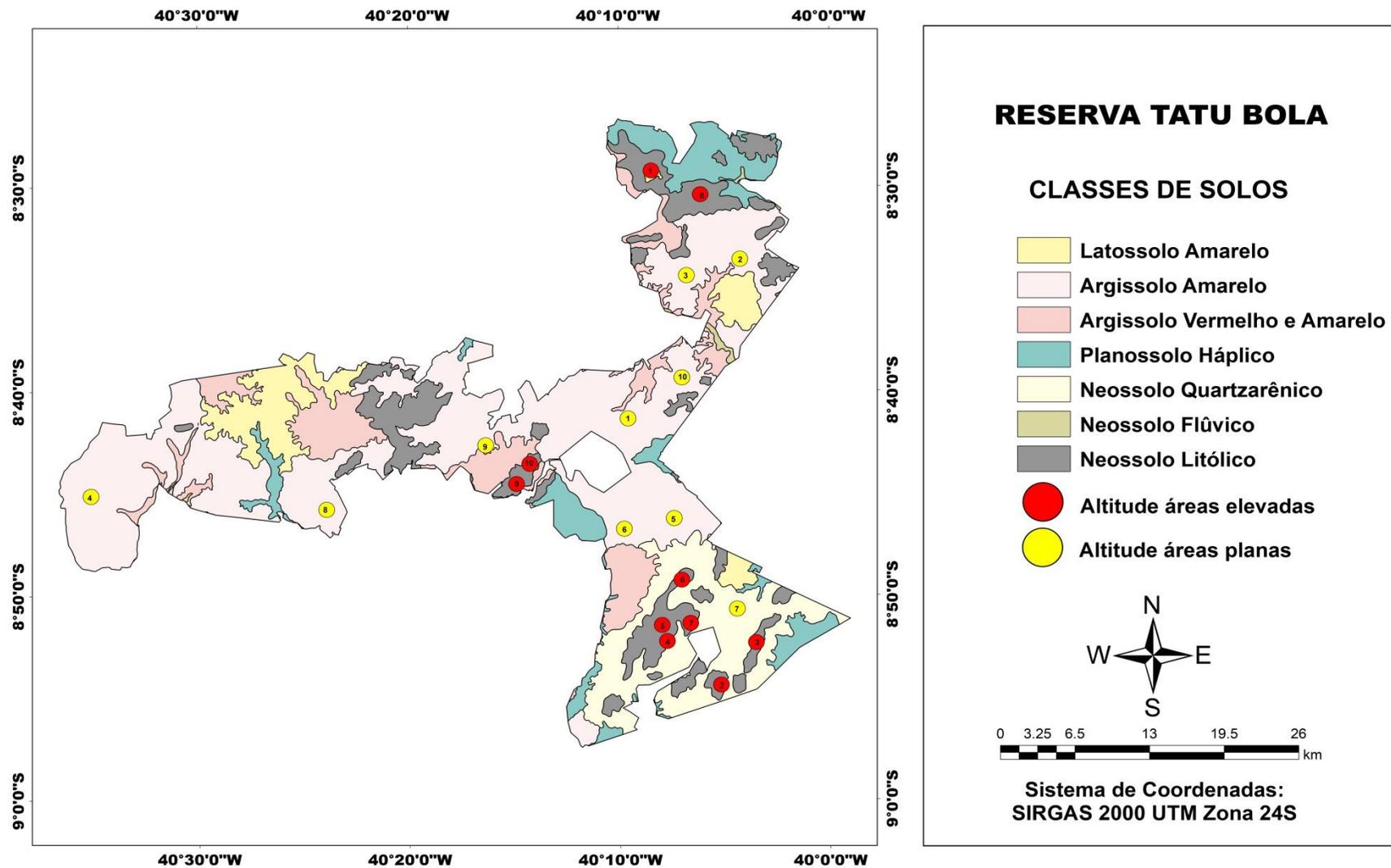
PLANOSSOLO FLÚVICO (SY): solos minerais não hidromórficos, de sedimentos recentes do Quaternário, formados por sobreposições de camadas de sedimentos aluviais. Ocorrem próximo a rios ou drenagens em relevo plano, várzeas, planícies fluviais e terraços aluvionáres, em linhas de drenagem das principais bacias hidrográficas.

NEOSSOLO LITÓLICO (RL): solos rasos, não hidromórficos, horizonte A diretamente sobre a rocha ou C de pequena espessura, pedregoso e/ou rochosos, drenados com horizonte A pouco espesso, cascalhento, textura média arenosa, siltosa ou argilosa. Encontrados em áreas acidentadas de serra e em encostas íngremes.

NEOSSOLO QUARZARÊNICO (RQ): solos minerais derivados de sedimentos arenoquartzosos do grupo Barreiras do Terciário e sedimentos marinhos do Holoceno, arenoso, baixa fertilidade e alta suscetibilidade à erosão, profundos, horizonte superficial A, fraco ou moderado. Ocorrem nos terraços rebaixados relacionados aos tabuleiros Costeiros e na Baixada Litorânea.

Fonte: EMBRAPA. Elaborado pela autora (2018).

Figura 6 - Mapa de classificação do solo da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco (EMBRAPA, 2013).



Fonte: EMBRAPA (2013); Elaborado pela autora (2018).

Na Figura 7, é possível visualizar a localização dos 10 pontos/áreas analisados nas áreas de maior e menor altitude, que define a tipologia do solo correspondente a cada ponto/área no perímetro. Onde é possível observar que nas áreas mais elevadas o tipo de solo predominante foi o Neossolo Litólico. Enquanto que nas áreas planas, nove dos 10 pontos/área, predominam o solo tipo Argiloso Amarelo, distribuído entre os três municípios e em apenas um ponto/área o tipo solo existente é Neossolo Quartzarênico, com abrangência no município de Lagoa Grande.

4.5 Vegetação

A fitofisionomia predominante da Caatinga caracteriza uma floresta aberta, é formada por Savana-Estépica, devido ao grande déficit hídrico no semiárido e de acordo com a classificação do IBGE, é composta por quatro subgrupos: Savana Estépica Florestada, savana-Estépica Arborizada, Savana-Estépica Parque e Savana-Estépica Gramínea Lenhosa. A predominância de uma vegetação seca onde exibe três tipos de estratos diferenciados.

Espécies de porte arbóreo que atingem de 8 a 12 m de altura, espécies de estratos arbustivos alcançando de 2 a 5 m, geralmente são espécies suculentas dentre elas cactáceas e bromeliáceas e espécies com estratos herbáceos de porte baixo. Que pode atingir menos de 2 m de altura, com representatividade em áreas de Caatinga Hiperxerófila com trechos de floresta Caducifólia.

Segundo SEMAS (2014) as famílias mais representativas encontradas na área da RVS Tatu-Bola totalizam 66% do componente florístico, sendo as 34% restantes representadas por 20 famílias que consiste menos de duas espécies por família. As seis famílias mais representativas encontradas área estão descritas na tabela 3.

Tabela 3 - Famílias da Vegetação Predominante na Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola.

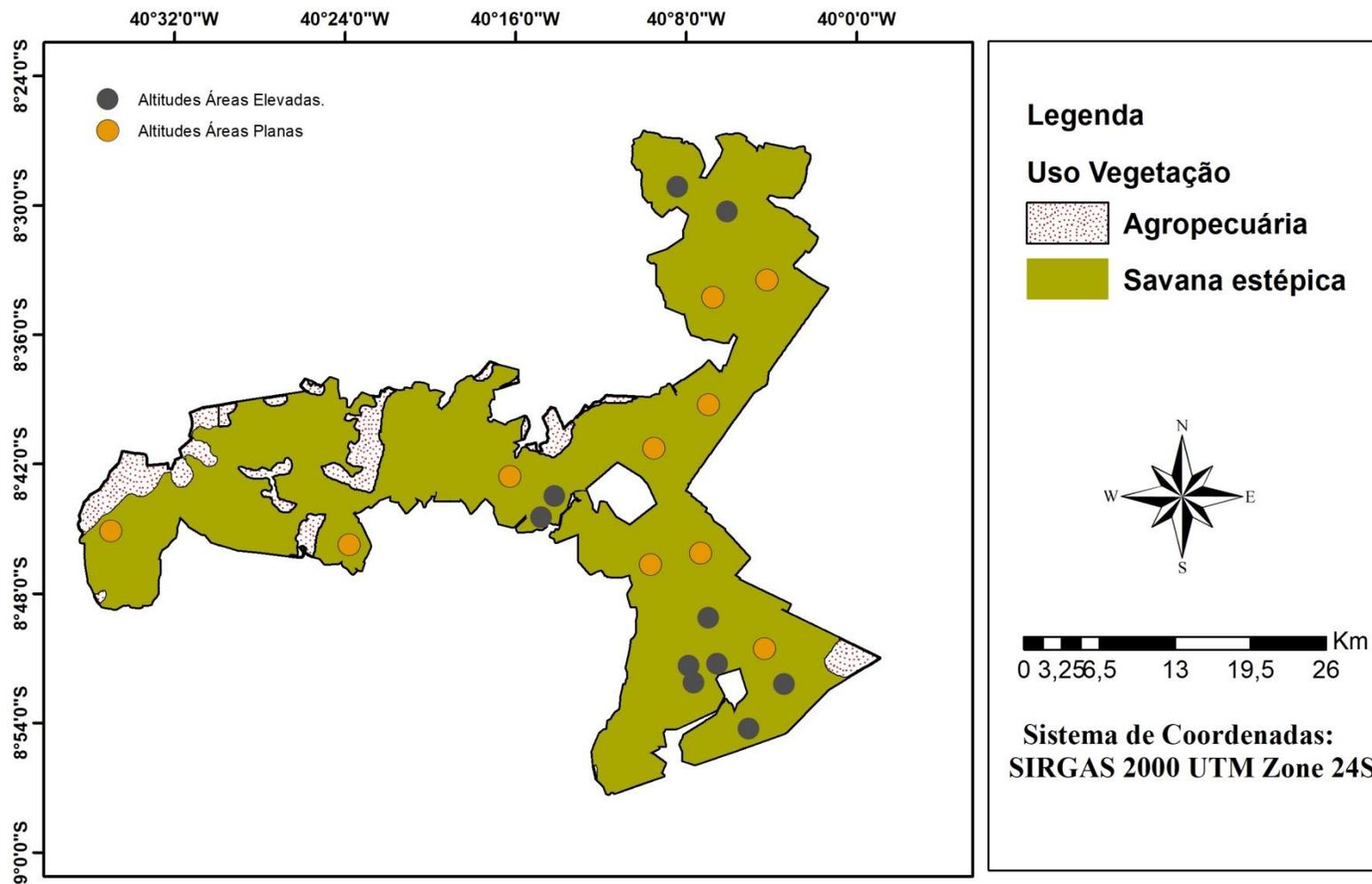
Família	Representatividade
Fabaceae	26%
Euphorbiaceae	13%
Cactaceae	10%
Malvaceae	7%
Bromeliaceae	5%
Capparaceae	5%

Fonte: SEMAS (2014). Adaptado pela autora.

Estas famílias são características da vegetação do semiárido por apresentarem adaptações morfológicas e fisiológicas para sobrevivência em ambientes inóspitos que possuem um grande déficit hídrico, devido a vários fatores climáticos como índices pluviométricos muito abaixo da média, umidade relativa do ar e das altas temperaturas que elevam às taxas de evapotranspiração, por consequência da radiação solar. A relação das principais espécies vegetais representantes das famílias citadas na Tabela 3, que estão descritas na proposta de criação do Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola (SEMAS, 2014), em documento disponível no Anexo B.

No mapa de uso e cobertura da terra, baseado na classificação do PROBIO (2008), na Figura 8, foi mostrada que grande parte do perímetro é formada por Savana-Estépica e algumas áreas mostram uso de atividade agropecuária, áreas essas que evidenciam mudanças na paisagem, posto que a composição e estrutura vegetal equipara-se a área de caatinga antropizada. A demarcação do perímetro da Unidade de Conservação do Tatu-Bola em sua criação estava no entorno de assentamentos de várias comunidades demarcados pelo INCRA, e em alguns trechos, ficaram sobrepostos ao perímetro da Unidade, trechos esses que constituem áreas que podem ser designadas como reserva legal pelos assentamentos (LACERDA, ALBUQUERQUE; GALVÍNCIO, 2017), no geral, os pontos/áreas observados demonstraram uma paisagem com estado de conservação, sem a influência de atividades antrópicas.

Figura 7 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco.
(Classificação: PROBIO, 2008).



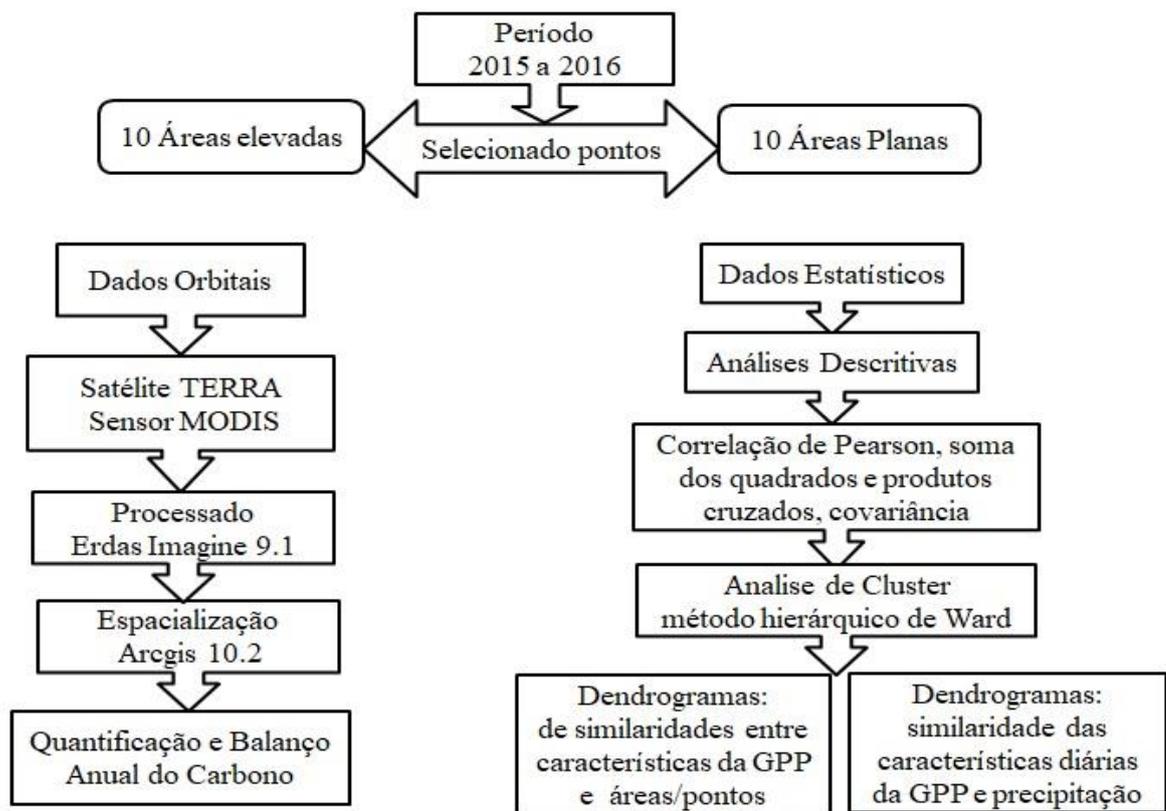
Fonte:

Elaborado pela autora (2018).

4.6 Metodologia

A figura 8 apresenta um fluxograma das etapas realizadas no desenvolvimento do respectivo trabalho, especificando as metodologias empregadas nas análises realizadas.

Figura 8 - Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.7 Dados orbitais

Para o desenvolvimento desse trabalho foram previamente selecionados dez pontos considerando as áreas onde as feições do relevo apresentavam maiores altitudes e dez pontos em áreas planas. Para a realização das análises foram empregadas imagens do sensor MODIS do satélite TERRA, que possui 39 bandas, duas operando com resolução de 250 m, cinco com resolução de 500 m e vinte e nove operando com a resolução de 1 km.

Para análise dos parâmetros correspondentes ao estudo foi utilizado o Produto MOD 17, disponibilizado pelo site do serviço geológico dos Estados Unidos, Glovis (USGS). As

imagens foram convertidas de 16 para 8 bits, e do formato (*Hierarchical Data Format - HDF*) para o formato (*Georeferenced Tag image File Format - Geo-TIFF*) no software MODIS Reprojection Tool 4.1, desenvolvido pela (*Earth Resources Observation and Science Center-EROS*).

As imagens adquiridas são referentes aos anos de 2015 e 2016, obtidas a partir do tile H14V09, com resolução de 1 km, e processadas pelo *software* Esdras Imagine 9.1 para obter a quantificação do carbono, e espacializadas pelo Arcgiz 10.2, para elaboração de mapas da produção primária bruta mensal e do balanço anual do carbono.

Para quantificação da produção primária bruta, foi utilizado o Produto MOD17 do sensor MODIS, que concerne em estimar a Produção Primária, relacionando a eficiência do uso da luz - ϵ , a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR) e a radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Este produto possui três camadas, a produção primária líquida, a produção primária bruta, e a de qualidade do pixel. A realização de cada soma pelo MOD 17 atende a um período de oito dias da GPP diárias resultando em 46 imagens/somas geradas para cada ano. Para estimar a GPP diária, foi realizada a divisão do valor encontrado nos primeiros 45 dias, por oito e divisão por cinco, do período final, e sendo o ano bissexto, a divisão seria dividida por seis. Para obtenção do algoritmo de estimativa da produção primária bruta com base no sensoriamento remoto, foi utilizada a equação 1:

$$GPP = \epsilon \times APAR = \epsilon \times fAPAR \times PAR \quad (1)$$

Onde: ϵ é a eficiência da conversão da luz absorvida, ou eficiência de uso da luz, APAR é a densidade do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa, integrado durante um período de tempo ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$). $fAPAR$ é a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida, derivado através de resoluções espectrais (GOWARD e HUENNRICH, 1992; RUIFY et al., 1994; SELLERS 1985).

Para análise da espacialização da produção primária, foi realizada elaboração de mapas mensais do período de 2015 e 2016, e para obter o mapeamento do balanço de carbono anual, foram utilizadas 46 imagens para gerar cada mapa, possibilitando averiguar quais áreas apresentaram maior variação no sequestro de carbono e comparar os resultados obtidos com as diferentes feições observadas no perímetro. Ao estimar a produção primária bruta, segundo Moraes et al., (2017) é necessário utilizar três parâmetros de entrada de três fontes: dados meteorológicos produzidos a cada seis horas; resolução espacial distribuída de 1° por $1,25^\circ$; realizar o cálculo da (ϵ) utilizando constantes específicas baseadas em oito classes de biomas

presentes no produto de cobertura da terra do MODIS; e estimar a (fPAR) diária a partir de dados de cobertura da terra e as refletâncias corrigidas.

4.8 Dados estatísticos

Para relacionar os dados estatísticos com a quantificação do carbono e os fatores que influenciam na produção primária, observadas no período de 2015 a 2016, foram realizadas análises descritivas da GPP, obtendo a Correlação de Pearson, Soma de Quadrados e Produtos Cruzados, Covariância através de Análises de Cluster, aplicando o método hierárquico de Ward, representado por um diagrama bi-dimencional, onde cada ramo representa um elemento, e a raiz, o agrupamento de todos os elementos.

O Método de Ward relaciona a distância entre dois agrupamentos obtidos através da soma dos desvios quadrados dos pontos aos centroides, com objetivo de minimizar a soma dos quadrados dentro do agrupamento. Cuja distância é calculada utilizando a matriz de distância observada na equação 2: disponibilizado pelo site <https://support.minitab.com>.

$$d_{mj} = \frac{(N_j + N_k)d_{kj} + (N_j + N_l)d_{lj} - N_j d_{kl}}{N_j + N_m} \quad (2)$$

Onde:

- d_{mj} é a distância entre os agrupamentos m e j
- m agrupamento mesclado que consiste nos agrupamentos k e l, com $m = (k,i)$
- d_{kj} distância entre os agrupamentos k e j
- d_{lj} distância entre os agrupamentos l e j
- d_{kl} distância entre os agrupamentos k e l
- N_j número de observações no agrupamento j
- N_k número de observações no agrupamento k
- N_l número de observações no agrupamento l
- N_m número de observações no agrupamento m

Para comparar a similaridades e dissimilaridades entre as altitudes, foram gerados os seguintes dendrogramas:

- ✓ Dendrogramas de similaridades das áreas/pontos das áreas de maiores e menores altitudes, com base nas medidas de distância euclidiana do algoritmo de Ward correlacionando os grupos similares das características fisiográficas formados entre nas áreas mais elevadas e nas áreas planas. Onde foram formados agrupamentos relacionando as médias de GPP, obtidas a partir dos 10 pontos analisados dos 86 dias sequenciais para áreas de maiores altitudes e para áreas planas;
- ✓ Dendrogramas de dissimilaridade da formação de agrupamentos dos 86 acessos da GPP, obtido através do algoritmo de Ward com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2) utilizando medidas de corte de 5% para as áreas de maiores altitudes e 2% para áreas planas, relacionando as características de GPP observadas, com intuito de comparar as médias diárias da GPP, com as variações dos índices pluviométricos e temperaturas, acumulados de oito dias, observados no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Relevo

A Figura 9 exibe os mapas de elevação e declividade elaborados para entender a influência da altitude no sequestro do carbono no perímetro da RVS Tatu-Bola. Utilizando os dados de classificação de relevo da Embrapa (1978), observados na página 37 no item feições de relevo (Tabela 2) onde consta os valores relativos à classificação do relevo em percentual, possibilitando caracterizar as feições de relevo existente na área.

A Figura 9A representa o nível de elevação do relevo no perímetro, que expressa feições características da depressão Sertaneja com altitudes que variam de acordo com a superfície pediplanada e apontam altitudes mais predominantes que variam entre 400 a 450 m em toda extensão da Unidade de Conservação, também observamos em alguns pontos dos três municípios com altitudes entre 500 e 550 m com maior predominância no município de Petrolina, e poucas áreas com altitudes que variam de 550 a 600 m, porém as altitudes mais elevadas no perímetro estão acima de 600 m, e ao norte do município de Santa Maria da Boa Vista, áreas que podem chegar a 778 m, caracterizadas como serras.

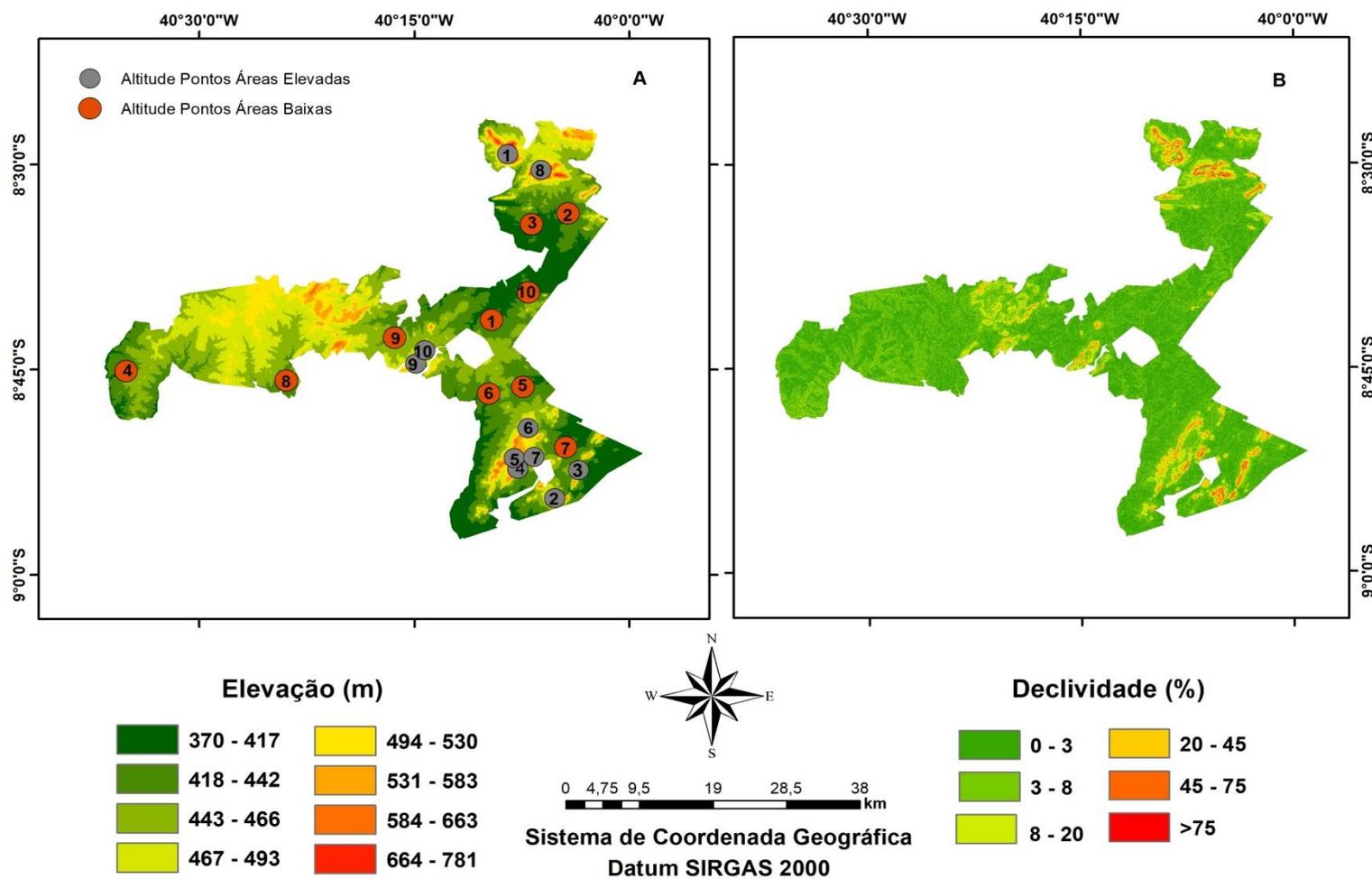
Na Figura 9B a declividade encontrada na RVS caracteriza as classes de relevo existente no perímetro, uma grande porção apresentou valores percentuais em torno de 0 a 3%, característicos em relevo plano, e também é perceptível uma grande área nos três municípios predomina o relevo suave ondulado, com percentuais de declividade em 3 a 8%. Entre 8 a 20% predomina o relevo ondulado, perceptível em algumas porções de Petrolina e ao norte de Santa Maria da Boa Vista e ao sul de Lagoa Grande. Os relevos caracterizados como forte ondulado, montanhoso e escarpados, apresentam percentuais entre 20 a 75%, são observados em pequenas porções nos municípios de Lagoa Grande e Santa Maria da Boa Vista. A partir dessas observações é possível relacionar os resultados da quantificação do sequestro de carbono com base nas classes do relevo encontradas no perímetro. Na Tabela 4, é possível observar a altitude referente de cada ponto identificado no mapa de elevação da Figura 9A.

Tabela 4 - Altitudes dos pontos observados nas áreas mais elevadas e áreas planas

Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Altitude (m)										
Áreas Elevada	732	685	664	668	670	673	701	774	639	620
Altitude (m)										
Áreas Planas	416	427	429	445	422	424	426	441	442	426

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 9 - Mapa de elevação (A), Mapa de declividade (B) da Unidade de Conservação Refugio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco.



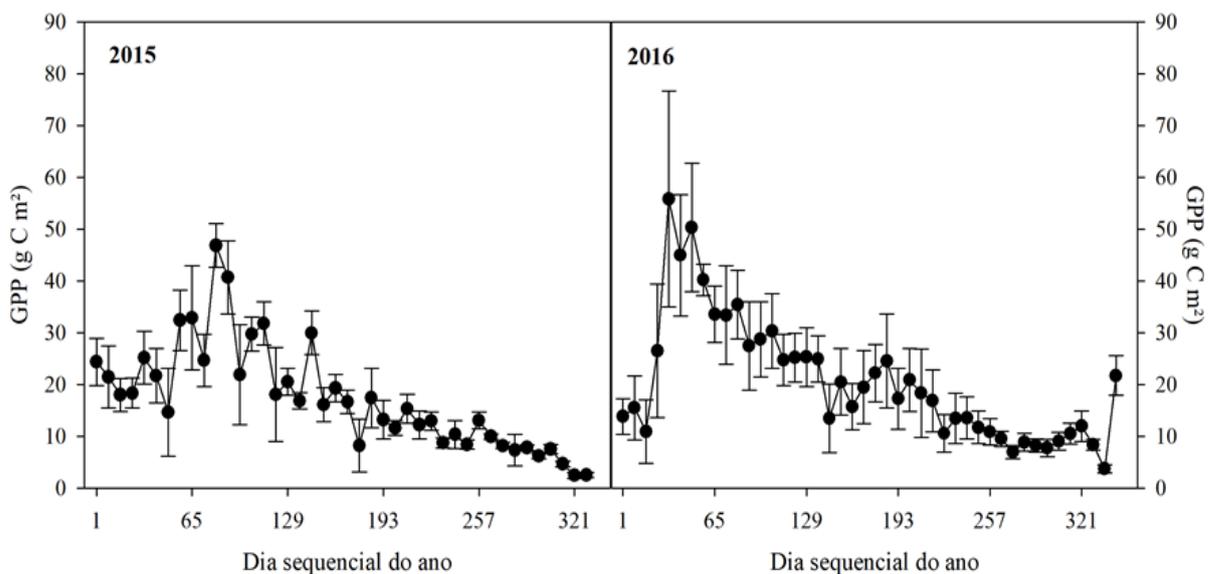
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

5.2 Quantificação da produção primária bruta das áreas com maiores altitudes e áreas planas.

A estimativa da produção primária bruta nas áreas mais elevadas nos dez pontos/áreas observados na Figura 10 apontam as variações da GPP e relação com os episódios de precipitações ocorridas para o mesmo período no perímetro. Para tanto foi elaborada a (Tabela 5) onde constam os valores médios de precipitação mensal dos referidos anos analisados, estabelecendo as variações da GPP entre os períodos chuvosos e de estiagem, que é fator determinante no crescimento da vegetação. Percebe-se que ocorreram picos de GPP em ambos os anos justamente nos meses de maior ocorrência de chuvas.

Em 2015, a precipitação média acumulada de janeiro a abril foi de 198,3 mm. Nota-se que nesse período houve variações no sequestro do carbono, com maior pico observado no dia sequencial (DS) 81, com média de 46,87 g C/m², e desvio padrão de 4,2. Enquanto em 2016, a precipitação foi mais expressiva nos três primeiros meses do ano, de janeiro a março com volume médio de precipitação acumulada dos três meses de 324,1 mm, acarretando variações no sequestro de carbono mostrando maior pico no DS 33, com um volume médio de 55,84 g C/m², apresentando um desvio padrão de 20,79, confirmando a relação existente entre a GPP, os índices pluviométricos e a vegetação.

Figura 10 - Produção primária bruta de áreas com maiores altitudes



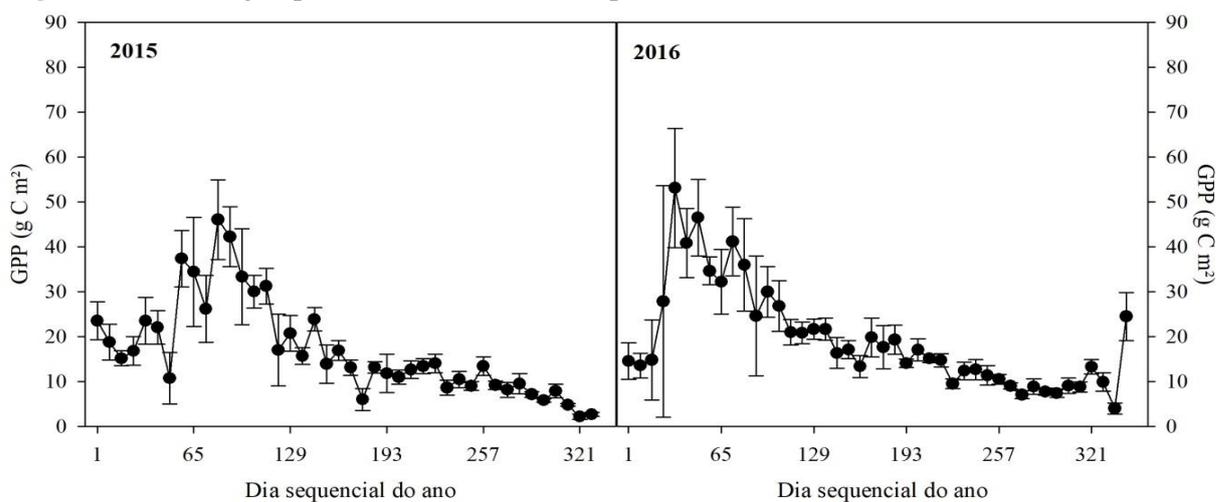
Fonte: Acervo da autora (2017).

Tabela 5 - Médias mensais de precipitação pluviométrica no período de 2015 e 2016.

Precipitação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2015	14,7	44	72,4	67,2	7,6	1,3	3,9	0	0	5	0	23,5	239,6
2016	269,1	43,1	11,9	1	1,5	1,6	1	0	0	9,1	8,1	25,1	371,5

Fonte: IPA - Petrolina. Adaptada pela autora (2018).

Na Figura 11 é possível verificar as variações no sequestro de carbono nas áreas planas, evidenciando as maiores diferenças nos primeiros meses dos dois anos (2015 e 2016). Em 2015 a maior média identificada foi de 46,03 g C/m², e desvio padrão de 8,81, observado no DS 81, coincidindo com o período que obteve os maiores volumes pluviométricos no perímetro, com precipitação média acumulada de 72,4 mm, ocorridas no mês de março, e o menor valor observado foi de 2,49 g C/m², no DS 321, período com baixos índices pluviométrico. Enquanto que em 2016, o pico mais evidente, foi de 53,14 g C/m², com desvio padrão de 13,26, observado no DS 33, os dados pluviométricos nessa data, apresentaram precipitação bem acentuada, visto que no mês de janeiro de 2016, foram registrados os maiores volumes de chuvas, de 269 mm, acarretando o crescimento da vegetação, em latência no período de estiagem, consequentemente elevando o volume de carbono sequestrado. Enquanto que o menor valor observado foi de 3,75 g C/m², no DS 337, evidente no período de pouca ocorrência de chuvas.

Figura 11 - Produção primária bruta das áreas planas.

Fonte: Acervo da autora (2017).

Analisando os resultados encontrados nas duas áreas estudadas, de maior e menor altitude, foi possível confirmar a influência dos fatores meteorológicos com as médias de

GPP. No entanto foram observados os mesmos padrões nas maiores e menores valores nas médias quando relacionadas com os períodos chuvosos e secos.

Contudo as áreas mais elevadas apontaram maiores valores nas médias de GPP e segundo Moura et al., (2007), os aspectos de relevo definem alguns locais com maiores altitudes, e, conseqüentemente, microclimas específicos. Outra característica observadas em áreas mais elevadas consideradas regiões de brejo é o balanço hídrico mais favorável destas regiões (RODRIGUES et al., 2008), esses aspectos podem explicar as maiores médias observadas nas áreas com maiores altitudes. Assim como a relação da concentração de carbono nos tecidos vegetais varia com a espécie, com a fase de desenvolvimento, estado nutricional e com as características edafoclimáticas da região (MALCON; PITELKA, 2000).

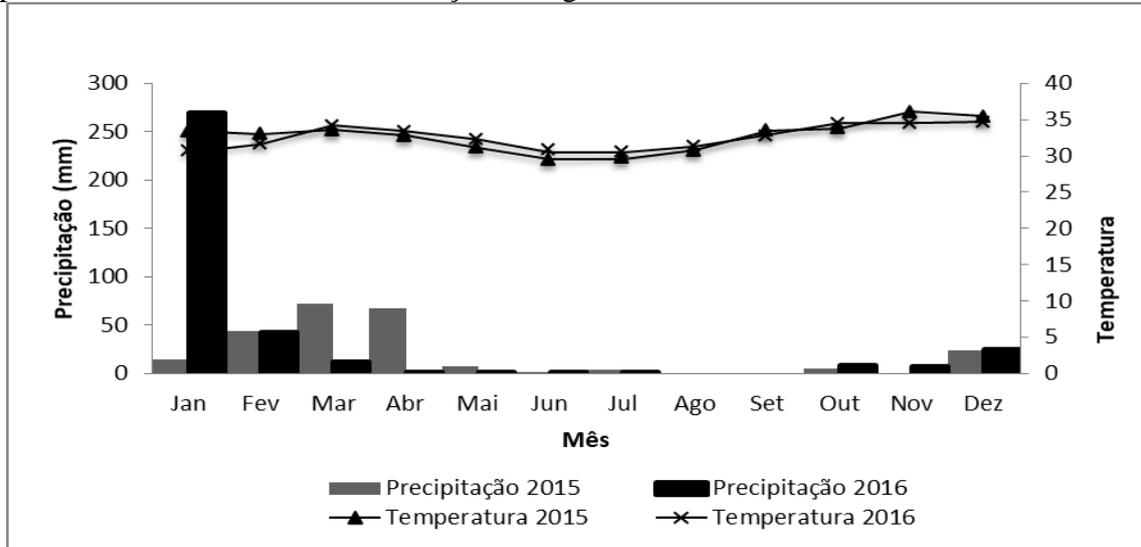
5.3 Variação dos índices pluviométricos e temperatura entre os anos 2015 e 2016.

As variações pluviométricas refletem nas características vegetais em todo semiárido, e segundo Cabral et al., (2004) nessas regiões, em diversos anos as chuvas ocorrem em apenas poucos meses, ficando o restante do ano sem nenhuma precipitação. Compreender essas variabilidades pode contribuir para o entendimento das variações no sequestro de carbono.

Na Figura 12, pode-se observar que entre os dois anos analisados houve os episódios de chuva ocorreram nos quatros primeiros meses de cada ano (janeiro a abril), caracterizados como período chuvosos, enquanto que nos meses subsequentes predominou o período de estiagem. A precipitação observada entre os dois anos ficaram abaixo da média anual para o semiárido.

Em 2015 o acumulo anual foi de 239,6 mm, com maiores precipitação entre março e abril, compreendendo o período mais chuvoso, com temperaturas elevadas caracterizando um ano demasiadamente quente, com forte influência do El Niño, com variações de temperaturas entre 29 a 36,1 °C. Enquanto que em 2016 ocorreu um período mais acentuado de chuvas observado em janeiro, que contribuiu com uma maior média anual de 371,5 mm, com as variações térmicas entre 30 a 35,4 °C.

Figura 12 - Precipitação pluviométrica e temperatura mensal, do período de 2015 e 2016, no perímetro da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola Pernambuco.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

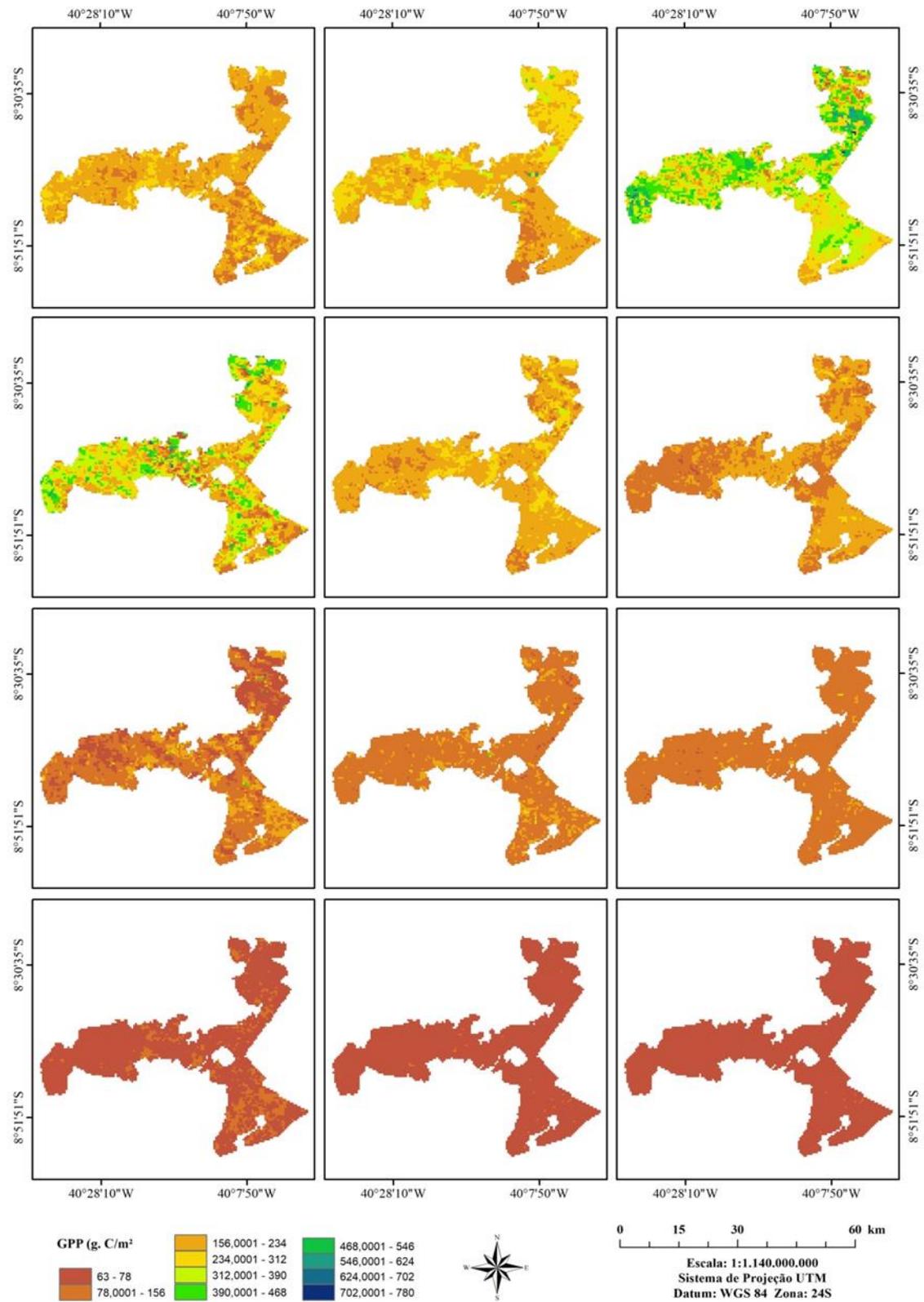
5.4 Variação mensal da produção primária bruta entre os anos 2015 e 2016.

A variabilidade da produção primária bruta observada na Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, foi influenciada por fatores climáticos, como, precipitação, temperatura, umidade do ar, que afetam a disponibilidade hídrica da área.

Em 2015 caracterizado como um ano seco, (Figura 13) os meses de janeiro e fevereiro apresentaram redução na GPP influenciado pela baixa precipitação, enquanto que os meses março e abril registraram os maiores valores de GPP, com 104,68 e 139,29 g C/m⁻², respectivamente. Nos meses posteriores foi possível observar como a sazonalidade da precipitação pluviométrica ocasionou variações na GPP, com redução nos valores das médias, evidentes a partir do mês de maio, seguido de gradiente decrescente observado nos meses subsequentes com variações entre 87,31 a 9,73 g C/m⁻².

De modo geral, as temperaturas são muito elevadas no semiárido, que contribuem com a diminuição dos índices pluviométricos e as altas taxas de evapotranspiração, propiciando a formação de uma vegetação mais seca, do tipo caatinga. Assegura Moura et al., (2007), que a variabilidade interanual da pluviometria, associada aos baixos valores totais anuais pluviométricos sobre a região Nordeste do Brasil, é um dos principais fatores para a ocorrência dos eventos de secas, caracterizada por acentuada redução do total pluviométrico. Que possivelmente contribui com assimilação e as variações no sequestro de carbono.

Figura 13 - Variação mensal da Produção Primária Bruta (GPP) da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre, Pernambuco, para o ano de 2015.



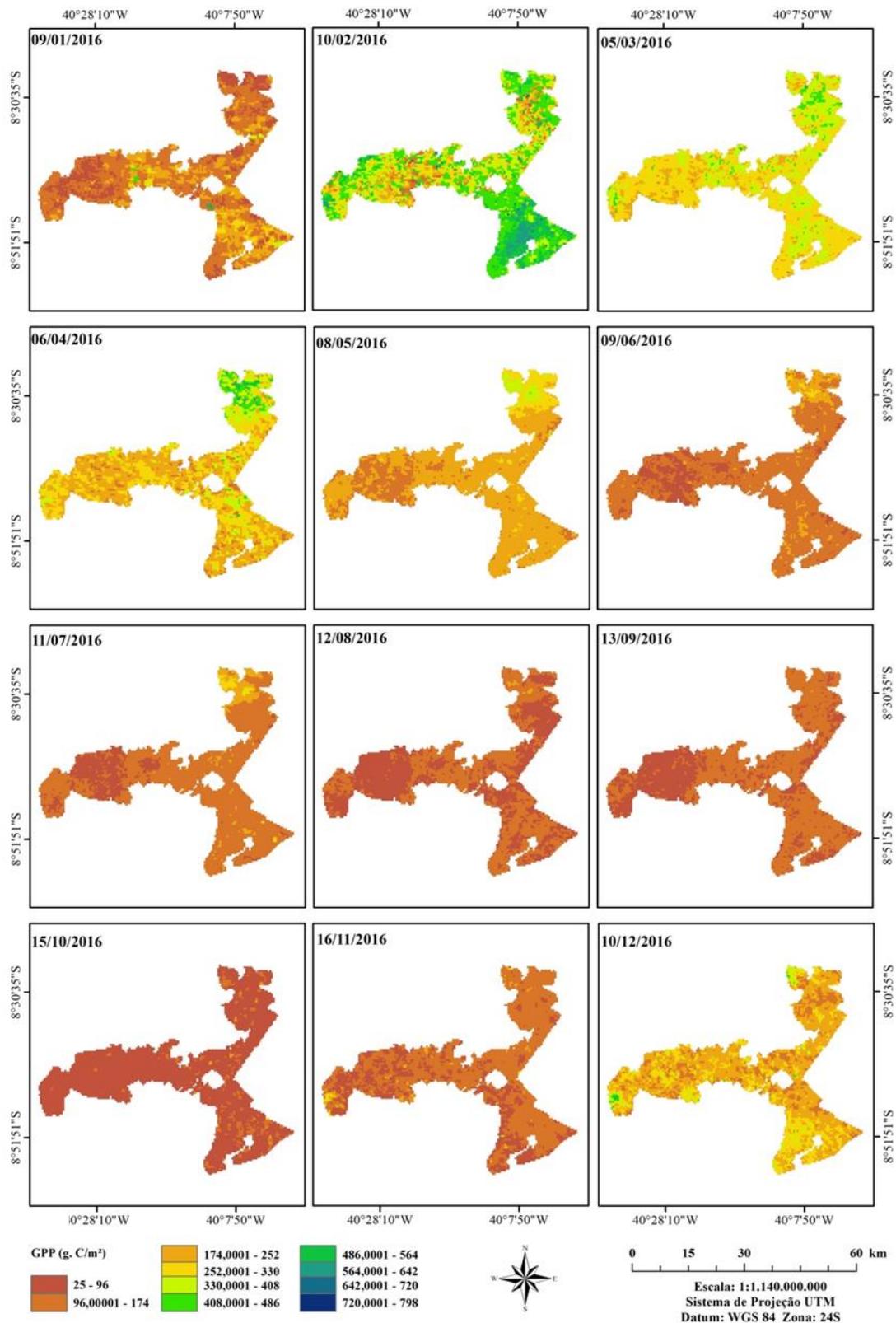
Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

Em 2016 o ano se inicia com baixa pluviometria (Figura 14), o mês de janeiro apresentou uma baixa assimilação de carbono com média mensal de 66,9 g C/m⁻². No entanto nos meses de fevereiro, março e abril houve uma variação expressiva em relação ao mês de janeiro, onde foi percebido valores entre 111,41 a 151,19 g C/m⁻², não necessariamente nessa ordem, com destaque nas áreas onde predominam as feições do relevo com maiores altitudes. A partir do mês de maio quando foi iniciada a estação seca, a GPP apresentou uma redução na assimilação de carbono com valores variando de maio a julho entre 78,02 a 89,01 g C/m⁻² (em ordem decrescente). De agosto a dezembro as médias da GPP reduziram ainda mais, o maior valor observado foi de 39,2 g C/m⁻² e menor valor de 24,97 g C/m⁻².

Comparando os resultados da variação mensal da GPP entre os anos de 2015 e 2016, é percebido que a variabilidade sazonal da precipitação foi o fator que mais influenciou na variação das médias de GPP obtidas nos referidos anos. Os baixos índices pluviométricos, as temperaturas elevadas propiciaram uma maior taxa de evapotranspiração, ocasionando grande déficit hídrico nos referidos anos que enfatiza Martins, Branco e Toledo (2010), durante esses períodos de baixa disponibilidade hídrica as plantas fecham os estômatos para evitar a perda de umidade, e muitas vezes perdem as folhas, não havendo a mínima ou nenhuma absorção de CO₂ da atmosfera, ou seja, quase não ocorre crescimento vegetal.

Em 2015 o período chuvoso foi demasiado curto, quando se observa os valores registrados dos índices pluviométricos dos meses considerados como períodos chuvosos, que equivale aos meses de janeiro a abril, que ocasionou redução nos valores nas médias da GPP. Já em 2016 o período chuvoso foi mais representativo em termos de volume de precipitação, pois ocorreu um grande episódio de chuva no mês de fevereiro, que proporcionou um maior quantitativo do carbono assimilado elevando as médias da GPP nos primeiros meses do referido ano.

Figura 14 - Variação mensal da Produção Primária Bruta (GPP) da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre, Pernambuco, para o ano de 2016.



Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

5.5 Balanço anual do carbono

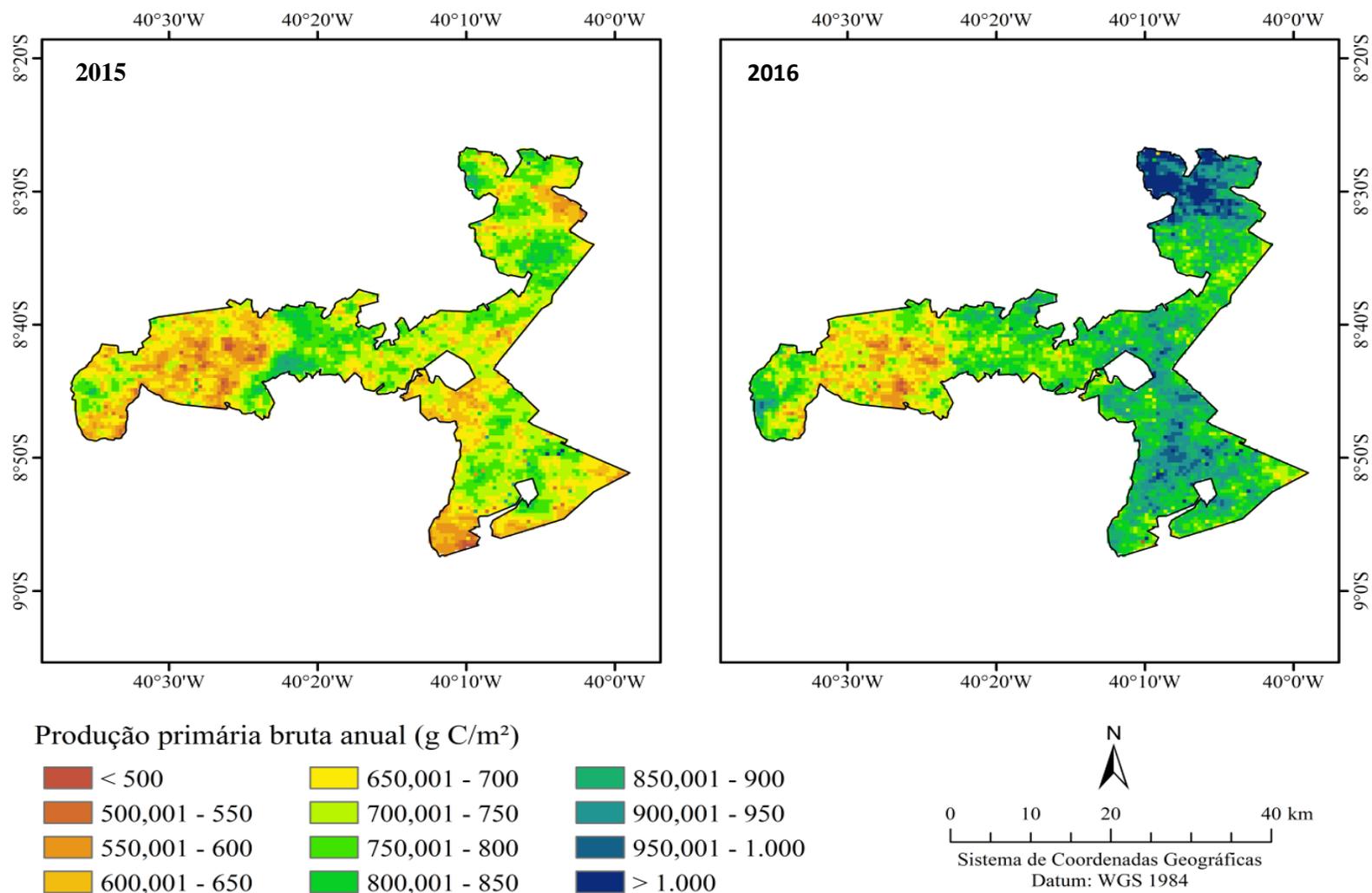
Na Figura 15 a variação da GPP entre nos anos de 2015 e 2016, observar-se a no que se referem às altitudes, nas áreas de maiores altitudes as médias anuais da GPP foram de 731,03 e 904,09 g C/m⁻², para o ano de 2015 e 2016, respectivamente, enquanto nas áreas planas foi de 714,09 e 852,96 g C/m⁻² para o ano de 2015 e 2016. Nota-se que houve maiores variações da GPP, nas áreas com maiores altitudes, pois apresentaram as maiores diferenças entre as médias. Segundo Cabral et al., (2004) nas superfícies de níveis mais elevados sobressaem pequenos setores onde a altitude e disposição geográfica influem sobre o clima, permitindo maior retenção de umidade e condições climáticas mais amenas.

No ano de 2015 nota-se que o predomínio da classe com valores de GPP anual acumulados entre 650 a 700 g C/m⁻², foi mais representativo em grande parte do perímetro, também ficou evidente as classes com valores entre 750 e 800 g C/m⁻², visto que esse ano foi acometido por episódio de seca prolongada, e baixa precipitação, tendo registrado um acúmulo de chuvas de 239,6 mm durante o ano, acarretando um grande déficit hídrico, comprometendo o crescimento vegetal, esses fatores influenciaram diretamente nos baixos valores da produção primária.

Entretanto o ano de 2016 os valores de GPP se mostraram mais elevados em grande parte do perímetro, evidenciando a classe com valores de 801 a 850 g C/m⁻², e certa abrangência da classe com valores entre 900 a 950 g C/m⁻². Nota-se que as áreas mais elevadas ao norte do município de Santa Maria da Boa Vista atingiram os valores da classe de 950 > 1000 g C/m⁻², indicando que a GPP nessas áreas foram mais eficientes, que pode ser explicado pelas condições climáticas e fisiográficas da área, que se diferenciam em relação ao relevo, que segundo Cabral et al (2004) em áreas altitudes elevadas, formam-se um microclima diferenciado do entorno, a temperatura é mais amena e, por efeito orográfico, a pluviosidade é bastante superior à das áreas circunvizinhas.

Nos anos 2011 e 2012, Moraes et al., (2017) analisaram a variação da GPP anual no município de Petrolina e encontrou valores de 113 a 1152 g C/m⁻² em 2011, e 92 a 1280 g C/m⁻² em 2012, comparando as GPP em áreas de caatinga preservada e agricultura irrigada, observou os maiores valores de GPP >900 g C/m⁻² em 2011, em 2012, a área da caatinga obteve os maiores valores de GPP entre 500 e 600 g C/m⁻², e nas áreas irrigadas 900 g C/m⁻², em virtude das chuvas abaixo da média histórica. Variações no carbono sequestrado na paisagem resultam de alterações do clima, da concentração de CO₂ atmosférico e deposição do azoto (PAN et al., 2009).

Figura 15 - Balanço anual do carbono da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco. (Período de 2015 a 2016).



Fonte: Acervo da autora (2018).

5.6 Análises estatísticas aplicando o método de Ward para as áreas com maiores altitudes e áreas planas.

Segundo Hair et al., (2005), o método de Ward consiste em um agrupamento hierárquico cuja medida de similaridade é calculada pela soma de quadrados entre dois agrupamentos por todas as variáveis. Cujas tendências é gerar agrupamento com números mais similares de casos diminuindo a variância interna do grupo.

Foram realizadas às análises estatísticas descritivas das dez (áreas/pontos) para os 86 acessos (N) referentes aos anos de janeiro de 2015 e 2016, observados na Tabela 6. Para as áreas com maiores altitudes, foram observadas variações nas médias da GPP que oscilou entre 17,54 a 21,54 g C/m⁻², apresentando uma média total de \approx 19,019 g C/m⁻², dentre os acessos analisados. Nota-se que não ocorreram grandes variações espaciais na GPP das áreas de altitudes mais elevadas. Enquanto que os resultados das análises nas áreas/pontos em áreas planas as médias da GPP variou entre 15.562 a 19.459 g C/m⁻², e a média total de N entre \approx 18.225 g C/m⁻², também não apresentando grandes variações espaciais na GPP.

Tabela 6 - Análise descritiva dos agrupamentos encontrados pelo método Ward da produção primária bruta das áreas/pontos nas áreas de maiores altitudes e áreas planas.

Pontos	N	Cluster 1			Cluster 2		
		Áreas maiores altitudes			Áreas planas		
		Altitude (m)	Média	Desvio padrão	Altitude (m)	Média	Desvio Padrão
1	86	732	21.55	12.88	416	19.16	13.43
2	86	685	17.54	11.45	427	19.06	14.38
3	86	664	16.96	10.09	429	17.79	10.89
4	86	668	18.48	13.60	445	19.46	13.78
5	86	670	19.03	14.02	422	18.99	13.20
6	86	673	18.80	12.33	424	17.58	12.05
7	86	701	19.09	12.45	426	18.05	11.37
8	86	774	21.50	12.68	441	15.56	8.79
9	86	639	18.51	11.73	442	17.33	11.35
10	86	620	18.73	12.85	426	19.23	12.22
Média g C/m ²			19.019	11.15		18.22	11.03

Fonte: Adaptada pela autora (2018).

Diante do analisado na (Tabela 6) não havendo grandes variações espaciais na GPP das áreas com maiores altitudes, buscou-se relacionar os diferentes pontos para verificar aqueles que possuíam maiores relações, e se estas estariam relacionadas com as diferenças de

altitude. Nota-se que a maior correlação observada na Tabela 7, foi do ponto 4 com o 5, resultando no r 0,97. O ponto 4 possui altitude de 664 m e o ponto 5 altitude de 670 m. A menor correlação foi do ponto 1 com o 6, com r 0,62. O ponto 1 possui altitude 732 m e o ponto 6 altitude de 673. Portanto é possível afirmar que as diferenças nas altitudes entre os pontos foram pequenas, visto que estão entre 664 a 732 m, e considerando que todas pertencem a classes de relevo, com grau de declividade acima de $45 > 75$ %, que de acordo com a classificação da EMBRAPA são consideradas áreas montanhosas a escarpadas.

Os resultados observados para as áreas planas a GPP não apresentou grandes variações espaciais e ao relacionar os diferentes pontos visualizados na Tabela 8, aqueles com maiores relações, pressupondo estar relacionadas com as diferentes altitudes. Observa-se que a maior correlação foi do ponto 5 com o 6, r 0,91. O ponto 5 possui altitude de 422 m e o ponto 6 altitude de 424 m. A menor correlação foi do ponto 1 com o 8 com, r 0,62. O ponto 1 possui altitude 416 m, e o ponto 8 altitude de 441. As altitudes desses pontos compreendem a altitudes entre 416 a 445 m, com grau de declividade entre 03 a 20%, correspondendo às classes de relevo suave ondulado a ondulado.

Contudo, ao comparar os resultados das análises estatísticas da GPP realizadas entre as áreas mais elevadas, com as áreas planas, notou-se que os menores valores de (r) para ambas as áreas foram $> 0,60$, e os maiores foram $> 0,90$ revelando haver uma correlação considerada forte magnitude, evidenciando grande consistência dos agrupamentos, possibilitando a formação de agrupamentos semelhantes. Segundo Fisher (1954), os valores estatísticos mais aproximados de 1, comprovam haver uma forte correlação entre os parâmetros relacionados, pois uma correlação é fortemente significativa ao nível de $p = 0,01$, para um intervalo de confiança de 99%, com grau de liberdade de 3,84. Nota-se que as variáveis apresentaram covariância positiva, que compreende a um comportamento semelhante, ou seja, os menores e maiores valores das variáveis observadas se corresponderam o que representou numa forte correlação.

Tabela 7- Correlação de GPP e das áreas com maiores altitudes (Conclusão).

Correlação de Pearson Nível de Sig. (2-tailed) Soma de quadrados e produtos cruzados Covariância N	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Média (g. C/m ²)
Ponto 9	.656** .000	.830** .000	.876** .000	.857** .000	.876** .000	.704** .000	.847** .000	.738** .000	1	.805** .000	.909** .000
	8419.317	9484.332	8803.771	11620.681	12246.430	8653.747	10514.485	9334.157	11698.184	10319.310	10109.441
	99.051	111.580	103.574	136.714	144.076	101.809	123.700	109.814	137.626	121.404	118.935
	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Ponto10	.667** .000	.842** .000	.824** .000	.832** .000	.846** .000	.680** .000	.801** .000	.695** .000	.805** .000	1	.890** .000
	9380.178	10539.662	9076.406	12360.219	12953.790	9166.899	10900.917	9635.069	10319.310	14047.293	10837.974
	110.355	123.996	106.781	145.414	152.398	107.846	128.246	113.354	121.404	165.262	127.506
	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Média (gC/m²)	.817** .000	.936** .000	.930** .000	.940** .000	.957** .000	.826** .000	.948** .000	.835** .000	.909** .000	.890** .000	1
	9965.370	10161.754	8890.114	12118.151	12718.044	9657.116	11183.601	10034.200	10109.441	10837.974	10567.577
	117.240	119.550	104.590	142.566	149.624	113.613	131.572	118.049	118.935	127.506	124.324
	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86

** . A correlação é significativa no nível de 0,01 (2-tailed).

Fonte: Adaptada pela autora (2018).

Tabela 8 - Correlação de GPP entre as áreas planas. (Continua)

Correlação de Pearson Nível de Sig. (2-tailed) Soma de quadrados e produtos cruzados Covariância N	Ponto1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto7	Ponto8	Ponto9	Ponto10	Média (g/C m2)
	Ponto1	1	.761**	.690**	.686**	.699**	.625**	.747**	.795**	.656**	.667**
		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	14095.554	9538.947	7617.667	10211.525	10733.824	8440.591	10183.388	11032.711	8419.317	9380.178	9965.370
	165.830	112.223	89.620	120.136	126.280	99.301	119.805	129.797	99.051	110.355	117.240
	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Ponto 2	.761**	1	.868**	.923**	.923**	.695**	.854**	.716**	.830**	.842**	.936**
	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	9538.947	11155.788	8522.455	12223.417	12599.148	8351.524	10357.354	8844.914	9484.332	10539.662	10161.754
	112.223	131.245	100.264	143.805	148.225	98.253	121.851	104.058	111.580	123.996	119.550
	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Ponto 3	.690**	.868**	1	.863**	.889**	.725**	.847**	.810**	.876**	.824**	.930**
	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	7617.667	8522.455	8640.792	10064.398	10677.090	7660.428	9033.723	8804.408	8803.771	9076.406	8890.114
	89.620	100.264	101.656	118.405	125.613	90.123	106.279	103.581	103.574	106.781	104.590
	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Ponto 4	.686**	.923**	.863**	1	.972**	.736**	.902**	.665**	.857**	.832**	.940**
	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	10211.525	12223.417	10064.398	15728.477	15753.081	10495.137	12978.240	9746.337	11620.681	12360.219	12118.151

Tabela 8- Correlação de GPP entre as áreas planas (**Continuação**).

	Correlação de Pearson										Média (g. C/m ²)
	Nível de Sig. (2-tailed)										
	Soma de quadrados e produtos cruzados										
	Covariância										
	N										
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	
Ponto 4	120.136	143.805	118.405	185.041	185.330	123.472	152.685	114.663	136.714	145.414	142.566
	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Ponto 5	.699**	.923**	.889**	.972**	1	.752**	.921**	.714**	.876**	.846**	.957**
	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000
	10733.824	12599.148	10677.090	15753.081	16706.257	11057.228	13667.847	10785.748	12246.430	12953.790	12718.044
	126.280	148.225	125.613	185.330	196.544	130.085	160.798	126.891	144.076	152.398	149.624
	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Ponto 6	.625**	.695**	.725**	.736**	.752**	1	.857**	.650**	.704**	.680**	.826**
	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000
	8440.591	8351.524	7660.428	10495.137	11057.228	12926.338	11178.953	8640.318	8653.747	9166.899	9657.116
	99.301	98.253	90.123	123.472	130.085	152.075	131.517	101.651	101.809	107.846	113.613
	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Ponto 7	.747**	.854**	.847**	.902**	.921**	.857**	1	.734**	.847**	.801**	.948**
	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000
	10183.388	10357.354	9033.723	12978.240	13667.847	11178.953	13171.876	9849.223	10514.485	10900.917	11183.601
	119.805	121.851	106.279	152.685	160.798	131.517	154.963	115.873	123.700	128.246	131.572
	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Ponto 8	.795**	.716**	.810**	.665**	.714**	.650**	.734**	1	.738**	.695**	.835**
	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000
	11032.711	8844.914	8804.408	9746.337	10785.748	8640.318	9849.223	13669.118	9334.157	9635.069	10034.200

Tabela 8- Correlação de GPP entre as áreas planas (Conclusão).

	Correlação de Pearson										Média (g. C/m²)
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	
Nível de Sig. (2-tailed)											
Soma de quadrados e produtos cruzados											
Covariância											
N											
Ponto 8	129.797 86	104.058 86	103.581 86	114.663 86	126.891 86	101.651 86	115.873 86	160.813 86	109.814 86	113.354 86	118.049 86
Ponto 9	.656** .000 8419.317 99.051 86	.830** .000 9484.332 111.580 86	.876** .000 8803.771 103.574 86	.857** .000 11620.681 136.714 86	.876** .000 12246.430 144.076 86	.704** .000 8653.747 101.809 86	.847** .000 10514.485 123.700 86	.738** .000 9334.157 109.814 86	1 11698.184 137.626 86	.805** .000 10319.310 121.404 86	.909** .000 10109.441 118.935 86
Ponto10	.667** .000 9380.178 110.355 86	.842** .000 10539.662 123.996 86	.824** .000 9076.406 106.781 86	.832** .000 12360.219 145.414 86	.846** .000 12953.790 152.398 86	.680** .000 9166.899 107.846 86	.801** .000 10900.917 128.246 86	.695** .000 9635.069 113.354 86	.805** .000 10319.310 121.404 86	1 14047.293 165.262 86	.890** .000 10837.974 127.506 86
Média (gC/m2)	.817** .000 9965.370 117.240 86	.936** .000 10161.754 119.550 86	.930** .000 8890.114 104.590 86	.940** .000 12118.151 142.566 86	.957** .000 12718.044 149.624 86	.826** .000 9657.116 113.613 86	.948** .000 11183.601 131.572 86	.835** .000 10034.200 118.049 86	.909** .000 10109.441 118.935 86	.890** .000 10837.974 127.506 86	1 10567.577 124.324 86

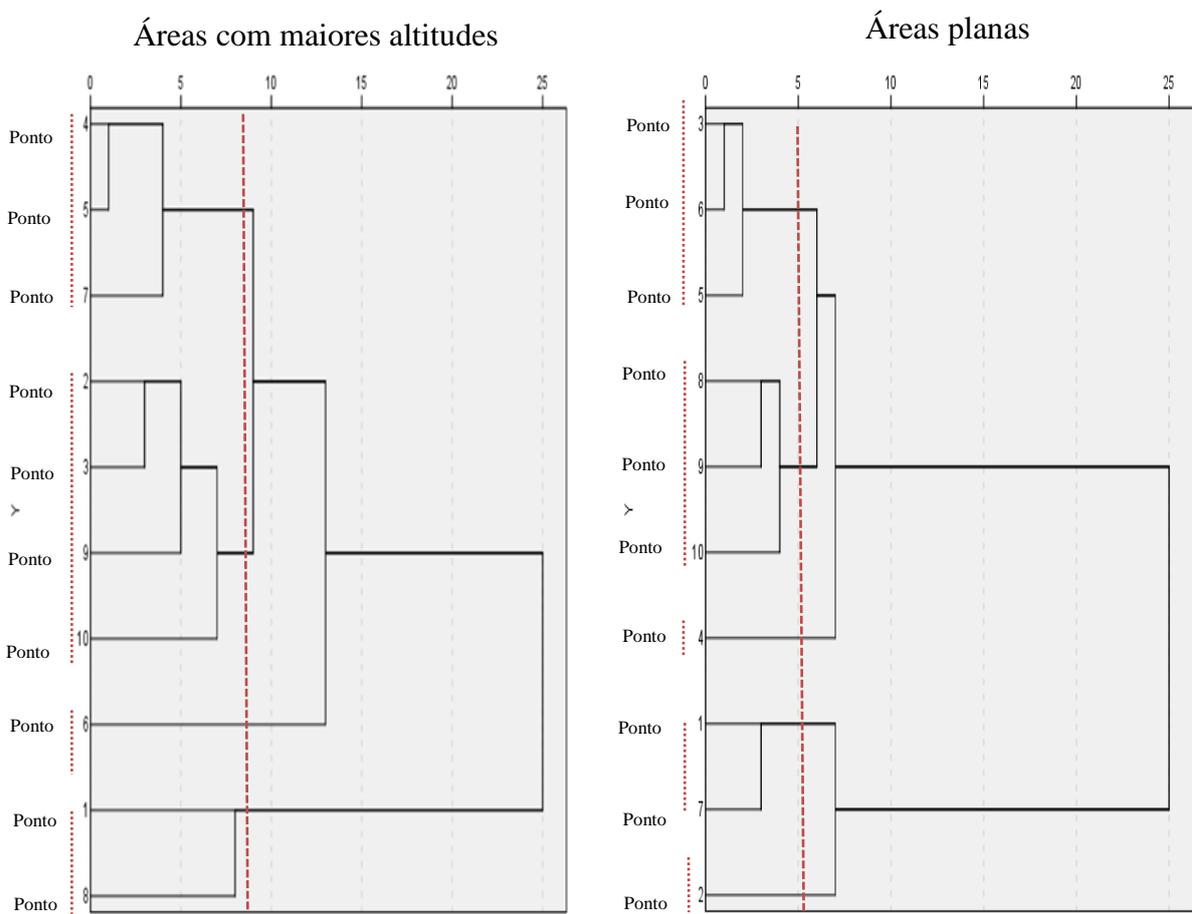
** . A correlação é significativa no nível de 0,01 (2-tailed).

Fonte: Adaptada pela autora (2018).

5.7 Análises de agrupamentos hierárquico dos pontos/áreas com características de similares das áreas de maiores altitudes e áreas planas.

Para averiguar as similaridades nas características fisiográficas das dez áreas/pontos de GPP, nas áreas de maiores altitudes e áreas planas, foram gerados os dendrogramas hierárquicos (Figura 16), baseados nas medidas euclidianas, aplicando o método de Ward, que possibilita formar grupos com o mesmo número de indivíduos tendo como base os princípios de análises de variância (MINGOTI, 2005). Foram formados quatro grupos nas áreas de maiores altitudes, enquanto que nas áreas planas cinco grupos similares foram agrupados.

Figura 16 - Dendogramas de similaridade dos 86 acessos baseados nas medidas de distância euclidiana utilizando o algoritmo de Ward.



Fonte: Adaptada pela autora (2018).

As análises de medidas de distâncias euclidianas propõem que quanto menor a distância maior a similaridade entre os elementos do grupo. Para relacionar as similaridades encontradas na formação dos agrupamentos, fatores como: tipo de solos, altitude e as

variações da GPP dos dez acessos foram investigados, com intuito de relacionar a influência desses fatores nos resultados obtidos. Os dados de GPP e altitude estão representados na Tabela 6, onde constam os resultados das análises descritivas dos agrupamentos na página 55.

Nas áreas de maiores altitudes, no grupo I corresponde aos pontos/áreas (4, 5, 7) apresentaram altitudes de 668 a 670 e 701 m, respectivamente, e a GPP variou entre 19,03 a 21,54 g C/m⁻², no grupo II os pontos agrupados (2, 3, 9, 10) com altitudes de 685, 644, 639, 620, exibiram variações na GPP de 16,96 a 18,73 g C/m⁻², o grupo III composto por um único ponto (6) com altitude de 673 e GPP de 18,80 g C/m⁻² e no grupo IV agrupou os pontos (1, 8) com altitudes de 732, 774, houve variações na GPP de 18,48 a 21,55 g C/m⁻².

Nas áreas planas o grupo I o agrupamento (3, 6, 5) apresentou altitudes de 664, 673, 670 m, com variação na GPP de 16,96 a 19,03 g C/m⁻², no grupo II agrupou os ponto (8, 9, 10) com altitudes de 441, 442, 426 m, a GPP variou entre 15,56 e 19,23 g C/m⁻², o grupo III formado por um ponto isolado (4) com altitude de 445 m, e GPP de 19,46 g C/m⁻², no grupo IV os pontos agrupados (1,7) altitude 416, 426 m e GPP 18,05 a 19,16 g C/m⁻², e a GPP observada variou entre 18 a 19,23 g C/m⁻², e o grupo V composto por um único ponto (2) com altitude de 427 m, apresentou GPP de 19,06 g C/m⁻².

Observando as variações de GPP nas áreas de maiores altitudes, podemos afirmar que o grupo IV obteve os maiores volumes de GPP e as mesmas altitudes, o grupos I e III diferiu nas altitudes, porém, com GPP similar, o grupo II obteve os menores medias de GPP com maiores variações, e altitudes variadas. Nas áreas planas a maior similaridade foi observada no grupo I, tanto nos valores de GPP quanto nas altitudes, os grupos II e IV são similares por apresentar maiores variações, os grupos III e V apresentaram semelhanças na GPP e pequena variação quanto à altitude.

Fatores como precipitação, temperatura, assim como as características físicas do solo influenciam na fixação de carbono pelo processo da fotossíntese (CONANT; PAUSTIAN, 2002). A área analisada sofre influências de vários desses fatores climáticos, limitando as taxas da GPP, no que se refere às baixas taxas pluviométricas e altas temperaturas. O estoque de CO₂ é maior em áreas com maiores índices pluviométricos, temperatura moderada e solos férteis (GAO et al., 2013).

As características dos solos podem influenciar no estoque de CO₂, juntamente as características fisiográficas de uma área. A classe de solo mais predominante nas áreas de maiores altitudes foi o Neossolo Litólico, encontrados nos grupos I, II, III que de acordo com a classificação da EMBRAPA (2008) são solos rasos, com pouca espessura, podendo ser pedregosos ou rochosos, indicando ser pobre em nutrientes, ocorrem em áreas acidentadas de

serras e encostas íngremes, com presença de rocha e aos declives acentuados. Estes fatores limitam o crescimento radicular, que segundo Resende et al., (1988) nos solos em topografia íngreme, as perdas e os ganhos são grandes diante as elevadas taxas de erosão superficial. Em contra partida o grupo IV apresentou duas classes distintas de solos, o tipo Argissolo Vermelho e Amarelo e o Neossolo Litólico. O Argissolo Vermelho e Amarelo, são solos de fertilidade natural baixa, são profundos, bem estruturados e bem drenados (EMBRAPA, 2008), assim como topografia da área condiciona a intensidade e a direção dos fluxos hídricos (TORRADO, et al., 2005), que recebe os materiais que vem das áreas mais altas da vertente (OLIVEIRA, 2014).

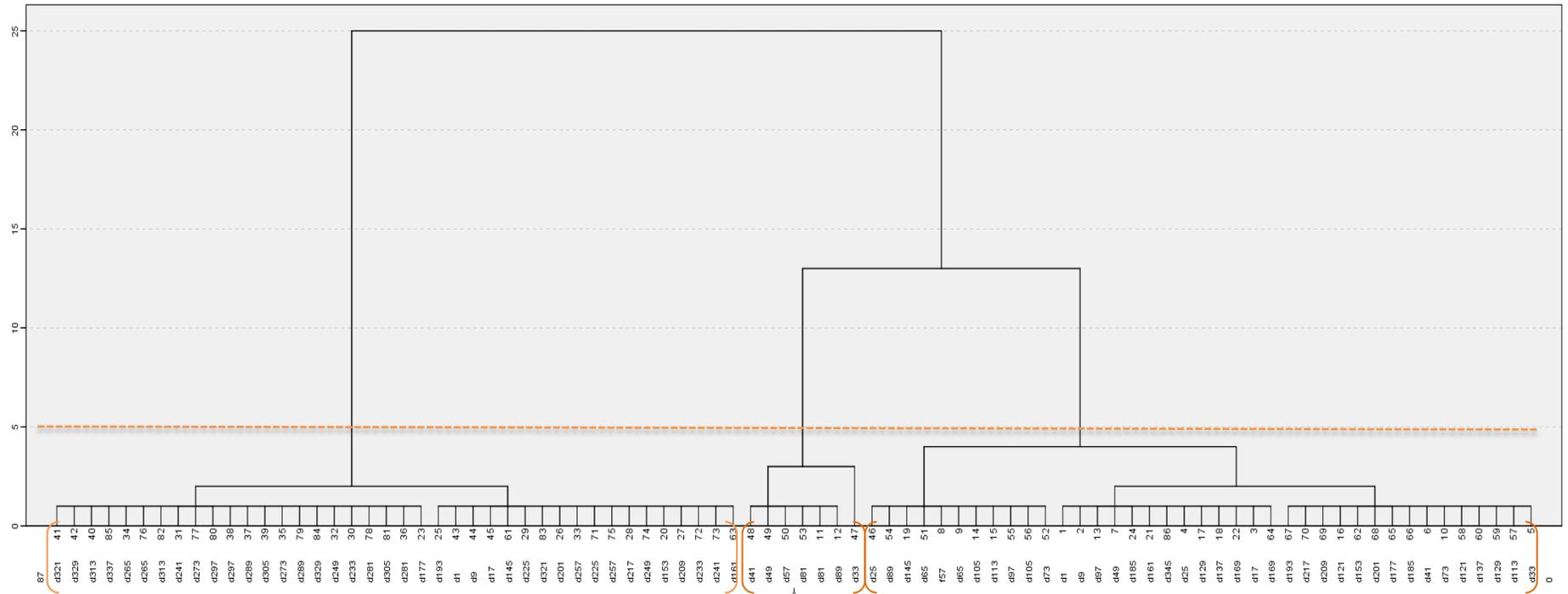
Enquanto que nas áreas planas a classe predominante de solos observados nos grupos I, II, III, V, foi o Argissolo Amarelo, entretanto no grupo IV apresentou duas classes distintas no ponto 1 o Argissolo Amarelo e no ponto 7 o Neossolo Quartzarênico o que pode explicar as variações de GPP observadas, este tipo de solo é originário de material de origem essencialmente arenoso, ocorre em área de relevo plano e vegetação de savana (EMBRAPA, 2008). Argissolo Amarelo possui baixa fertilidade natural, são de forte a moderadamente ácidos e podem apresentar horizontes coesos (EMBRAPA, 2008). Em solos Argiloso a retenção da água é maior e, portanto, com maior disponibilidade hídrica para as plantas (ALMEIDA-SCABBIA, 2011).

O Neossolo Quartzarênico, são solos minerais, profundos a muito profundos, poucos coesos, com baixa fertilidade natural, extremamente arenoso e uma capacidade de retenção de água e nutrientes muito baixa, sendo recomendado para área de preservação. Em solo arenoso, a disponibilidade de água é menor, mesmo na época de chuva, por não ser retida pelo solo, levando as plantas a adaptação de frequente de estresse hídrico, utilizando estratégias diferentes das plantas que possuem maior disponibilidade ao longo do ano (ALMEIDA-SCABBIA, 2011).

5.8 Agrupamentos hierárquicos utilizando distância generalizada de Mahalanobis (D^2) do algoritmo de Ward para áreas de maiores altitudes e áreas planas.

Para análise do agrupamento hierárquico de aglomeração sugerido por Malhotra (2006) utilizando o método de Ward, das médias da GPP no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016 para áreas de maiores altitudes (Figura 17) foi realizada a sequência de agregação dos agrupamentos, divididos com a estatística descritiva por percentil, e realizado um corte em torno de 5% da distância de Mahalanobis (D^2) máxima.

Figura 17 - Dendrograma obtido através do algoritmo de Ward com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2), para agrupamento de 86 acessos das médias de GPP para áreas com maiores altitudes do período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016.



Fonte: Adaptado pela autora (2018).

O dendograma exibiu três agrupamentos descritos na Tabela 9, formados pelos 86 acessos das médias da GPP combinado em pares pelo algoritmo de Ward, baseado no corte da maior distância observada entre grupos com intuito de identificar características similares dentro de cada grupo e características distintas entre os agrupamentos.

Tabela 9 - Formação dos grupos de 86 acessos de GPP para as áreas de maiores altitudes, segundo o algoritmo de Ward com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2).

Grupo	Acessos (N)
I	321 329 313 337 265 265 313 241 273 297 297 289 305 273 289 329 249 233 281 305 281 177 193 1 9 17 141 225 321 201 257 225 257 217 249 153 209 233 241 161
II	41 49 57 81 89 33 81
III	25 89 145 65 57 65 105 113 97 105 73 1 9 97 49 185 161 245 25 129 137 169 17 169 193 217 209 121 153 201 177 185 41 73 121 137 129 113 33

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

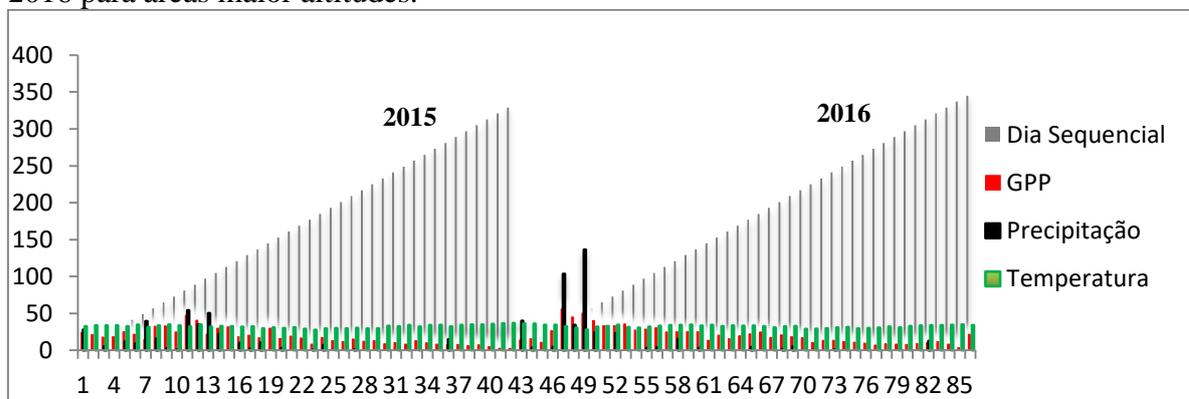
O grupo I apresentou o maior agrupamento, foi formado por 40 acessos com variação média da GPP entre 2,49 a 16,12 g. C/m⁻², observadas nos dias sequenciais (DS) 321 e 153 respectivamente, a menor média observada em novembro e a maiores identificadas em março, meses caracterizados como períodos chuvosos no semiárido, contudo o referido ano estudado foi acometido por um longo período de estiagem, que pode explicar as grandes variações observadas nesse grupo. Enquanto o grupo II formou o menor agrupamento com 7 acessos, representando as maiores médias de GPP com pouca variação entre os valores de dentro do grupo, o menor média foi de 40,21 g. C/m⁻², observada no DS 57 e a maior no DS 33 de 55,84 g. C/m⁻², observados entre os meses de janeiro a março, esse agrupamento confere as menores diferenças dentre os outros grupos.

O grupo III foi composto por 39 acessos, com valores de GPP mais elevados, o maior valor identificado foi no DS 65 de 32,89 g. C/m⁻² e o menor valor no DS 49, de 14,67 g. C/m⁻², observado nos meses de janeiro e fevereiro de 2016, o grupo mostrou uma variabilidade com constância nas médias de GPP observadas, configurando um grupo com similaridade média.

Com intuito de entender as similaridades entre os grupos com as características ambientais similares nas áreas de maiores altitudes, foram relacionado os dados de GPP com os índices pluviométricos e as temperaturas acumuladas de oito dias no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016 observado na Figura 18.

Nota-se que as chuvas estiveram mais concentradas nos primeiros meses (de janeiro a abril) com a maior precipitação observada de 54,4 mm e temperatura entre 31 a 34,9 °C em 2015 e 136,2 mm e temperaturas entre 28 a 33 °C em 2016. Coincidindo com a maior média de GPP vista no (DS) 33 do grupo II, enquanto os grupos I e III abrangeram tantos os meses de estiagem, como os chuvosos, com grandes períodos onde a precipitação foi zero e temperaturas entre 34 a 36 °C, contudo com baixa variabilidade nas médias de GPP.

Figura 18 - Variações da produção primária bruta (GPP), precipitação pluviométrica e temperatura, observados nos dias sequenciais (acumulados de oito dias) no período de 2015 a 2016 para áreas maior altitudes.

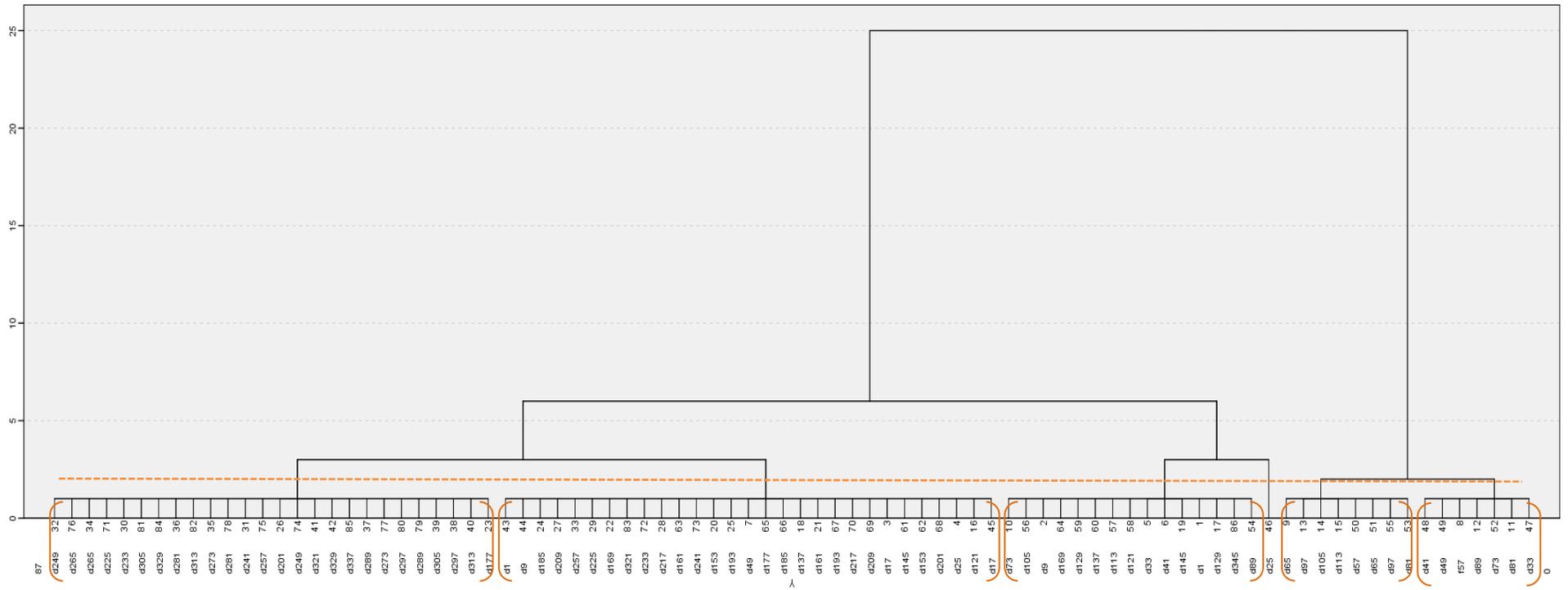


Fonte: Elaborada pela autora (2018).

O gráfico apresenta a relação da GPP com a ocorrência de episódios pluviométricos mais expressivos, e com o período de estiagem e as altas taxas de temperatura que provocam evapotranspiração e um déficit hídrico severo, que predominou nos referidos anos analisados. Contemplado com o fenômeno do El Niño, que acarretou diminuição na disponibilidade hídrica em todo semiárido, comprometendo o desenvolvimento da vegetação e o sequestro de carbono. Segundo Keersmaecker et al., (2015), extremos climáticos como as ondas de calor reduzem a produtividade primária, diminuindo disponibilidade de água e diminuição da troca líquida de CO₂ dos ecossistemas.

Na Figura 19, a sequência de agregação dos agrupamentos realizada para as áreas planas, divididos com a estatística descritiva por percentil, e realizou um corte feito na maior distância entre grupos da distância de Mahalanobis (D²) máxima em torno de 2%, determinando a formação de seis grupos dos 86 acessos das médias da GPP.

Figura 19 - Dendrograma obtido através do algoritmo de Ward com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2), para agrupamento de 86 acessos das médias de GPP para áreas planas do período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016.



Fonte: Adaptado pela autora (2018)

Na Tabela 10 foram identificados os agrupamentos com características similares formando seis grupos distintos que foram agrupados por apresentarem as mesmas características ambientais.

Tabela 10 - Formação dos grupos de 86 acessos de GPP para as áreas planas segundo o algoritmo de Ward com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2).

Grupo	Acessos (N)
I	249 265 265 225 233 305 281 313 241 257 201 249 321 329 337 289 273 297 289 305 297 313 177
II	1 9 185 209 257 225 169 321 233 217 161 241 153 193 49 177 185 137 161 193 217 209 17 145 153 201 25 121 17
III	73 105 9 169 129 137 113 121 33 41 145 1 129 345 89
IV	25
V	65 97 105 113 57 65 97 81
VI	41 49 57 89 73 81 33

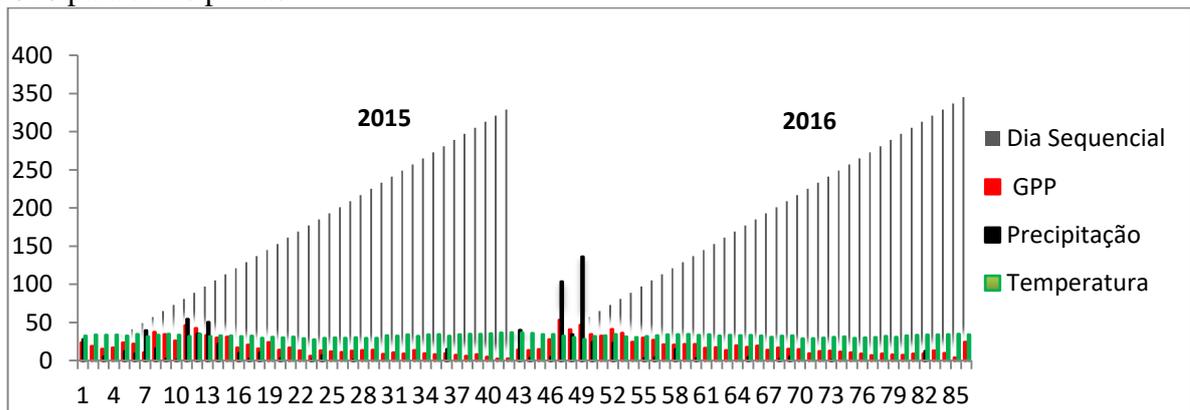
Fonte: Elaborada pela autora (2018).

O grupo I foi formado por 26 acessos e apresentou variação de GPP entre 2,18 a 14,05 g. C/m⁻², caracterizando um agrupamento cuja similaridade compreende as baixas médias de GPP; o grupo II foi o maior agrupamento formado, composto por 29 acessos, a GPP nesse grupo variou entre 6,04 a 23,54 g. C/m⁻², nota-se que a variação nesse grupo foi mais abrangente; o grupo III foi formado por 15 acessos e mostrou variação na GPP entre 16,36 a 26,83 g. C/m⁻²; o grupo IV foi formado por um único acesso e apresentou GPP de 27,84 g. C/m⁻²; o grupo V agrupou 8 acessos, com os valores de GPP mais aproximados apresentando variação entre 29,99 a 35,97 g. C/m⁻² e o grupo VI apresentou um agrupamento de 7 elementos, com GPP variando entre 37,73 a 53,14 g. C/m⁻², nota-se que os valores de GPP nesse grupo são os mais elevados dentre os outros agrupamentos.

Na Figura 20, observa-se às variações nas médias de GPP com os fatores climáticos, (precipitação e temperatura). Nota-se que a flutuação da GPP acompanha a tendência dos períodos chuvosos e de estiagem, uma vez que as maiores médias de GPP são observadas nos meses entre janeiro e abril, onde foram registrados os maiores índices pluviométricos. Quando relacionados aos períodos de formação dos grupos III, IV, V, VI, percebe-se haver um gradiente entre as médias de GPP que segue as tendências dos referidos fatores climáticos, nos períodos chuvosos as médias de GPP foram maiores e nos períodos secos houve redução nas médias. Apresentando variações nos grupos III e IV com médias acima de 20 g. C/m⁻², no

grupo V em 30 g. C/m², no grupo VI de 40 a 50g. C/m². Enquanto que os grupos I e II apresentaram as menores médias de GPP, com flutuações entre 2 a 20 g. C/m², observadas nos períodos secos que registraram as menores taxas pluviométricas e as mais altas temperaturas com ocorrência entre os meses de maio a novembro.

Figura 20 - Variações da produção primária bruta (GPP), precipitação pluviométrica e temperatura, observados nos dias sequenciais (acumulados de oito dias) no período de 2015 a 2016 para áreas planas.



Fonte: MOD17/INMET. Elaborado pela autora (2018).

No geral houve diferenças e similaridades no quantitativo da GPP nos agrupamentos formados entre as áreas de maiores altitudes e áreas planas, devido à variabilidade sazonal da precipitação conferindo forte influência nos resultados observados durante o período analisado. Estudos relacionados ao entendimento da dinâmica climática explicam muito a relação das taxas de produção primária bruta, quando associados aos fatores relacionados, precipitação, temperatura, umidade relativa do ar entre outros. Na China estudos sobre estoques de carbono na biomassa de pastagens demonstraram que o CO₂, está diretamente relacionado com a distribuição dos fatores climáticos, tipos de vegetação e solo, e o carbono estocado é positivamente correlacionado com a precipitação. (GAO et al., 2015).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando os resultados no que se refere à variação espaço-temporal da GPP nas áreas de maiores altitudes com as áreas planas, podemos afirmar que as variações observadas nas feições de relevo analisadas, foram influenciadas pelos mesmos fatores limitantes ocorridos nos anos analisados, exercendo interferência direta e indireta nos resultados da produção primária bruta no perímetro. Fatores que conferiram um grande déficit hídrico, devido aos baixos índices de pluviosidade, altas temperaturas e solos com baixa fertilidade, contudo entre as duas áreas os maiores valores de GPP registrados foram observados nas áreas de maiores altitudes.

A variação da GPP em relação às altitudes pôde ser comprovada ante os resultados apresentados das análises estatísticas descritivas com resultados positivos em todas as análises realizadas, que mostraram valores de r bastantes significativos na correlação de Pearson com nível de significância 0,01, conferindo haver uma forte correlação entre as variáveis.

Em relação às análises de agrupamento, foi aplicado o método de Ward, que definiu a quantidade de agrupamento com eficiência, encontrando grupos bem definidos. Os resultados comprovaram haver similaridades com as características fisiográficas dos pontos/áreas na formação de grupos, baseado nas medidas de distância euclidiana. Assim como a formação de agrupamentos nos dendogramas dos dias, com base na distância generalizada de Mahalanobis, que formou grupos similares e possibilitou relacionar as variações da GPP, com a precipitação e temperatura.

A utilização do produto MOD17A do sensor MODIS foi bastante eficaz em sua aplicabilidade em estimar a produção primária bruta, comprovando haver uma boa correlação entre valores estimados e influência da altitude nos resultados das análises investigadas, corroborando com a fundamentação da hipótese do trabalho.

No geral a utilização de técnicas de sensoriamento remoto a partir dos dados obtidos do sensor MODIS, ocasionou uma maior compreensão da dinâmica do sequestro de carbono no Bioma Caatinga, em especial para a referida área estudada. Contudo cabe ressaltar a importância do monitoramento da vegetação remanescente do Bioma e a necessidade da criação de áreas de proteção ambiental, estabelecendo planos de manejo que propicie a conservação da vegetação, que venha contribuir com a mitigação ou diminuição das variações climáticas que afetam esse ecossistema.

REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. N. **Os domínios da Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. Ed. Ateliê Editorial. São Paulo, SP. 2003.

ALMEIDA-SCABBIA, R. J. et al. Características físico-químicas do solo e distribuição de espécies arbóreas em um trecho de cuesta basáltica, Analândia, SP, Brasil. **R. bras. Bioci.**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 322-331, jul./set. 2011.

ALVES, J. J. A. Geocologia da caatinga no semiárido do Nordeste brasileiro. **CLIMEP: Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v.2, n.1, p. 58-71, 2007.

AMBRIZZI, T.; ARAÚJO, M. Sumário Executivo do Volume 1 - Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1º Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: **Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**, 34p. 2014.

ANDERSON, M. et al. A thermal-based remote sensing technique for routine mapping of land-surface carbon, water and energy fluxes from field to regional scales. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 12, p. 4227–4241. 2008.

ANTUNES, R. L. S. Variação espaço-temporal de NDVI em área de aproveitamento hidroelétrico UHE santo Antônio, Porto Velho (RO). **Dissertação de Mestrado**. UFPE – Recife-PE, 2014.

ARAÚJO, A. C. P. **Como comercializar créditos de carbono**. 5ª edição. Editora. Trevisam Editora Universitária. 8p. São Paulo. 2007.

ARAÚJO, S. M. S. A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. Rios Eletrônica . **Revista Científica da FASETE** ano 5 n. 5 dezembro de 2011.

BENEDITTI, C. A. et al. Comparação do índice de área foliar (IAF) estimado por sensoriamento remoto entre os anos de 1984 e 2011 na região central de Rondônia. **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. . INPE. João Pessoa-PB, Brasil. 2015.

BRAGA, R; **Instrumentos para gestão ambiental e de Recursos Hídricos**. 1. ed. Editora Universitária UFPE, 2009.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm>. Acesso em 04 de agosto de. 2015.

BRASIL. **Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009**. Art. 1º Esta Lei institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e estabelece os seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187>.htm. Acesso em 10 de setembro de 2016.

BASTIAANSEN, W. G. M. et al. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm For land (SEBAL). 1. Formulation. **Journal of Hydrology**. v. 212-213, p. 198–212, 1998.

CABRAL J. J. S. P. **Recursos Hídricos e os Brejos de Altitude**. Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação /Organizadores, Kátia C. Porto, Jaime J. P. Cabral e Marcelo Tabarelli. — Brasília : Ministério do Meio Ambiente, 324p. (Série Biodiversidade, 9). ISBN 85-87166-65-4. 2004.

CONANT, R.T., PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Applications**, v. 11, p. 343-355. 2002.

CHANG, T. C.; LIM, S. Y. Geographical Imaginations of ‘New Asia-Singapore’ **Journal Geografiska Annaler: Series B, Human Geography**. <https://doi.org/10.1111/j.0435-3684.2004.00160.x>. Volume 86 - Issue 3. 2004.

DLUGOKENCKY, E.; TANS, P. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide**. National Oceanic & Atmospheric Administration, Earth System Research 110 Laboratory (NOAA/ESRL). 2013. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>. Acesso em 20 de junho 2017.

EMBRAPA: Agencia Embrapa de Informações Tecnológica **Ageitec**. 2008. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html Acesso em 12 de janeiro de 2018.

EMBRAPA: Agencia Embrapa de Informações Tecnológica **Ageitec**. 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª edição revista e ampliada Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1299/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos---sibcs-3-edicao> Acesso em 25 de janeiro de 2018.

FIGUEIREDO, D. Conceitos **Básicos de Sensoriamento Remoto**. **Companhia Nacional de Abastecimento** - CONAB. Brasília - DF, 2005. Disponível em http://72.14.205.104/search?q=cache:r9r3jyI5bKsJ:www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf+divino+figueiredo,+conceitod+basicos+sensoriamento+remoto&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=1&gl=br Acesso em 10 junho. 2018.

FISHER, J. W. Polyaminotriazoles as fibre-forming materials. **Journal Chemical Technology and Biotechnology**. <https://doi.org/10.1002/jctb.5010040409>. Volume 4, P. 212-219. 1954.

FREITAS, E. D. **Agrometeorologia**, Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísica, São Paulo. 2005.

FIELD, C. B.; RANDERSON, J. T.; MALMSTROM, C. M. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v.51, p.74-88, 1995.

GALVINCIO J. D. et al. Análise da Variação da Vegetação dos Períodos Secos e Chuvosos Através do SAVI e Albedo de Superfície no Município de Belo Jardim – PE. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**. Fortaleza, Brasil, v. 10, n. 2, p.133-146. ISSN: 1982-5528. 2016.

GATES, D. M. et al. Spectral Properties of Plants. **Applied Optics**, Vol. 4, No. 1. 1965.

GAO, T. et al. Spatial and temporal variation of biomass carbon stocks in Xilingol grassland. **International Conference on Mechatronic Sciences**. China. 2013.

GITELSON, A. A. et al. Synoptic Monitoring of Gross Primary Productivity of Maize Using Landsat Data. **Geosciences and Remote Sensing**. Letters. v.5, n.2, p.133-137. 2008.

GOWARD, S.N.; HUENNRICH, K.F. Vegetation Canopy PAR Absorptance and the Normalized Difference Vegetation Index: an Assessment Using the SAIL Model. **Remote Sensing of Environment**, v. 39, n. 2, p. 119-140. 1992.

HAIR, J. F., et al. **Análise multivariada de dados**. Trad. Adonai S. Sant'Anna e Anselmo C. Neto. 5 ed. Porto Alegre: Bookman. 2005.

HELOU A. et al. Indicadores de Sustentabilidade na Gestão Ambiental Considerando um Projeto de Código Florestal. **Sustainable Business International Journal**. (22): 1-23. 2012.

HOODA, R. S.; DYE, D. G. **Estimating Carbon-fixation in India based on Remote Sensing**. Proceedings Asian Congress of Remote Sensing, 1996. Disponível em: <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1996/ts1003.shtml>. Acesso em 25 de julho 2016.

HUETE, A. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**. v. 83. p. 195-213. 2006.

IBGE - **Cidades**: Petrolina, Lagoa Grande, Santa Maira da Boa Vista. 2010. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=260875> > Acesso em 23 de outubro de 2015.

ICMBIO Instituto Chico Mendes MMA. **Sumário Executivo do Plano de Ação Nacional para a Conservação do Tatu-Bola**. 2014. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-plano-de-acao/pan-tatu-bola/sumario-tatu-bola-2014.pdf>> Acesso em 10/11/2016.

INPE. Sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Brasília, **Dados Observacionais**. 2012. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso em 10 de novembro de 2016.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for Policy makers** – Contribution of Work Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>> Acesso em 16 de novembro de 2016.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Câmbio Climático: Guidelines for national greenhouse gas inventories**. IPCC, Switzerland, 2013. <http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_wg1_headlines_es.pdf>, Acesso em 08 de novembro de 2015.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Part A: Global and Sectoral Aspects**. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. p.4. 2014. Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg2/WGIIAR5-Part A_FINAL.PDF. Acesso em 28 de janeiro de 2018.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE AR6 **Scoping Meeting Addis Ababa, Ethiopia, 1 – 5 May 2017 AR6-SCOP/Doc. 2 (24.IV.2017)**, p.8. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/apps/eventmanager/documents/46/220520170356-Doc.%202%20-%20Chair%20Vision%20Paper%20.pdf>. Acesso 25 de julho de 2017.

IRPAA - **Sequestro de Carbono na Caatinga**. 2008. Disponível em: <<http://www.irpaa.org/publicacoes/artigos/sequestro-de-carbono-na-Caatinga-2010.pdf>> Acesso em 10 de Agosto de 2016.

JATOBÁ, L. 1994a. **Esboço Geomorfológico do Nordeste Brasileiro** (Semana de Estudos de Geografia do Nordeste, Secretaria de Educação, Cultura e Esportes do Estado de Pernambuco/D.E.E/D.E.F.) Recife. 1994.

JATOBÁ, L. 1994b. **A Geomorfologia do Semiárido**. Núcleo de Educação Continua. 38p. 1994.

KEERSMAECKER, W. et al. A Model Quantifying Global Vegetation Resistance and Resilience to Short-Term climate Anomalies and their Relationship With Vegetation Cover. **Global Ecology and Biogeography**, DOI: 10.1111/geb.12279. 2015.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; F., K. F. Fontes e níveis de erros nas estimativas do potencial de fixação de carbono. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. 1. ed. Curitiba: FUPEF/Imprensa da UFPR. p. 251–264. 2002.

KUPLICH, T. M. et al. Algumas Aplicações de Sensoriamento Remoto em Estudos de Vegetação Campestre no RS. **INPE**. São José dos Campos. sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/06.02.13.31-RPQ. 2016.

LACERDA, A. C. **Legislação e Direito Ambiental In: Sequestro de Carbono: Conceito e Aplicações na Atualidade**. 1ª ed. Ituiutaba: Barlavento, 2015, vol. I. p. 370-379. Brasil/Português. Meio de divulgação: Meio digital ISBN: 9788568066089, Home page: http://www.mediafire.com/view/dd6tqscxq18f2wl/E-BOOK_Volume_I.pdf

LACERDA, A. C.; ALBUQUERQUE, J. V.; GALVÍNIO, J. D. Área legalmente protegida sob conflito: o caso da Reserva de Vida Silvestre Tatu-Bola, Estado de Pernambuco, Brasil **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. 4(7): 191-202. ISSN 2359-1412. <https://dx.doi.org/10.21438/rbgas.040719>. 2017.

LEITE, M. S.; GEISELER, S.; PINTO, S. R. R. **Como criar Unidades de Conservação: Guia prático para Pernambuco**. Edição 1ª. Ed. JVL Gráfica e Editora. Recife. 2012.

LIPPERT D. B. et al. Espectrorradiometria de folhas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. atacadas por *eucalypti*. **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil. INPE. p. 2793-2799. 2009.

LIU W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande. Ed. UNIDERP. 908 p. 2007.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R.; SALES, V. C. Geomorfologia do Nordeste: Concepções Clássicas e Atuais Acerca das Superfícies de Aplainamento Nordestinas. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 1. 2010.

MALCON, J.R.; PITELKA, L.F. Ecosystems & Global Climate Change: A Review of Potential Impacts on U.S. **Terrestrial Ecosystems and Biodiversity**. Pew Center on Global Climate Change. 2000.

MARKZ, E. et al. Conservation of soil organic carbon, biodiversity and the provision of other ecosystem services along climatic gradients in West Africa. **Biogeosciences**. Volume 6. p. 1825-1838. 2009.

MARTINS, O. S.; BRANCO, M. C.; TOLEDO, R. M.. Estudo de Baixo Carbono para o Brasil Sequestro de Carbono e Reflorestamento. Tema B. Relatório Técnico I. 2010.

MARTINS, G. D.; GALO, M. L. B. T. Análise Comparativa da Reflectância Estimada por Áreas entre Bandas Simuladas a Partir de Medidas Hiperespectrais e Valores de Brilho de uma Imagem Multiespectral Worldview-2. **Anais do III Simpósio Brasileiro de Geomática**, Presidente Prudente - SP, 25-27 de julho de 2012. v. 1. ISSN 1981-6251

MENDONÇA, F.; DANNY-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia, noções básicas e climas do Brasil**. Editora. Oficina de Textos. São Paulo. 2007.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte. Editora UFMG. 297 p. 2015.

MIRANDA, et al. Reliability of MODIS Evapotranspiration Products for Heterogeneous Dry Forest: A Study Case of Caatinga. **Advances in Meteorology**. Article ID 9314801. 14 p. Volume. 2017. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/9314801>.

MOURA, M. S. B. et al. **Clima e água de chuva no Semi-Árido**. Embrapa Semiárido - Capítulo em livro científico (CPATSA) cap. 2, p. 37-59.

MORAIS, Y. C. B. et al. Q. Análise do Sequestro de Carbono em Áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 585-599, 2017.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª edição. Editora UFV. 320 p. 2005.

NOTA TÉCNICA: **Fundamentos para inclusão dos biomas caatinga e cerrado no § 4º ART. 225 DA CF – Reconhecimento como Patrimônio Nacional – PEC 504/2010**.

REFERÊNCIA: PROJETO DE EMENDA CONSTITUCIONAL Nº 504/2010. 2018.

Disponível em: http://actionaid.org.br/wp-content/files_mf/1524082048504.pdf. Acesso em 22 de março 2018.

OLIVEIRA, J. A influência do Relevo como Fator de Formação de Solos: uma análise na área da EMBRAPA, Sete Lagoas MG. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.1-4, ISSN 2237-1419. 2014.

OLIVEIRA JÚNIOR, H. A. O Seqüestro de Carbono para o Combate ao Efeito Estufa. **Trabalho final** do Curso de Pós-Graduação em Gestão Ambiental. Faculdade da Região dos Lagos - FERLAGOS UBERABA, 2004.

OLIVEIRA, M. B. L. et al. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de Caatinga e atmosfera no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p. 378-386, 2006.

PAN, Y. D.; BIRDSEY, R; HOM, J.; MCCULLOUGH, K. Separating effects of changes in atmospheric composition, climate and land-use on carbon sequestration of US Mid-Atlantic temperate forests. **Forest Ecology and Management**, v.259, n.1, p.151-164, 2009.

PERNAMBUCO. **Mapa Planaltimétrico Cristália**. Base cartográfica extraída da Folha SC.24-V-B-IV. MI – 1439, escala 1.100.000, produzida a partir da varredura digital dos fotolitos cedidos pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército- 3ª Divisão de Levantamento. GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos. 2015.

PRINCE, S. D.; GOWARD, T. **Advances in Ecological Research**, ISSN 0065-2504. Volume 28. 224 p. 1995. Disponível em:
<https://books.google.com.br/books?id=nfY_3OAGu78C&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false> Acesso em 06 de janeiro de 2018.

PROJETO DE CONSERVAÇÃO E UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DA DIVERSIDADE BIOLÓGICA BRASILEIRA - PROBIO. **Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. 2008. Disponível em:
<http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?/caatinga/documentos/>. Acesso em 10 de Janeiro de 2018.

RENNER, R.M. **Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2004.

RODRIGUES, C. P.; FONTANA, D. C.; MORAES, O. L. L.; ROBERTI, D. R. NDVI e fluxo de CO₂ em lavoura de soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, p. 95–104, 2013.

RODRIGUES, P. C. G. et al. Ecologia dos Brejos de Altitude do Agreste Pernambucano **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 25, n. 3, set/dez. 2008.

RODRIGUES, J. E. R. Sistema Nacional de Unidades de Conservação. São Paulo: **Revista dos Tribunais**, 2005.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7ª edição. Uberlândia. Editora EDUFU. 264p. 2009.

RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. **Sensor Modis e suas Aplicações Ambientais no Brasil**. São José dos Campos, BRA: Parêntese, p. 425. 2007.

RUIMY, R. et al. Phylogenetic analysis and assessment of the genera *Vibrio*, *Photobacterium*, *Aeromonas*, and *Plesiomonas* deduced from small-subunit rRNA sequences. **Int J Syst Bacteriol** 44: 416–426. 1994.

SÁNCHEZ, A. et al. Alternative biodiesel feedstock systems in the Semi-arid region of Brazil: Implications for ecosystem services. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. 7, p. 2744-2758. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.080>.

SANDOR, R. L.; BETTELHEIM, E. C.; SWINGLAND, I. R.; An overview of a free-market approach to climate change and conservation. *Philosophical transactions. S Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, v. 360, n. 1797, p. 1607–1620, 2002.

SANTOS, L. B. Trilhas da política ambiental: conflitos, agendas e criação de unidades de conservação. **Ambiente & Sociedade**, vol. XII, n. 1, p. 133-150. 2009.

SEMAS. **Refúgio de Vida Silvestre Tatu-bola Petrolina, Lagoa Grande e Santa Maria da Boa Vista Pernambuco Proposta para Discussão**. 2014. Disponível em; <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Proposta%20UC%20TatuBola%20_%20FINAL%2005.08.14.pdf> Acesso em 04 agosto de 2015.

SAMPAIO E.V.S.B. SAMPAIO Y. **Preservação da vegetação nativa, especialmente da caatinga: custos e responsabilidades**. (DEN-UFPE) (DECON-UFPE). 2008. Disponível em: <http://www.race.nuca.ie.ufrj.br/eco/trabalhos/mesa5/3.doc>. Acesso 15 de agosto 2017.

SELLERS, J.P. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. **International Journal of Remote Sensing**, v. 6, n. 8, p. 1335-1372, 1985.

SHEN. L.; LI, Z.; GUO, X. Remote Sensing of Leaf Area Index (LAI) and a Spatiotemporally Parameterized Model for Mixed Grasslands. **International Journal of Applied Science and Technology**. Vol. 4. No. 1. 2014.

SHIM, C. et al. Evaluation of MODIS GPP over a complex ecosystem in East Asia: A case study at Gwangneung flux tower in Korea. **Advances in Space Research**. Vol. 54. 2296–2308. 2014.

SILVA B. B. et al. Determinação por Sensoriamento Remoto da Produtividade Primária Bruta do perímetro Irrigado São Gonçalo - PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 28, n.1, 57 – 64. 2013.

SILVA, B. B. et al. Estimativa de sequestro de carbono por sensoriamento remoto. In: GALVÍNCIO, J. D. (Ed.). **Mudanças climáticas e modelos ambientais: caracterização e aplicações**. Recife, BRA: Editora Universitária da UFPE. p. 51-70. 2012.

SILVA M. D. et al. Espectrorradiometria foliar de espécies dominantes em um fragmento de caatinga, Pernambuco. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, INPE p.8628. Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011.

SILVA, M. F. et al. Analysis of drought severity by orbital data: effects in northeastern of the Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. ISSN: 2237-2202. v.7. n.4. 242-249. 2017a.

SILVA, J. I. A. O. et al. Unidades DE Conservação no Semiárido Brasileiro: Estudo da Gestão desses Espaços Preservados. **REUNIR**. V. 7 . n. 2 . p. 48-66, ISSN: 2237-3667. 2017b.

SOARES, J. V.; BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E. **O Sensor Modis e suas Aplicações Ambientais no Brasil**. Edição 1. Editora Parêntese. São José dos Campos, SP. 2007.

- SONG C.; DANNENBERG M. P.; HWANG T. Optical remote sensing of terrestrial ecosystem primary productivity. **Journals Permissions** DOI: 10.1177 / 0309133313507944. 2013.
- SPIELHAGEN, R. F. Hotspots in the Arctic: Natural archives as an early warning system for global warming. **Geology**. v. 40, n. 11, p. 1055–10. 2012.
- TEIXEIRA L. R. Classificação Orientada a Objetos na Diferenciação da Cobertura Vegetal e Espectrorradiometria Foliar de Espécies Florestais do Bioma Cerrado (**Dissertação**) CUIABÁ-MT. 2014.
- TORRADO, V. Pablo, et al. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos Ci. Solo**. 1:15-192, 2005.
- TOWNSEND, C.R.; BEGON, M.; HARPER, J.L. **Fundamentos em Ecologia**. 2 ed., 592 p. Porto Alegre: Artmed. 2006.
- TROVÃO, D. M. B. M. et al. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 11, n. 3, p. 307-311, 2007.
- TURNER, D. P. et al. Assessing interannual variation in MODIS-based estimates of gross primary production. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v.44, p.1899-1907, 2006.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Versão digital 2. Recife, 2006. 463p.
- VILLELA, D. M. et al. Carbon and nitrogen stock and fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning. **Brazilian Journal Biology**, v.72, n.3, p. 633-642. 2012.
- WATZLAWICK, L. F. et al. **Fixação de carbon em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração**. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. (Ed.). As Florestas e o Carbono. Curitiba: UFPR, 2002. p. 153-173.
- WANG, J. et al. Decreasing net primary production due to drought and slight decreases in solar radiation in China from 2000 to 2012, **J. Geophys. Res. Biogeosci.** 122, 261–278. Doi: 10.1002/2016JG003417. 2017.
- YU, C. M. Sequestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. Tese Curso de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná. São Paulo, BRA: **Annablume**, p. 278. 2004.

ZHANG, Q. et al. "Estimation of crop gross primary production (GPP): fAPARchl versus MOD15A2 FPAR" **Papers in Natural Resources**. 465. 2014.

ZHANG, Q. et al. "Estimation of Crop Gross Primary Production (GPP): II. Do Scaled MODIS Vegetation Indices Improve Performance?" **Agricultural and Forest Meteorology**. 2000168-1923. 2015.

**ANEXO B - PROPOSTA DE CRIAÇÃO DO REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE
TATU-BOLA (SEMAS, 2014).**

(Continuação)

	N.P.Taylor & Stuppy	espinho	
Capparaceae	<i>Colicodendron yco</i> Mart.	icó-branco	Av
	<i>Crateva trapia</i> L.	trapiá	Av
	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl	feijão-bravo	At/Ab
	<i>Neocalyptrocalyx longifolium</i> (Mart.) Cornejo & Iltis	icó-preto	Av
Celastraceae	<i>Fraunhoferia multiflora</i> Mart.	pau-branco	Av
Cleomaceae	<i>Tarenaya spinosa</i> (Jacq.) Raf.	muçambê	Ab
Convolvulaceae	<i>Evolvulus barbatus</i> Meisn.	-	Hb
	<i>Ipomoea subrevoluta</i> Choisy	salsa	Li/Tp
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum revolutum</i> Mart.	rompe-gibão	At
Euphorbiaceae	<i>Astraea lobata</i> (L.) Klotzsch	erva-de-rola	Ab
	<i>Cnidoscolus pubescens</i> Pohl	faveleira	Av
	<i>Cnidoscolus quercifolius</i> Pohl.	favela-braba	Av/At
	<i>Cnidoscolus urens</i> (L.) Arthur	urtiga-branca	Ab
	<i>Croton betaceus</i> Baill.	marmeleiro(1)	At
	<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	marmeleiro(2)	At
	<i>Croton heliotropiifolius</i> Kunth	quebra-faca	At
	<i>Helicteris</i> sp.	marmeleiro-branco	At
	<i>Jatropha molissima</i> (Pohl) Baill.	pinhão-branco	Ab
	<i>Jatropha mutabilis</i> (Pohl) Baill.	pinhão	Ab
	<i>Manihot</i> sp.	maniçoba	At
Fabaceae	<i>Albizia inundata</i> (Mart.) Barneby & J.W.Grimes	muquém	Av
	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	imburana-de-cheiro	Av
	<i>Anadenanthera columbrina</i> (Vell.) Brenan	angico-preto	Av
	<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	mororó	At
	<i>Calliandra depauperata</i> Benth.	carqueja	At
	<i>Erythrina velutina</i> Willd	mulungu	Av
	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	pau-ferro	Av/At
	<i>Luetzelburgia auriculata</i> (Allemão) Ducke	pau-de-mocó	Av/At
	<i>Luetzelburgia bahiensis</i> Yakovlev	moela	Av/At
	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	jurema-preta	Av/At
	<i>Monnina insignis</i> A.W.Benn.	-	Hb
<i>Piptadenia stipulaceae</i> (Benth.) Ducke	jurema-branca	Av/At	

(Conclusão)

	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	espinheiro	Av
	<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	angico-branco	Av
	<i>Poincianella microphylla</i> (Mart. ex G.Don) L.P.Queiroz	catingueira-mirim	At
	<i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P.Queiroz	catingueira	Av/At
	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC	algaroba	Av
	<i>Senegalia piauiensis</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	rama-de-boi	Av
	<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	monjoleiro	Av
	<i>Senna alata</i> (L.) Roxb.	canafistula	Av
	<i>Senna martiana</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	-	Ab
Malvaceae	<i>Ceiba glaziovii</i> (Kuntze) K.Schum.	barriguda	Av
	<i>Pavonia</i> sp.	malva (1)	Ab
	<i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.-Hil.) A. Robyns	imbiruçu	Av
	<i>Pseudobombax simplicifolium</i> A. Robyns	imbiratanha	Av
	<i>Sida cordifolia</i> L.	malva (2)	Ab
	<i>Sida galheirensis</i> Ulbr.*	malva (3)	Ab
Nyctaginaceae	<i>Boerhavia diffusa</i> L.	pega-pinto	Hb
	<i>Pisonia</i> sp.	pau-piranha	Av
Nymphaeaceae	<i>Nymphaea pulchella</i> DC.	ninféia	Hb/Aq
Oxalidaceae	<i>Oxalis psoraleoides</i> subsp. <i>insipida</i> Lourteig	erva-de-teiu	Hb
Plantaginaceae	<i>Anamaria heterophylla</i> (Giul. & V.C.Souza) V.C.Souza	-	Hb/Aq
Polygonaceae	<i>Triplaris gardneriana</i> Wedd.	pajeú	Av
Pontederiaceae	<i>Hydrothrix gardneri</i> Hook.f.	-	Hb
Rhamnaceae	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	joazeiro	Av
Rubiaceae	<i>Mitracarpus hirtus</i> (L.) DC.	-	Ab
	<i>Simira gardneriana</i> M.R.V.Barbosa & Peixoto	pereiro-vermelho	Av
Sapotaceae	<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.) T.D.Penn.	quixabeira	Av