



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
Área de Concentração: Gestão e Políticas Ambientais



PRODEMA

JOELIA NATÁLIA BEZERRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO SEQUESTRO DE CARBONO EM
ECOSSISTEMA DA CAATINGA**

RECIFE

2018

JOELIA NATÁLIA BEZERRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO SEQUESTRO DE CARBONO EM
ECOSSISTEMA DA CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio

Coorientadores: Prof. Dr. Rodrigo de Queiroga Miranda

Prof. Dr. Antonio Marcos dos Santos

RECIFE

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

S586a Silva, Joelia Natália Bezerra da.
Avaliação espacial e temporal do sequestro de carbono em ecossistema da caatinga / Joelia Natália Bezerra da Silva. – 2018.
59 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Profª. Drª. Josiclêda Domiciano Galvêncio.

Coorientadores: Prof. Dr. Rodrigo de Queiroga Miranda.

Prof. Dr. Antonio Marcos dos Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2018.
Inclui referências.

1. Meio ambiente. 2. Mudanças climáticas – Aspectos ambientais. 3. Aquecimento global. 4. Sensoriamento remoto. 5. Caatinga. I. Galvêncio, Josiclêda Domiciano (Orientadora). II. Miranda, Rodrigo de Queiroga (Coorientador). III. Santos, Antonio Marcos dos (Coorientador) IV. Título.

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2018-070)

JOELIA NATÁLIA BEZERRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO SEQUESTRO DE CARBONO EM
ECOSSISTEMA DA CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco-PRODEMA

Prof. Dr. Antônio Marcos dos Santos (Coorientador)
Universidade de Pernambuco-PPGFPI

Prof. Dr. Rodrigo de Queiroga Miranda (Coorientador)
Universidade Federal de Pernambuco-PRODEMA

Prof. Dra. Magna Soelma Beserra de Moura
EMBRAPA-PRODEMA

Profa^o. Dra Werônica Meira de Souza
Universidade Federal Rural de Pernambuco-PRODEMA

Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva
Universidade Federal de Campina Grande- PPGMET

*Dedico este trabalho à Deus, ao meu pai,
à minha mãe e a minha irmã que sempre
fizeram tudo por mim.*

AGRADECIMENTOS

Vejo a finalização desta Dissertação de Mestrado como o início de uma caminhada, por vez bastante árdua e difícil, mas me sinto extremamente realizada e feliz de ter chegado até aqui. Por isso só me resta agradecer.

Agradeço a Deus pela vida, pela oportunidade de poder lutar pelos meus ideais, por estar comigo nos momentos de grandes dificuldades, e por me dar força para que possa continuar a caminhada. Serei eternamente grata pelo amor, cuidado e proteção.

Gostaria de agradecer de forma mais que especial aos meus pais, João Euzébio e Joseneide Bezerra, por serem a base de minha vida e por depositarem em mim toda a confiança. Agradeço por todo incentivo, cuidado, amor, carinho e compreensão. Obrigada por serem incansáveis em dar o melhor possível para mim.

Agradeço à minha irmãzinha, Jéssica Laís, por aturar meus estresses, apoiar minhas decisões por mais malucas que sejam e por vibrar com minhas conquistas.

Agradeço a toda minha família Silva e Bezerra, pelo apoio, carinho e por vibrarem as minhas conquistas. E em especial os meus avós Eusébio José, Julia de Lima, Laurinda Geraldina e Benedito Bezerra (*in memorium*).

Agradeço a Carlos Alberto pela paciência, amor, carinho, incentivo e admiração. Seus conselhos são essências para eu ter vontade de lutar.

Agradeço minha orientadora Dra. Josiclêda Galvincto, e os meus coorientadores, Dr. Rodrigo Miranda e Dr. Antônio Marcos, pela confiança em mim depositada, pelas dicas e incentivos que foram essenciais, não somente para o meu crescimento acadêmico, mas também pessoal. Muito obrigado por tudo.

Agradeço ao apoio institucional da EMBRAPA Semiárido por ceder a área experimental de estudo. E, em especial, à Dra. Magna Moura.

Agradeço a todos os professores do Programa em Desenvolvimento e meio Ambiente por contribuírem com minha aprendizagem de forma direta ou indireta, a Solange e ao Tarcísio.

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento - SERGEO, pela infraestrutura proporcionada. A todos os amigos e colegas. Em especial, Luana Oliveira, Viviane Gomes, Ygor Cristiano, Rodrigo Miranda, Aldenice Silva, Katarina Pinheiro, pelos momentos de alegria, conversas e discussões acadêmicas e pelo apoio necessário ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos do mestrado do PRODEMA, Luana Oliveira, Josimar Reis, Robson Brandão, Janaína Albuquerque e Aldenice Silva, pelos momentos de discussão acadêmica, também, pelos momentos de descontração e conversas, e por cuidarem de mim.

Aos amigos Roberto Carlos e Natália Menezes, agradeço por compartilharem o mesmo teto, pelas risadas, pela paciência, pelo apoio e por cuidarem tão bem de mim. Serei eternamente grata pelas suas amizades.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do estado de Pernambuco-Facepe, pela concessão de bolsa de mestrado (Processo: IBPG-0072-25/16). Ao CNPq por financiar toda infraestrutura utilizada na pesquisa através do projeto processo número 402834/2016-0. À CAPES, através do projeto A103/2013, por auxiliar no financiamento de coleta de dados em campo na EMBRAPA Semiárido.

Finalmente, a todas as pessoas que fizeram parte dessa caminhada, que estiveram a meu lado apoiando e incentivando-me, e torceram por este trabalho, meu sincero muito obrigada!

*“Ouça conselhos e aceite instruções,
e acabará sendo sábio”.*
Provérbios 19:20.

RESUMO

As mudanças climáticas, gases de efeito estufa, o aquecimento global e seus possíveis efeitos vêm mostrando em inúmeros debates e estudos que as atividades humanas são apontadas com uma das maiores causas das mudanças climáticas. No Brasil, a região Semiárida poderá ser uma das mais impactadas pelas mudanças no clima, e a vegetação predominante nessa região, a Caatinga, é bastante modificada ao longo do ano devido à grande variabilidade climática. Diante do exposto, o objetivo deste estudo é avaliar a variação espacial e temporal do sequestro de carbono na caatinga, utilizando dados do sensor MODIS. Para avaliar a precisão dos dados do MODIS que indicam sequestro de carbono na caatinga foi primeiramente avaliados a precisão dos mesmos quando comparados a dados observados em campo com espectrorradiômetro, em dossel de uma área de Caatinga, em Petrolina, PE, no período de 2014 a 2017. Foi utilizada estatísticas descritivas e de correlação para verificar a relação existente entre os dados estimados com o MODIS e observados em campo. Os resultados mostraram que os dados do MODIS subestimam os valores observados do sequestro de carbono na Caatinga, mas apresentam valores coerentes no padrão temporal e espacial e podem ser indicados para uso em caso de não existir valores observados. A relação existente entre os valores observados e estimados da Produção Primária Bruta-PPB foi de $r=0,7$, como nível de significância de 0,01. Para a Produção Primária Líquida-PPL ainda não foi possível fazer uma boa avaliação uma vez que ainda não se tem uma boa avaliação dos dados observados. Em média a caatinga sequestra $17,5 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$. É possível criar novos modelos mais precisos de PPB e PPL utilizando dados de espectrorradiometria. As análises das assinaturas espectrais permitiram quantificar o sequestro de carbono nos dosséis e nas espécies predominantes. Com espectrorradiômetro foi possível observar respostas pontuais de fluxo de carbono, ou seja, foi possível verificar o comportamento da absorção do PPB e PPL por espécies.

Palavras-chaves: Sensoriamento remoto. Produtividade Primária Bruta. Mudanças climáticas.

ABSTRACT

Climate change, greenhouse gases, global warming and their virtues can be reflected in numerous debates and studies, as human activities are identified with the major causes of climate change. In Brazil, the caatinga region may be more affected by climate change, the caatinga is caused by great climatic variability. Considering the above, its important the temporal and spatial variation study of the carbon sequestration in the caatinga, using MODIS sensor data. In order to evaluate the accuracy of the MODIS data that indicate carbon sequestration in the caatinga, it was first evaluated the accuracy of these data when compared to field observations with a spectroradiometer in a canopy of a Caatinga area, in Petrolina, PE, in the period of 2014 to 2017. They were separated, listed and indexed to verify the relationship between the data estimated with MODIS and those observed in the field. The results were that the MODIS data underestimate the observed values of carbon sequestration in the Caatinga, but the non-standard temporal and spatial coherent values and can be indicated for use in case of no observed values. The comparison between the values and estimates of Gross Primary Production-PPB was $r = 0.7$, as a significance level of 0.01. The objective of the evaluation of the data in the evaluation of the data evaluation. On average the caatinga sequesters 17.5 g C m⁻²d⁻¹. PPB and PPL uses medullary spectral data through spectral signature analyzes that allow quantification of carbon sequestration in the predator and predominant species. With the aid of a carbon flow test, it may be possible to verify the effect of the absorption of PPB and PPL by species.

Keywords: Remote sensing. Gross primary productivity. Climate change.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Processo da Produtividade Primária Bruta e Líquida.	20
Figura 2 -	Mapa de localização da área do município de Petrolina no estado de Pernambuco	25
Figura 3 -	Imagem do aparelho Espectrorradiômetro FieldSpec® 4 Hi-Res	28
Figura 4 -	Relação entre o PPB do espectro e a PPB Modis	33
Figura 5 -	Correlação e Resíduo do Processo da Produtividades Primária Bruta na Embrapa Semiárido – Petrolina	34
Figura 6 -	Histograma dos grupos do processo da Produtividades Primária Bruta	35
Figura 7 -	Relação do NDWI com a precipitação na área de Caatinga.	36
Figura 8 -	PPL Rahman/Espectro e MODIS	37
Figura 9 -	Correlação e Resíduo do Processo da Produtividades Primária Líquida na Embrapa Semiárido – Petrolina	38
Figura 10	Histograma dos grupos do processo da Produtividades Primária - Líquida	39
Figura 11 -	<i>Sapium argutum</i> (Müll. Arg.) Huber da família Euphorbiaceae; Nome Popular: Burra Leiteira	42
Figura 12 -	<i>Samanea tubulosa</i> (Benth) Barneby & J.W. Grimes ; Família: Fagácea; Nome Popular: Sete Casca	43
Figura 13 -	<i>Baunilha forricara</i> subas. <i>pruinosa</i> (Vogal) Fortunato & Wanderlei da família Fagácea. Nome popular: Pata de Vaca.	45
Figura 14 -	<i>Jatropha mollissima</i> (Poli.) Bailona da família Euforbiácea Nome popular: Pião bravo	46
Figura 15 -	Precipitação dos meses de maio a novembro da área de Caatinga	47
Figura 16 -	Avaliação espacial da Produtividade Primária Bruta no município de Petrolina	48
Figura 17 -	Avaliação espacial da Produtividade Primária Líquida no município de Petrolina	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Especificações Técnicas do Sensor MODIS.	26
Tabela 2 -	Especificações técnicas do Espectrorradiômetro FieldSpec ® 4 Hi-Res	29
Tabela 3 -	Estatísticas descritivas da Produtividade Primária Bruta (PPB) e Produtividade Primária Líquida (PPL) do dossel na área de estudo na Embrapa Semiárido Petrolina	32
Tabela 4 -	Resumo dos valores de Produtividade Primária Bruta (PPB) e Produtividade Primária Líquida (PPL) do dossel e das quatro espécies dominantes na área de estudo na Embrapa Semiárido Petrolina	40

SIGLAS

BSWh	Clima Semiárido Quente
CO ₂ .	Dióxido de Carbono
DAM	Desvio Absoluto Médio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Agropecuária
FPAR	Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa e Absorvida
GPP	<i>Produtividades Primária Bruta</i>
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IRPAA	Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada
LAI	<i>Leaf Area Index</i>
MDL	Modelo de Desenvolvimento Limpo
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NIR	<i>Near-Infrared</i>
PPB	Produtividade Primária Bruta
PPL	Produção Primária Líquida
PRI	Índice de vegetação Fotossintético
PRODEMA	Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente
REMQ	Raiz do Erro Médio Quadrático
RFAA	Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida
SMA	Análise de Mistura Espectral
SPRI	Índice de vegetação Fotossintético
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UNCCD	Convenção das Nações Unidas para Combate à Desertificação
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
WDVI	Índice de Vegetação da Diferença de Água

SUMÁRIO

1	Introdução.....	14
2	Objetivo	16
2.2	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>16</i>
2.1	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>16</i>
3	Revisão Bibliográfica	17
3.1	<i>Bioma Caatinga.....</i>	<i>17</i>
3.2	<i>Estado da Arte da Produtividade Primária Bruta – PPB e da Produtividade Primária líquida- PPL.....</i>	<i>19</i>
3.3	<i>Mistura Espectral</i>	<i>22</i>
4	Material e Métodos	24
4.1	<i>Área de Estudo.....</i>	<i>24</i>
4.2	<i>Processamento de Sensoriamento Remoto.....</i>	<i>25</i>
4.3	<i>Coleta e processamento dos dados em campo.....</i>	<i>27</i>
4.3.1	<i>Coleta e processamento dos dados em campo nos dosséis.....</i>	<i>27</i>
4.3.2	<i>Coleta e processamento dos dados em campo para espécies predominantes.....</i>	<i>30</i>
4.4	<i>Análise estatística.....</i>	<i>30</i>
5	Resultados e Discussão.....	32
5.1.	<i>Avaliação da confiabilidade dos sensores orbitais e hiperespectrais na estimativa do sequestro de carbono na vegetação da Caatinga.....</i>	<i>32</i>
5.2	<i>NDWI estimado com espectro.....</i>	<i>35</i>
5.3	<i>A importância das espécies predominantes para a estimativa do sequestro de carbono na vegetação da Caatinga.....</i>	<i>36</i>
5.4	<i>Avaliação espacial do sequestro no município de Petrolina.....</i>	<i>39</i>
6	Conclusões	50
	Referências.....	51

1 INTRODUÇÃO

Segundo Morales et al. (2014), as mudanças climáticas aumentam a cada dia, apresentando impactos na superfície do planeta. Os impactos das mudanças climáticas globais já são registrados em vários sistemas físicos naturais. Pode-se destacar a ampliação das áreas susceptíveis à desertificação, o aumento nos níveis dos oceanos, as mudanças no comportamento dos biomas, a redução da disponibilidade hídrica, a redução na produção de alimentos em algumas regiões do mundo (MENDONÇA, 2007; MORALES et al. 2014; JIANG et al. 2017).

A partir da problemática das mudanças climáticas globais, vários estudos e iniciativas políticas passaram a ser adotados com o intuito de conhecer e reconhecer os impactos e as possíveis ações de combate e mitigação das mudanças climáticas (ZHANG et al, 2009). Para Rodríguez (2015), algumas atividades humanas têm contribuído para a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, podendo causar consequências graves a saúde.

Segundo Yu (2004), o protocolo de Kyoto foi uma tentativa de criar um mecanismo de redução de gases de efeito estufa na atmosfera. Enquanto instrumento de gestão ambiental, o sequestro de carbono se insere em políticas de mercado nacional e internacional para a manutenção da diminuição do sequestro de carbono.

A ideia central levantada na Conferência de Kyoto é incentivar a expansão e a conservação das fontes de absorção do carbono antrópico, neste caso principalmente, as áreas que possuem cobertura vegetal na intenção de reduzir os gases de efeito estufa. (CHANG, 2014).

O sequestro de carbono faz parte do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que foi proposto na Convenção do Clima, e aprovado e ratificado por centenas de países (RODRIGUEZ, 2015). Neste contexto, tem-se o sequestro de carbono, no qual Martins e Baptista (2012) apontam, como sendo o ciclo bioquímico onde o dióxido de carbono é absorvido através de processos físico-químicos e biológicos (YU, 2004; MARTINS; BAPTISTA, 2012).

A biomassa vegetal origina-se da assimilação do carbono. Para Silva (2002), o carbono em ecossistemas é identificado como indicador ambiental utilizado para verificar a saúde dos ecossistemas, e assim para mitigar o acúmulo de gases de efeito estufa. Zhao, Dai e Dong (2018)

apontam que o comportamento da vegetação desempenha um papel importante no clima global e no ciclo do carbono.

A produtividade primária bruta está relacionada com o carbono na interação entre a planta e outros processos, descrevendo a remoção do carbono da atmosfera (FIELD et al., 1995).

A maioria dos estudos efetuados para medições de carbono, em linhas gerais, se alterna em três principais métodos. O primeiro são amostragens diretas, que são realizadas de forma destrutiva com a derrubada da vegetação; já o segundo consiste na utilização de equações alométricas; e por fim, o terceiro utiliza índices de vegetação por meio de técnicas de sensoriamento remoto e mapeamento da vegetação (CERQUEIRA; ROCHA, 2007). Segundo Ma et al. (2014), as medições do fluxo de carbono destrutiva e alométricas são técnicas pouco utilizadas, resultando em uma escassez de medidas disponíveis para validar e avaliar as incertezas dos produtos de satélite.

É possível avaliar o sequestro de carbono com a utilização de imagens de satélite e dados hiperespectrais da vegetação e demonstrar alta eficiência para estimativas do sequestro de carbono. Técnicas ligadas ao sensoriamento remoto têm sido utilizadas para analisar características e comportamentos da vegetação. Com a disponibilidade de dados espectrais, o sensoriamento remoto tem sido uma ferramenta bastante relacionada à estimativa de biomassa florestal e ao sequestro de carbono (WATZLAWICK et al., 2009). A radiometria de campo é uma técnica bastante utilizada em aplicações operacionais, sendo possível avaliar as condições de campo, gerar modelos, calibrar sensores orbitais e aerotransportados (MILTON, 1987).

Para Moura et al. (2017), as observações baseadas em dados hiperespectrais têm melhorado a compreensão da fenologia da vegetação, porém é importante que haja a análise do observador em relação à heterogeneidade espacial do ponto de análise.

Diante do atual cenário de vulnerabilidade ambiental, estimativas de sequestro de carbono se tornaram importantes para questões relacionadas ao manejo florestal e alterações no clima (HIGUCHI et al., 1998). Deste modo, pode-se contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas e ambientais da região de Petrolina, uma vez que a população é diretamente afetada, podendo causar inclusive, aumento das desigualdades sociais.

2 OBJETIVOS

2.1 *Geral:*

Analisar a variação temporal do sequestro de carbono em ecossistemas da Caatinga (arbustiva e arbórea).

2.2 *Específicos:*

- a. Avaliar a confiabilidade da Produção Primária Bruta-PPB e Produção Primária Líquida-PPL observados com espectrorradiometria e estimados com o sensor MODIS;
- b. Avaliar a variação espacial e temporal do sequestro de carbono na caatinga para o período de 2014 a 2017, utilizando dados observados em campo e do sensor MODIS.
- c. Selecionar as espécies vegetais dominantes em cada parcela de estudo e avaliar a sua estrutura vertical e discutir sua relação com a estimativa do sequestro de carbono.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Bioma Caatinga

A Caatinga nome derivado da linguagem Tupi, tem significado “Floresta Branca”, ocupa 12% do território nacional brasileiro, sob Zona Climática Semiárido, em que prevalece o bioma Caatinga (PINHEIRO; COSTA; ARAÚJO, 2013). Silva et al. (2017) destaca que, a floresta tropical brasileira seca, Caatinga, é o quarto maior bioma, abrangendo grande área do Nordeste com aproximadamente um milhão de quilômetros quadrados, suas características o tornam um bioma exclusivo.

Para Sánchez et al. (2018) a Caatinga é caracterizada como xerofílica, com cactos suculentos. As árvores são crassuláceas com estratos arbustivos adaptados a severas secas com formações vegetais secas, que compõem uma paisagem cálida e espinhosa, com estratos compostos por gramíneas, arbustos e árvores de porte baixo e médio. De acordo com Moura et al. (2016) a vegetação da Caatinga apresenta dosséis semiabertos podendo atingir até 20 m de altura. A média do porte arbóreo fica em torno de 5 a 10 m, suas densidades variando entre 1000 a 3000 indivíduos com referência as plantas acima de 3 cm de diâmetro.

Segundo o IBGE (1992), a vegetação de Caatinga pode ser classificada em quatro tipos, sendo a primeira a Caatinga Florestada mede em torno de 5 a 7 m de altura, mais ou menos densas, a segunda é a arborizada, apresenta indivíduos de médio porte apresentando espaçamento maior. O terceiro é Caatinga - Parque, caracterizada por plantas lenhosas que recobrem pequenas depressões capeadas. Gramíneo-lenhosa – Conhecida, também por campo espinhoso, caracteriza-se por um extenso tapete graminoso salpicado de plantas lenhosas pequenas e espinhosas.

Segundo Souza et al. (2015), predominam as seguintes espécies na vegetação de caatinga: *Poincianella microphylla* (Mart. ex G. Don) L. P. Queiroz, *Croton conduplicatus* Kunth, *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud., *Manihot pseudoglaziovii* (Pax & Hoffman) e *Commiphora leptophloeos* (Mart.) Gillett.

O clima da região é do tipo BSwh¹, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como clima semiárido. Possui chuvas irregulares, aliadas às altas temperaturas que ocasionam déficit hídrico durante praticamente todo o ano. Os solos predominantes são os Argissolos

¹ BSwh -Semiárido, tipo estepe, muito quente, com estação chuvosa no verão que se atrasa para o outono, podendo não ocorrer.

vermelho-amarelo. Em áreas mais baixas, mal drenadas, que registram ainda a presença de solos de origem sedimentar, classificados como Planossolos.

A Caatinga é uma floresta tropical seca, que apresenta espécies adaptadas às condições climáticas da região semiárido brasileira. Atualmente a vegetação nativa da Caatinga cobre cerca de 40% da área total do Semiárido. O restante da área tem sido ocupado por práticas agrícolas, pecuária extensiva, extração de lenha, entre outros (SILVA et al, 2017).

Devido à devastação sistemática da Caatinga, que há muitos séculos tem a área coberta com pecuária extensiva, agricultura, retirada de lenha e madeira e outros fins de menor interesse socioeconômico, esse tipo de exploração poderá levá-lo a um processo irreversível de degradação (BARBOSA et al. 2012). De acordo com Althoff et al. (2018) a vegetação da Caatinga tem sofrido um aumento das atividades antrópicas na retirada da cobertura vegetal para o estabelecimento de áreas de pastagens e campos agrícolas.

Segundo Andrade et al. (2005), o sistema agrícola apresenta-se como o fator que maior pressão exerce sobre a cobertura vegetal do Semiárido brasileiro, e essa pressão varia de intensidade em função da localização, estrutura e tamanho dos remanescentes. Para Sánchez et al. (2018) a área ocupada atualmente com campos agrícolas compreende cerca de 10% de toda a região semiárida, sendo possível observar a agricultura de sequeiro, agricultura irrigada com o uso de fertilizantes químicos ou mecanização que impacta muito mais.

Althoff (2016) enfatiza que apesar das altas temperaturas as queimadas naturais são muito raras de acontecer e geralmente são causadas pela ação humana para a fabricação de lenha, áreas de pastagens e sistemas agrícolas.

Segundo o relatório da IRPAA (2010) a conservação da Caatinga evita o volume de gases de efeito estufa na atmosfera e indica o reflorestamento de espécies nativas como uma medida de aumento do potencial de absorção do dióxido de carbono. Albuquerque et al. (2015) afirmam que as plantas têm a capacidade para absorver o CO₂ atmosférico e armazenar. Os ecossistemas florestais têm o papel de mitigação do CO₂ e atendem as produtividades como meio viável de estimativa para apoiar as políticas de manejo florestal.

Sampaio (2008) afirma que a vegetação de Caatinga tem proporções de eficiência diferenciada. Ela pode fixar aproximadamente 35 toneladas de carbono por hectare num prazo de 20 anos. Além de absorção do carbono a Caatinga é uma vegetação diferenciada por emitir menos carbono que as florestas tropicais úmidas.

3.2 Estado da Arte da Produtividade Primária Bruta – PPB e da Produtividade Primária Líquida – PPL

A produtividade Primária Bruta (PPB) é representada pela taxa global de fotossíntese onde a matéria orgânica utilizada na respiração é convertida na assimilação total (GALLON et al, 2006; ARAGÃO, 2004). Segundo Xiao et al (2004), a Produtividade Primária Bruta é representada pelo carbono bruto fixado, sendo ele o ciclo biogeoquímico do carbono. A fotossíntese é o processo fundamental da PPB, a fixação de carbono pela vegetação é condicionada por fatores físicos, químicos e biológicos (OLIVEIRA, 2016).

A absorção do dióxido de carbono na atmosfera por meio da fotossíntese corresponde a PPB, a diferença entre a fotossíntese bruta e a respiração realizada por autótrofos é conhecida como Produção Primária Líquida (PPL) (MORAIS, 2017). Rosa e Sano (2013), definem a Produtividade Primária Líquida (PPL) como resultado de toda energia armazenada a partir do processo de Produtividade Primária Bruta, o PPL é representado pela produção de biomassa a partir do consumo de heterotróficos.

O crescimento vegetal depende que o armazenamento de matéria orgânica, exceda as perdas de dióxido de carbono pelo processo de respiração autotrófica. (ARAGÃO, 2004).

A relação da produtividade primária pela vegetação relacionada às características fenológicas dos índices de vegetação relacionada a atividades fotossintéticas e a variação sazonal, são capazes de rastrear a fenologia e a variação de medidas fotossintéticas (NAKAJI et al, 2007). Cerca de 44 a 45% da luz solar em plantas é refletida ou absorvida ou dispersa, ou seja, 45% são inutilizáveis em relação a produtividade, 5% é transformado em PPB, de 2,5% a 4,0% é transformado em PPL e 1% a 2,5% é usado para a respiração da própria da planta (figura 1) (TOWNSEND et al, 2006).

Figura 1 - Processo das Produtividades Primária Bruta e Líquida.



Fonte: SO Biologia (2008)

<https://www.sobiologia.com.br/conteudos/bio_ecologia/ecologia9.php>

Existem vários métodos de se estimar a produção primária, sendo a mais utilizadas o uso do sensor MODIS – Produto MOD17A2 e com dados de espectrorradiômetro.

O sensor MODIS fica a bordo dos satélites Terra e Aqua, que é um dos sistemas de observação da Terra usado pela NASA. Estes sensores oferecem um olhar para fenômenos terrestre, atmosférico e do oceano, beneficiando uma comunidade de usuários ampla e diversa em todo o mundo (NASA, 2013). O sensor MODIS oferece onze produtos, que permitem monitorar vários elementos terrestres como o MOD17 (Produção Primária Bruta e Líquida).

Vários estudos têm utilizado o produto MOD17A2 Silveira (2008) relata que trabalhos relacionados à biomassa ao carbono em ecossistemas tropicais tem sido de maior relevância para os parâmetros de absorção de carbono, já que as florestas contribuem para a obtenção do carbono, fornecendo estabilidade ambiental, como pode ser visto nos trabalhos de Silva et al (2013), em seu estudo no perímetro irrigado de São Gonçalo- PB, objetivou determinar a GPP com imagens TM – Landsat 5 e dados complementares de superfície. Para a realização do estudo foram necessárias as imagens do Landsat5 e do sensor MODIS produto MOD17A2. Os resultados apontaram que as diferenças entre os valores da GPP obtidos segundo as duas técnicas resultaram em Desvio Absoluto Médio - DAM de 0,91 g C m⁻² dia⁻¹, Desvio Percentual Médio – DPM de 11,82% e Raiz do Desvio Quadrático Médio - RDQM de 1,12 g C m⁻² dia⁻¹.

Morais et al (2017), realizou estudo utilizando imagens do sensor MODIS para estimar o PPB e PLL nos anos de 2011 e 2012 no município de Petrolina. Foi possível observar que na área de Caatinga preservada em período chuvoso apresentaram valores de assimilação total (até

160 g C/m² em janeiro de 2011) e sequestro de carbono, enquanto no final do período seco foram registrados valores inferiores a 20 g C/m².

Quanto ao total anual, em 2011 as áreas de Caatinga preservada juntamente com a agricultura irrigada apresentaram os maiores valores de GPP (> 900 g C/m²), enquanto que em 2012 a GPP das áreas de Caatinga variaram, em geral, de 500 a 600 g C/m², com algumas áreas chegando a 700 g C/m². A NPP, ou seja, o sequestro de carbono, variou de 500 a 700 g C/m² em 2011 e de 100 a 400 g C/m² em 2012

Podemos notar no estudo de Rosa e Sano (2013) em que tiveram por finalidade de determinar a Produtividade Primária Líquida (NPP) de pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, usando imagens obtidas pelo sensor MODIS/Terra. Foi utilizada a metodologia de Kumar e Monteith (1981), que estabelece as relações entre radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas plantas e a produtividade de biomassa. A partir deste modelo foi possível estimar a NPP, em função do NDVI e PAR acumulado mensalmente no período de outubro de 2010 a setembro de 2011.

A radiometria de campo é uma técnica bastante utilizada em aplicações operacionais, sendo possível avaliar as condições de campo, gerar modelos, calibrar sensores orbitais e aerotransportado (MILTON, 1987). O FieldSpec® 4 Hi-R é utilizado para medir a energia radiante da vegetação, água, solo. O equipamento, realiza medidas de reflectância, radiância e irradiância, a partir da energia radiante é possível realizar modelos de PPB e PPL, índices de vegetação.

Trabalhos utilizando a radiometria de campo se expandido em várias áreas do conhecimento, como pode ser visto no estudo de Rezende et al (2016) realizou um trabalho de campo em uma área de Caatinga preservada localizada no município de Petrolina-PE. Foram coletadas medidas de assimilação de carbono em 11 indivíduos de *P. microphylla*. Foi utilizado o modelo de INLAND calibrado e não calibrado.

Os resultados apontaram que o modelo calibrado o PPB atingiu 72% do valor observado, enquanto o modelo não calibrado obteve apenas 42% do PPB observado. O estudo contribuiu para mostrar que os modelos calibrados para a vegetação específica da Caatinga são mais eficazes do que os não calibrados.

Gomes et al (2016), ao realizarem a pesquisa no município de Petrolina em uma área experimental da Embrapa Semiárido, tiveram o objetivo de analisar o comportamento da vegetação através dos dados de espectrorradiometria que foram gerados índices de vegetação, pigmentação e Assimilação líquida de carbono (NPP). Foram projetados cenários futuros das

variáveis estimadas utilizando dados do modelo climático ETA, projetados até o ano de 2040. As variáveis projetadas indicaram uma tendência de aumento da temperatura, umidade e déficit de pressão de vapor favorecendo a assimilação de carbono pela vegetação

3.4 *Mistura espectral*

A Análise de Mistura Espectral (SMA) é um método baseado em modelo de pixel, no entanto um pixel é composto por vários tipos de matéria, a presença das diferentes matérias presentes no pixel estabelece sua quantidade. A classificação de um pixel pode representar os constituintes da mistura espectral (ADAMS et al., 1995; JUNIOR et al, 2003). Carvalho Júnior (2003) enfatizam que a detecção dos alvos tem como pressuposto a análise de um grupo de pixels ao invés de um pixel isolado. A mistura espectral ocorre quando um pixel inclui duas ou mais classes espectrais podendo ser modelada por uma linear de respostas espectrais.

O modelo linear de mistura espectral busca estimar proporções dos componentes físicos e químicos para cada pixel a partir da resposta espectral. O modelo linear de mistura espectral obtém respostas espectrais dos alvos analisados com combinações lineares que representam componentes com comportamento espectral considerado puro (FREITAS et al. 2008; TERRA, 2007). Para identificar diferentes materiais presentes em um pixel, podem ser utilizados modelos que permitem a decomposição do pixel em seus componentes puros (SMITH et al., 1999).

As resoluções espaciais dos sensores orbitais estão aumentadas substancialmente nos últimos anos, o aumento de estudos de mistura espectral entre pixels da variação na geometria de aquisição dos dados pelo sensor tem sido bastante estudado por diversos estudiosos em diversas áreas do conhecimento como pode ser visto no estudo realizado por Anderson et al. (2005), aplicaram o modelo linear de mistura espectral nas imagens de refletância para a geração das imagens fração sombra.

No estudo de Carvalho et al. (2001), os autores propõem uma metodologia para analisar a mistura espectral do satélite Landsat. A área de estudo compreende a reserva ecológica do IBGE. Para o processamento adotaram para a detecção dos pixels puros usando tratamento de dados hiperespectrais. O uso da metodologia foi eficaz e se revelou bastante interessante, pois foi possível a determinação das amostras para a classificação usando a análise da mistura espectral.

Rovani et al. (2012) utilizaram uma imagem Landsat 5 e o software Spring para seu processamento. Posteriormente, a técnica por componentes principais foi aplicada em duas combinações e o modelo linear de mistura espectral nas bandas 3, 4 e 5. Como resultado verificou-se que a primeira técnica permitiu a melhor identificação dos alvos, como as culturas e apresentou o maior número de informações. Já o modelo linear de mistura espectral possibilitou identificar variações no solo com relação à umidade e cobertura, e melhor discriminação entre as áreas com floresta nativa ou florestamento.

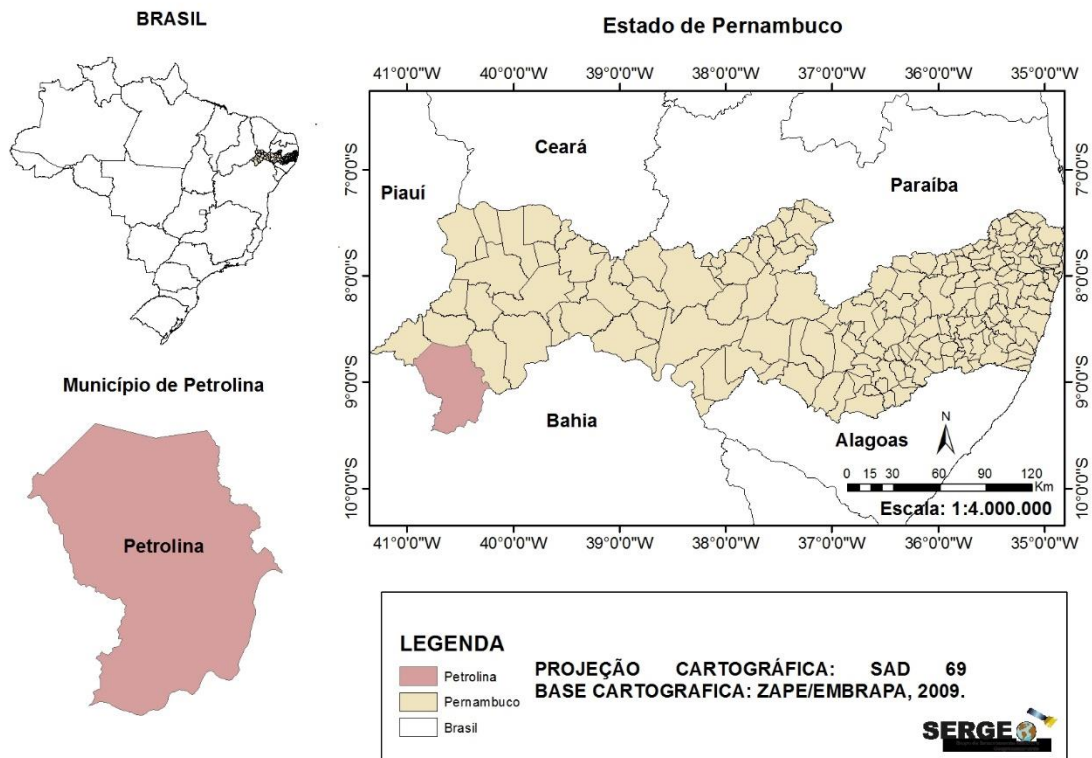
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área em estudo fica localizado no município de Petrolina na EMBRAPA semiárido. O município de Petrolina fica distante cerca de 714,4 km da capital do Estado de Pernambuco, Recife. Petrolina está localizado no extremo oeste a uma latitude de 08° 30' 54" Sul e a uma longitude 41° 0' 18" Oeste, com altitude de 522 m. Quanto aos aspectos populacionais, o município de Petrolina possui população de 293.962 mil habitantes com a área territorial 4.561,874 Km² (IBGE, 2010), Figura 2. O ponto destacado na Figura 2 corresponde a uma área experimental da EMBRAPA semiárido, onde verifica-se a presença da vegetação de Caatinga preservada. O clima da região do tipo semiárido pela classificação de Köppen que se enquadra como BSWH, as chuvas são concentradas entre os meses de novembro a abril, cuja precipitação pluviométrica média anual é de 578 mm, temperatura do ar 26,5°C, evaporação anual de 2600 mm e umidade relativa média anual de 61% (SILVA et al, 2005). A vegetação é basicamente composta por Caatinga hiperxerófila com trechos de floresta caducifólia, onde predomina a Caatinga arbustiva-arbórea, entremeada a trechos de Caatinga arbustiva. Observa-se uma vegetação típica de Caatinga com fisionomia predominantemente arbustiva com elementos arbóreos, podendo ser densa ou aberta, com um estrato arbustivo (CODEVASF, 2007). Predominam os solos com baixo desenvolvimento como os Neossolos, além dos Planossolos, e pequenas manchas de solos desenvolvidos como os Latossolos e Argissolos, entre outros (SILVA et al, 2010). Inserido na unidade geoambiental da depressão sertaneja, que representa uma paisagem típica do semiárido nordestino.

O perímetro da área de estudo está localizado na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, boa parte de sua fisionomia apresenta relevo suave-ondulado, em uma superfície pediplanada, com áreas cortadas por vales estreitos, com vertentes dissecadas. A área também apresenta trechos com elevações residuais, cristas ou outeiros (pequenos montes), pontuando a linha do horizonte, que foram formados por intensos períodos de erosão, ocorridas em grande parte do sertão nordestino (IBGE, 2010).

Figura 2 - Localização da área de estudo, município de Petrolina.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

4.2 Dados orbitais

Neste estudo foram utilizados dados do sensor MODIS. O sensor MODIS é o principal instrumento a bordo dos satélites Terra e Aqua, que é um dos sistemas de observação da Terra da NASA. O MODIS realiza observações de toda a superfície terrestre a cada 1 ou 2 dias e adquire dados em 36 bandas espectrais que se situam entre 0,4 e 14,4 μm e se distribuem em diferentes grupos de resolução espacial (LIU, 2006). As 36 bandas do Sensor MODIS possuem diversas aplicações, dentre as quais se tem propriedade e limites de nuvens e aerossóis, Cor do oceano e Biogeoquímica, Temperatura atmosférica e Ozônio. Os dados do sensor MODIS estão descritos na Tabela 1. As bandas do sensor MODIS utilizada neste estudo possui uma resolução espacial de 1km, corresponde ao MOD17. Para análise dos parâmetros correspondentes ao estudo foram adquiridos os Produtos MODIS, a bordo do satélite Terra, com resolução espacial de 1 quilometro e resolução temporal de 8 dias disponibilizado pelo site do serviço geológico dos Estados Unidos, Glovis – USGS para os anos de 2014 a 2017, respectivamente foram utilizadas 71 imagens do produto MOD17. As imagens foram processadas através de softwares como o ERDAS 9.3 e ARCGIS 9.3 e utilizados os produtos a baixo relacionados.

Tabela 1 - Especificações Técnicas do Sensor MODIS

Órbita	705 Km, síncrona com o sol, polar 10:30 a.m, descendente; 1:30 p.m ascendente.
Alcance Espectral	0,4 - 14,4 μm .
Cobertura Espectral	$\pm 55^\circ$, 2330 Km em fileira.
Resolução Espectral	250 m (2 bandas) 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir.
Precisão Radiométrica	5% absoluto, $< 3\mu\text{m}$; 1% absoluto, $> 3\mu\text{m}$; 2% de reflectância.
Cobertura de Repetição	Diária, a norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°
Quantização	12 bits
Taxa de Dados	6,2 Mbps (média), 10,8 Mbps (dia), 2,5 Mbps (noite)
Força	162,5 W (média para órbita), 168, 5 Mbps (noite)

Fonte: Adaptação, NASA.

O produto MOD17 (Produção Primária Bruta – PPB e Líquida – PPL), Produção Primária, relaciona a eficiência do uso da luz, a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida – $fAPAR$ e a radiação fotossinteticamente ativa – RFA . Este produto possui três camadas, sendo a PPB, a PPL, e a de qualidade do pixel. Cada resultado corresponde a um período de oito dias, estimado a partir das médias dos valores selecionados da PPB e PPL diários. A soma corresponde a um período de 8 dias estimadas a partir da média dos pontos selecionados da PPB e PPL diárias resultando ao todo em 71 imagens/média criada para cada dia.

As descrições do algoritmo das estimativas das produções primárias podem ser vistas nas equações abaixo:

$$GPP = \varepsilon \times APAR = \varepsilon \times fAPAR \times APAR \quad (1)$$

Onde: ε é a eficiência da conversão da luz absorvida em biomassa, ou eficiência de uso da luz.

$APAR$ é a estimativa de produtividade real é conduzida através de um parâmetro de eficiência de conversão; O $fAPAR$ é derivado através de resoluções espectrais (Asrar *et al.* 1984; Sellers 1985; Goward e Huemmrich, 1992; Ruimy *et al.*, 1994).

$$PPL = GPP - Rm \quad (2)$$

Onde: Rm é custo de respiração de manutenção da massa foliar. Atualmente, as estimativas de produtividade são calculadas diariamente e combinadas para produzir um produto semanal (8 dias).

4.3 Coleta e processamento dos dados em campo

4.3.1 Coleta e processamento dos dados em campo nos dosséis

As coletas de dados em campo foram realizadas em uma área de caatinga preservada da Embrapa Semiárido no município de Petrolina. Para a primeira parte do estudo foi medido a energia radiante da vegetação na região da torre meteorológica utilizando espectrorradiômetro FieldSpec® 4 Hi-Res, Figura 3. As medidas radiométricas das plantas coletadas entre os anos de 2014 a 2017 em escala temporal de 15 em 15 dias para os dois primeiros anos e 8 em 8 dias para os dois últimos anos, foram medidos as posições dos dosséis em quatro direções (Norte, Sul, Leste e Oeste), foram 71 medições no decorrer desses anos.

Foi realizado medidas de refletância, radiância e irradiância. O aparelho propriamente referido vem acompanhado de um computador notebook LCD, baterias, interface espectrorradiômetro – computador (porta paralela bidirecional), o software RS2 de interface com o usuário, o software para aquisição e armazenamento de dados de refletância, radiância e irradiância (ALVARENGA et al., 2003).

Estas leituras são realizadas a altura de 16m em cima de uma torre micrometeorológica instalada na área. O equipamento é apontado em direção ao dossel vegetal da área analisada.

Figura 3 - Imagem do aparelho Espectrorradiômetro FieldSpec® 4 Hi-Res.



Fonte: ASD Inc (2018). <https://www.asdi.com/products-and-services/accessories/reflectance-probe>.

Para desenvolvimento da Produtividade Primária Bruta foi proposto a metodologia de Moura et al (2012).

O WDVÍ (em inglês) tem sido atribuído a Richardson e Wiegand (1977), mas quem delimitou esse índice foi Clevers (1978), sendo posteriormente melhorado por Kerr e Pichon (1996). Esse índice é dado pela subtração da refletância da banda do infravermelho próximo menos a refletância da banda vermelha associado ao declive da linha de solo. Foram calculados (Galvêncio et al., 2012), e entre eles a diferença de água Índice de Vegetação - A WDVÍ foi com o melhor ajuste com dados *PPB*. (Equação 3).

$$WDVI = \rho_{830} - 1,06 \times \rho_{660} \quad (3)$$

Onde: ρ_{IV} é a refletância da banda do infravermelho próximo, ρ_V é refletância da banda vermelho.

Segundo Moura *et al.* (2012) o relacionamento entre NDVI e *PPB* de banda larga foi fraco. O estudo da relação entre NDVI e *PPB* usando espectrorradiômetro portátil observou uma correlação fraca ($r^2 = 0,20$). A relação entre WDVÍ e *PPB* observou-se forte correlação de *PPB* com WDVÍ ($r^2 = 0,95$) e a equação de ajuste para estimar *PPB* em $\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. (Equação 4)

$$PPB = \frac{WDVI + 0,2782}{0,2137} \quad (4)$$

Tabela 2 - Especificações técnicas do Espectrorradiômetro FieldSpec ® 4 Hi-Res.

Banda Espectral	350-2500 nm
Resolução Espectral	3nm em 350-1050
Intervalo de Amostragem	1,4 nm em 350 -1050 2nm em 1000-2500
Tempo de Medida	100 milissegundos
Luz difusa	VNIR 0,02% SWIR 1 e 2-0,01%
Reprodutibilidade Espectral	0,1 nm
Precisão Espectral	0,5 nm
Radiância Máxima	VNIR 2X / SWIR 10X Solar
Canais	2151
Detectores	VNIR (350-1000nm) Matriz de Fotodiodos de Silício com 512 elementos. SWIR 1 e 2 (1000-1800nm) e (1800-2500nm). Fibras de índice gradual, fotodiodos de InGaAs, resfriados termoeletricamente.
Entrada	Cabo de Fibra Óptica de 1,5 m. Lentes com campo visado.
Massa	5,44 Kg.
Calibrações	Comprimentos de onda reflectância absoluta, radiância, irradiância.
Computador	Notebook 64 bits (instrumento controlador)

Fonte: Adaptação ASD Inc (2018). <https://www.asdi.com/products-and-services/fieldspec-spectroradiometers/fieldspec-4-hi-res>

Segundo Rosa e Sano (2013) a produtividade primária líquida está relacionada com a fotossíntese e a respiração, sendo a diferença do *PPB* com a respiração. Estudos afirmam que

o NPP pode ser sumidouro de carbono ou fonte de carbono para a atmosfera (OLIVEIRA, 2006).

Os índices NDVI e sPRI foram combinados, segundo a metodologia de Rahman et al. (2000), para gerar a produtividade primária líquida - *PPL* (Equação 5).) equação de ajuste para estimar *PPL* em $\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

$$PPL = -5.6(\text{NDVI} * \text{sPRI}) - 0,69 \quad (5)$$

4.3.2 Coleta e processamento dos dados em campo para espécies predominantes

As coletas de dados em campo foram realizadas em uma área de caatinga preservada da Embrapa Semiárido no município de Petrolina. A área é um Sítio de Pesquisas do Projeto Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que busca a geração de informações sobre o funcionamento dos ecossistemas brasileiros.

Foi realizado um inventário de uma unidade amostral, constituída por uma parcela de 400m². Foram medidos com o uso do FieldSpec® 4 Hi-Res quatro espécies predominantes, sendo que cada espécie foi medida a energia radiante da vegetação em três folhas, essas medições foram feitas com a pistola dentro da parcela, sendo as quatro espécies: *Sapium argutum*, *Bauhinia forficata*, *Samanea tubulosa*, *Jatropha molíssima*.

4.4 Análise estatística

Para a obtenção das curvas de regressão linear simples entre a *PPB* e *PPL* utilizou-se o aplicativo Excel da Microsoft© Corporation. O valor da estatística p foi calculado utilizando o software R, o valor de p é uma medida da significância geral da equação de regressão, seja ela simples ou múltipla, a análise do valor da variável p é feita seguindo os seguintes critérios onde:

- $p > 0,1$ – estatisticamente não significativo,
- $0,05 < p \leq 0,1$ – estatisticamente significativo a 90%,
- $0,01 < p \leq 0,05$ – estatisticamente significativo a 95%,
- $p \leq 0,01$ – estatisticamente significativo a 99%.

Os valores da *PPB* e *PPL*, para o cálculo da regressão linear simples foram obtidos tomando a médias de todos os pontos a cada dia, posteriormente foi extraída a média entre todos

os meses para se ter uma média anual. Desta forma, toda a série de dados, para a regressão linear simples e a significância, são de 4 anos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação da confiabilidade da estimativa da PPB, dos sensores orbitais do MODIS e hiperespectrais

A estatística descritiva da PPB estimada e disponibilizada como produtos prontos do MODIS na escala diária e estimados utilizando a equação de Moura et al. (2012) com dados obtidos em campo através de espectrorradiômetro estão descritos na Tabela 1. Nota-se que há semelhança nas médias, desvios padrão, valores mínimos e máximos nos produtos da PPB.

A estatística descritiva da PPL estimada com MODIS e estimada pela equação de Rahman et al. (2000) com dados de espectrorradiometria de campo também estão representadas na Tabela 1. Nota-se que há uma diferença em torno de 74% na média dos valores do MODIS e estimados com o espectrorradiômetro de campo e equação de Rahman. Ou seja, uma alta diferença nos valores estimados para a PPL.

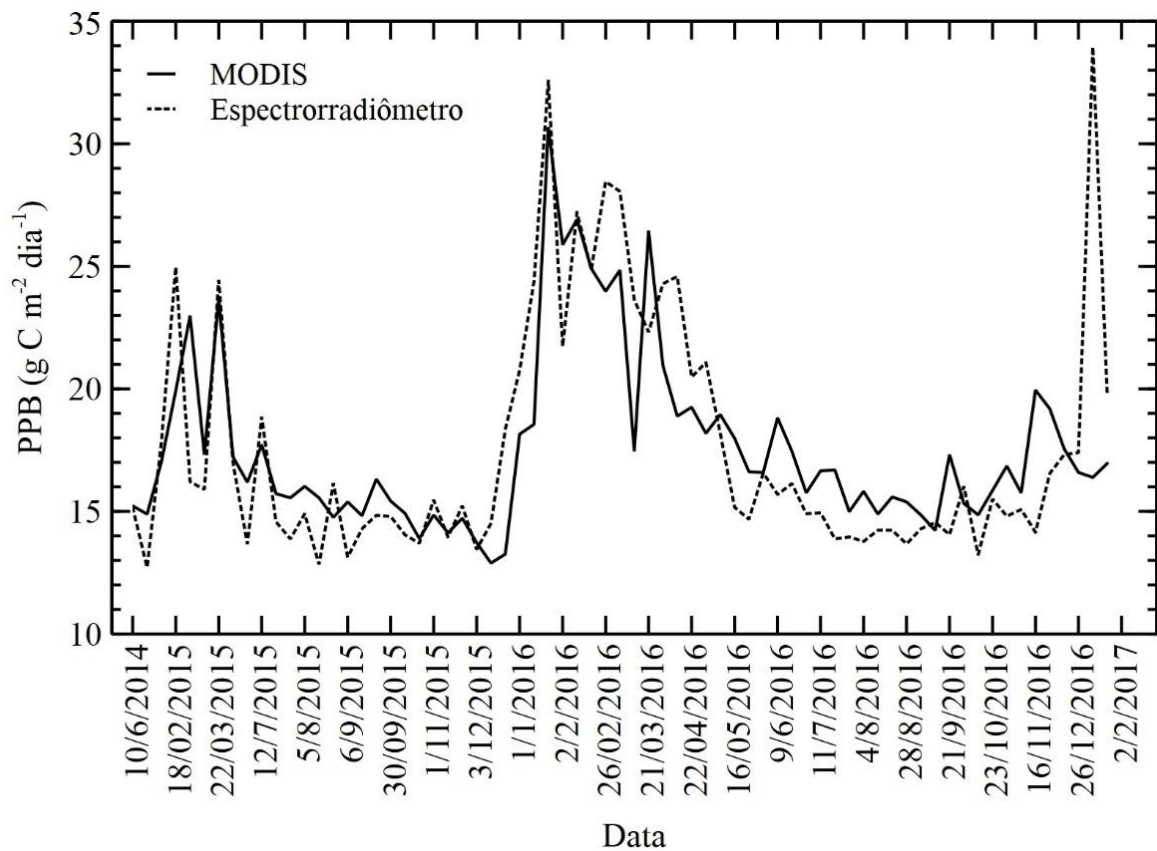
Tabela 3 - Estatísticas descritivas da Produtividade Primária Bruta (PPB) e Produtividade Primária Líquida (PPL) em ($\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) em dossel na área de Caatinga.

Estatísticas descritivas	PPB MODIS	PPB espectrorradiômetro/ Moura et al (2012)	PPL MODIS	PPL espectrorradiômetro Rahman et al. (2000)
Média	17,5	17,5	4,11	15,4
Máxima	30,6	33,9	5,09	25,4
Mínima	12,8	12,7	1,90	9,92
Desvio Padrão	2,21	4,90	2,22	14,0

Neste estudo foi considerado que os dados de PPB obtidos com espectrorradiômetro em campo e processados com a equação desenvolvida por Moura et al. (2012) seria a referência para comparação (verdade terrestre), uma vez que essa equação foi desenvolvida e calibrada utilizando dados de campo da área em estudo.

É possível observar na Figura 4 que o MODIS subestima os dias com valores altos de PPB e sobrestima os dias com valores baixos. Ainda é possível notar que a PPB na área variou entre 15 e 35 gCm^2 .

Figura 4 - Relação entre a PPB do espectro e a PPB do MODIS.

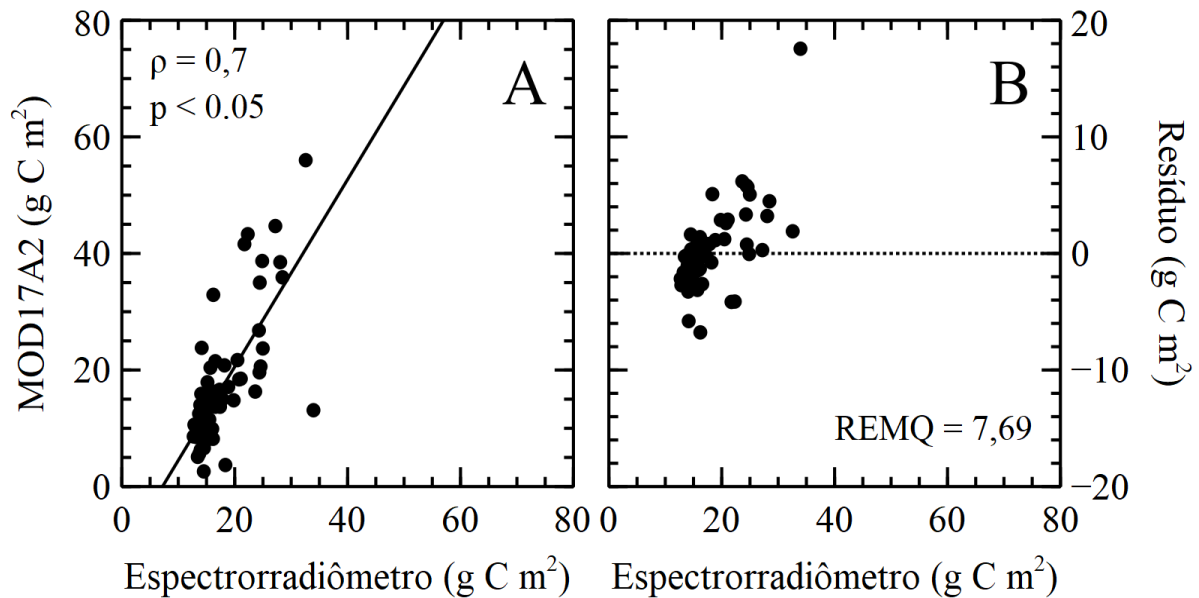


Foi avaliada a precisão dos dados de PPL estimados com o MODIS em comparação com os dados obtidos com espectrorradiometria de campo. Foi obtido um coeficiente de correlação $r = 0,7$, Figura 5, com nível de significância de 0.05 e o REMQ=7.69. Figura 5. Nota-se que o MODIS mesmo com valores coerentes subestima os dados obtidos com observações em campo. Jiang et al (2013) realizaram comparações entre o PPB *Eddy covariance flux tower* com o PPB do produto MODIS e obtiveram uma correlação linear simples de $r = 0.83$ que subestimou os valores da Torre. Este resultado é semelhante ao obtido neste estudo para o ecossistema Caatinga, o PPB do MODIS subestimou os valores obtidos em campo com espectrorradiometria.

A primeira interação entre os resíduos e a densidade do PPB apontam que os resíduos se distribuem aleatoriamente em torno da linha de tendência, de modo que o modelo apresentou REMQ = 7,69 (g C m^2) considerando-se erro médio no modelo de regressão linear (Figura 5B). Gelybó et al (2013) obtiveram estimativas do PPB utilizando dados da torre de Covariância

Eddy e dados do produto MODIS – MOD17, o erro quadrático médio em suas análises diminuiu de 1,095 ($\text{g C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) a 0,815 ($\text{g C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) embora o PPB permaneça subestimado.

Figura 5 - Correlação e Resíduo do Processo da Produtividade Primária Bruta na Embrapa Semiárido - Petrolina

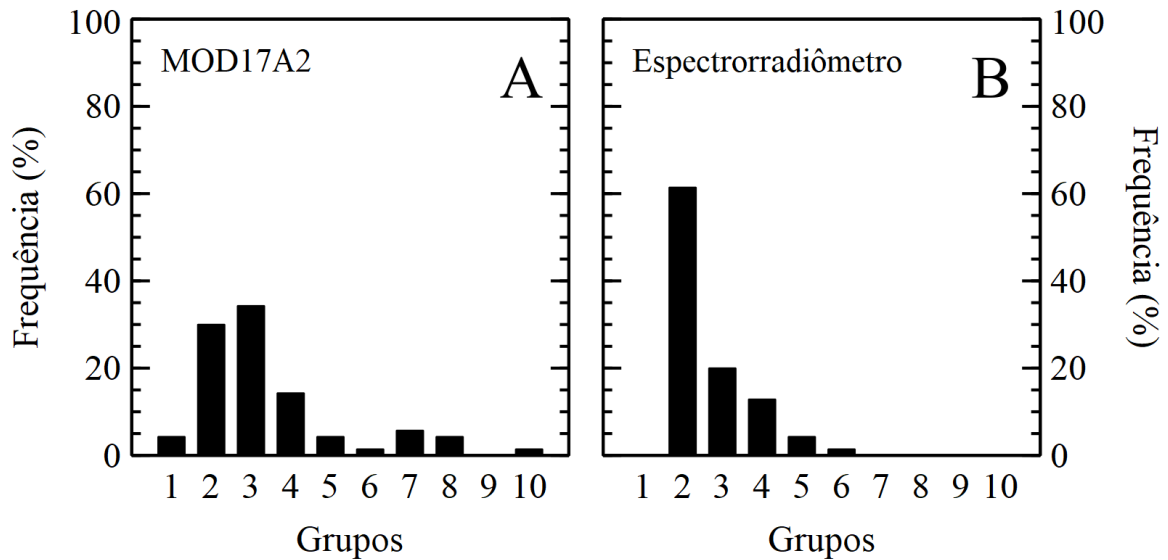


Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Para avaliar a distribuição dos intervalos de classe dos dados de PPB do MODIS e espectrorradiômetro foi obtido o histograma de frequência, Figuras 6A e 6B. Nota-se que coincide os intervalos de maiores PPB entre o MODIS e o espectrorradiômetro, intervalos 2, 3, 4 e 5. A distribuição dos dados do MODIS se dá em praticamente todas as classes (nove), enquanto que a do espectrorradiômetro ocorre em apenas seis classes das dez utilizadas. A classe dois se destaca nos dados do espectrorradiômetro com 60% de frequência dos dados enquanto que nos dados do MODIS esses 60% de frequência dos dados se dá em três classes, 2, 3 e 4.

Em geral, o MODIS segue o padrão dos intervalos de classe dos dados do espectrorradiômetro para a PPB. Souza et al(2014) usando o MODIS para avaliar a PPB do Cerrado e comparando os valores do MODIS com os do modelo de fotossíntese da vegetação obtiveram um melhor desempenho do modelo do que os produtos do MOD17A2 em estimar a GPP, por utilizar dados climáticos locais para estimar a eficiência do uso da luz, enquanto que o produto MODIS utiliza um modelo de circulação global e uma tabela baseada no tipo de vegetação para estimar a eficiência do uso da luz.

Figura 6 - Histograma dos grupos do processo da Produtividades Primária Bruta



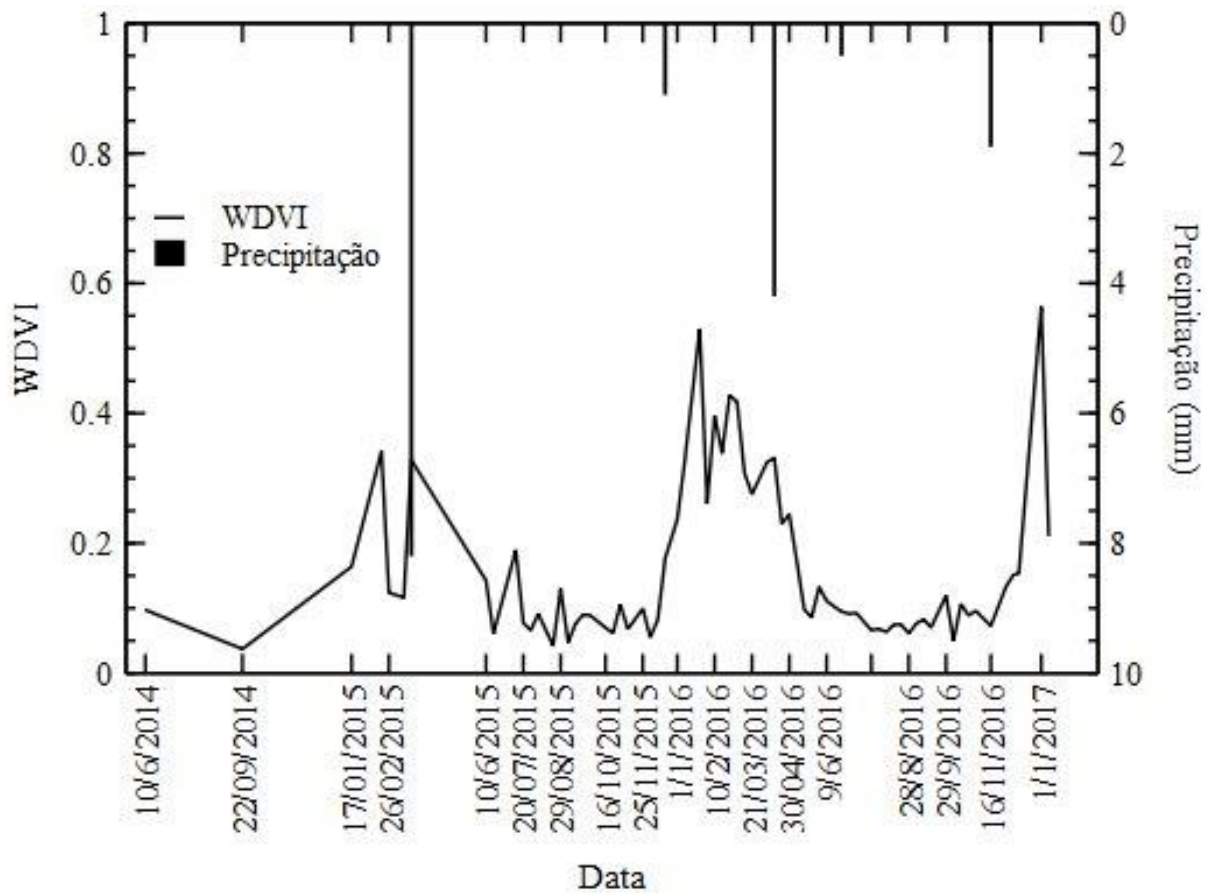
Fonte: Elaborada pela autora (2018).

5.2 NDWI estimado com espectro

A variação temporal do NDWI de 2014 a 2017 com dados observados em campo com espectrorradiometria está apresentada na Figura 7. Nota-se que na série de dados utilizada esteve entre 0,05 a 0,5. Nota-se uma boa distribuição dos dados em todas as escalas. Ou seja, 23% dos dias utilizados neste estudo estiveram com NDWI mais elevados, entre 0,2 a 0,5; em torno de 35% entre 0,1 e 0,2 e e em torno de 35% entre 0,05 e 0,1. Ou seja, os dados utilizados neste estudo representam bem a variação temporal do NDWI da caatinga em estudo. Essa avaliação do NDWI é importante porque neste estudo essa variável foi a única utilizada para estimar a PPB utilizando a equação de Moura et al. (2012). Além da boa representação temporal dos dados utilizados neste estudo também vale salientar que a equação utilizada neste estudo foi calibrada para a área em Moura et al (2012) e agora está sendo validada através deste estudo.

Além da variação temporal do NDWI também é verificar sua relação com a precipitação. Nota-se que durante o período analisado ocorreu quatro eventos de precipitação importante para a variação do NDWI. Apesar da precipitação que ocorreu ser sempre menor do que 10mm ainda teve influência na variação temporal do NDWI. Dos quatro eventos três deles não passaram de 4mm, Figura7.

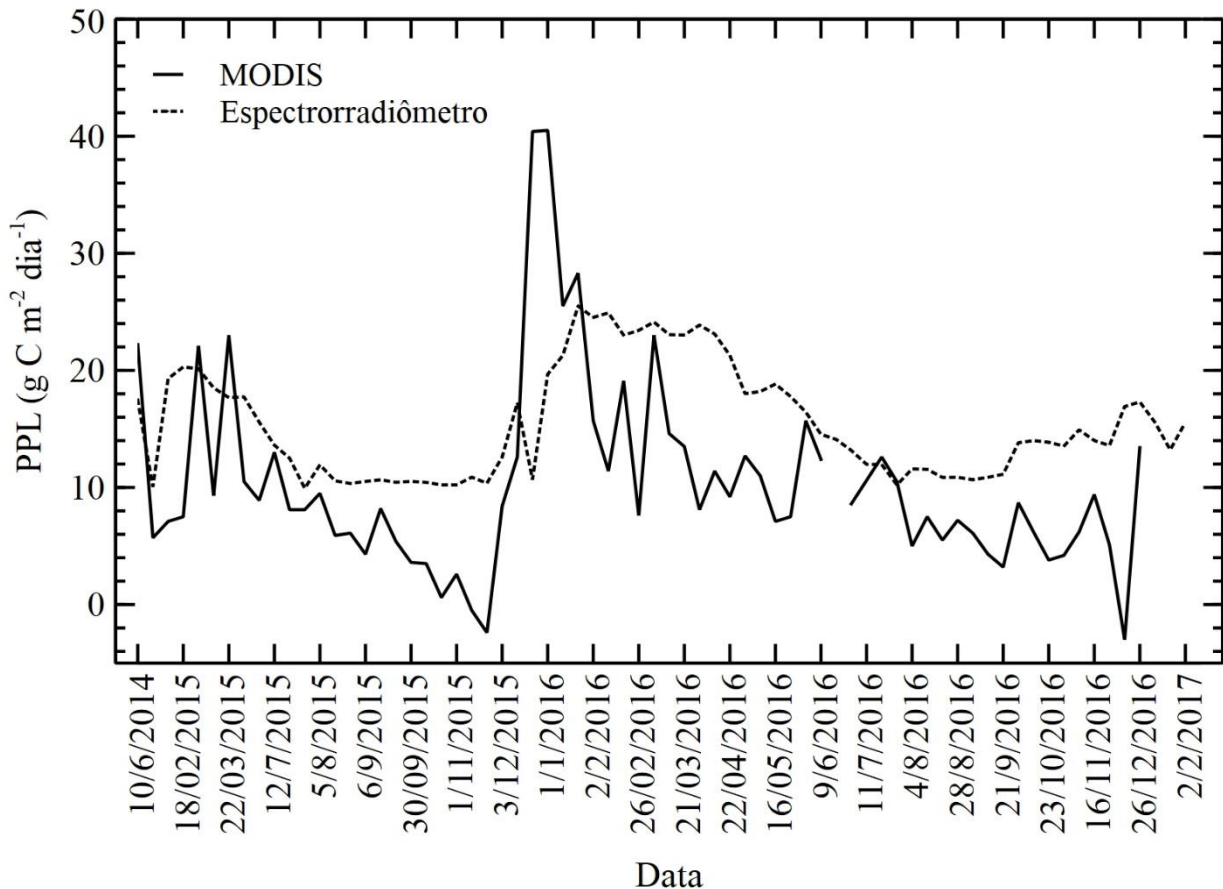
Figura 7 - Relação do NDWI com a precipitação na área de Caatinga.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

5.3 Avaliação da confiabilidade da estimativa da PPL, dos sensores orbitais do MODIS e Rahman/hiperespectrais

A Figura 8 mostra a variação temporal da PPL do MODIS e do espectro. Nota-se que o MODIS também subestima a PLL observada. Porém, não é possível avaliar a precisão dos dados MODIS em comparação com os do espectro porque a equação utilizada para estimativa do PLL do espectro não foi calibrada para a caatinga. Neste caso, esta análise serviu apenas para mostrar a importância do desenvolvimento de uma equação de PLL calibrada para a caatinga com dados hiperespectrais. Diante deste resultado e por o MODIS representar muito bem o padrão da variação temporal e espacial da PPB e também da PPL, Figura 8, preferiu-se adotar as estimativas do MODIS para avaliar a variação espacial e temporal da PPL na caatinga do que os dados estimados com a equação de Rahman et al. (2000) com dados hiperespectrais por não ter sido calibrado para a caatinga.

Figura 8 - PPL Rahman/Espectro e MODIS.

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

A distribuição de PPL das médias diárias seguindo a mesma tendência da correlação PPB. Os dados de PPL entre os anos de 2014 a 2017 também apresentaram percentual de correlação boa, os valores do comportamento do PPL medidos em campo pelo espectrorradiômetro e estimados pelo sensor MODIS produto MOD17A2, obteve variância $\rho = 0,61$ indica que 60% de confiança, os pontos que caem perto da linha, indica que há uma forte relação entre as variáveis. A relação é positiva, forte e crescente, entre as variáveis aumentam simultaneamente o valor do espectrorradiômetro que é explicado pelos valores do produto MOD17A2 (Figura 9A).

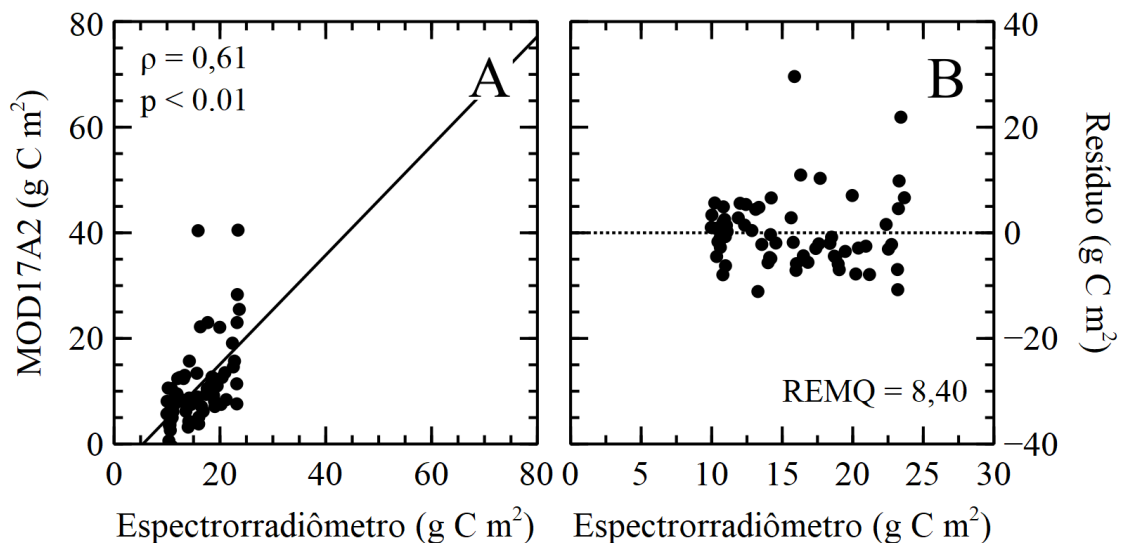
Mesmo não sendo a equação de Rahman calibrada para a caatinga é possível afirmar que o MODIS representa bem o padrão espacial e temporal da PPL da caatinga. É possível averiguar a tendência significativa para a inclinação da linha de regressão igual a zero. Foram encontradas tendências com declives significativos $p < 0,01$, as tendências significativamente positivas são uniformemente distribuídas (Figura 9A). Resultados semelhantes foram

observados por Colombo R. et al (2009) que a variabilidade entre os dados de campo e modelado interanual da PPL foi estatisticamente significativa $p < 0,01$.

A análise dos resíduos faz necessária, visto que as variáveis independentes não apresentam distribuição normal em relação à média. Observa-se que a tendência de agrupamento é verificada entre os valores da nuvem de pontos dos sensores, indicando uma variância constante da estimativa. Os resíduos permitiram avaliar os tipos de erros associados com estimativas dos sensores (Figura 9B).

A primeira interação entre os resíduos e a densidade do PPL apontam que os resíduos se distribuem aleatoriamente em torno da linha de tendência, de modo que o modelo apresentou $REM_{Q} = 8,40$ (g C m^{-2}) considerando-se erro médio no modelo de regressão linear (Figura 9B). O erro foi bem distribuído, os resíduos foram negativos para o PPL com densidade de $-8,4$ e positivo com valores de $8,4$. No estudo de Hilker et al (2017) o erro quadrático RMSE obteve valores de $0,355 \text{ G cm}^2$ a $0,470 \text{ G cm}^2$.

Figura 9 - Correlação e Resíduo do Processo da Produtividade Primária Líquida na Embrapa Semiárido - Petrolina

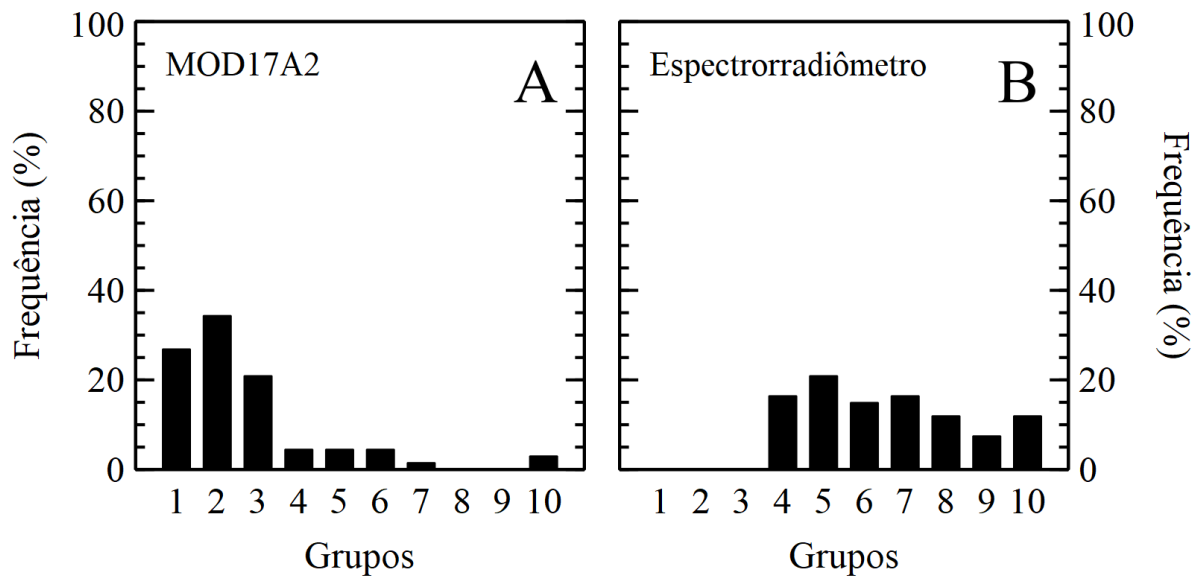


Fonte: Elaborada pela autora (2018).

O histograma de frequência usado nas derivadas dos valores estimados com os valores medidos em campo não apresentou uma distribuição normal, caracterizando valores assimétricos, é possível notar a frequência dos valores do sensor MODIS produto MOD17A2 apresentou resultados maiores dentro das classes de valores inferior na distribuição dentro dos grupos apontando valores com maior frequência nas classes de 1 a 3 (Figura 10A).

Os valores do espectrorradiômetro FieldSpec®3 Hi-Res obtiveram valores maiores entre as frequências de 4 a 10 apresentando consequentemente valores mais altos do que o do MODIS. Pela distribuição das frequências, na mesma figura, verifica-se que as variações de carbono seguem uma distribuição próxima ao exponencial, com valores de maior frequência no espectrorradiômetro. Nota-se que não há semelhança na forma de distribuição dos valores de carbono do sensor MODIS com as do espectrorradiômetro (Figura 10B).

Figura 10 - Histograma dos grupos do processo da Produtividades Primária Líquida



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

5.4 A importância das espécies predominantes para a estimativa do sequestro de carbono na Caatinga

As florestas são responsáveis pelo controle, redução de carbono e manutenção ambiental. Atualmente, o monitoramento florestal é feito por meio de técnicas voltadas ao sensoriamento remoto de forma hiperespectral. Miyoshi (2016), aponta que os métodos hiperespectrais fornecem dados mais detalhados de cada alvo espectral.

A contribuição do dossel e das espécies só tornaram possíveis as análises separadas devido ao uso de equipamentos hiperespectral que auxiliou nas medidas do PPB e PPL. Os modelos espectrais, gerados a partir de medidas espectrorradiométricas caracterizam distintas assinaturas espectrais das plantas (GRILO, 2012). De acordo com Moura et al (2017) os instrumentos

hiperespectrais auxiliaram melhor na compreensão e observações da fenologia e dos processos biofísicos da vegetação.

O incremento de carbono total para as quatro espécies que tiveram representatividade maior que o total de carbono acumulado nos dosséis das espécies estudadas, foi estimado 1,79 g C m⁻²d⁻¹ para o PPB e 1,72 g C m⁻²d⁻¹ para PPL as duas produtividades obtiveram contribuições similares. Moura et al (2017) enfatiza que os processos de análise espectral para a compreensão do comportamento dos dosséis continua sendo um desafio para quantificação dos ciclos fenológicos em grandes escalas. Fernandes et al. (2015), aponta que a redução parcial ou total das folhas pode influenciar no comportamento espectral dos dosséis.

Tabela 4 - Resumo dos valores de Produtividade Primária Bruta (PPB) e Produtividade Primária Líquida (PPL) do dossel e das quatro espécies dominantes na área de estudo na Embrapa Semiárido Petrolina.

Espécie	PPB (g C m⁻² d⁻¹)	PPL (g C m⁻² d⁻¹)
<i>Sapium argutum</i>	3,47	2,84
<i>Bauhinia forficata</i>	3,14	2,44
<i>Samanea tubulosa</i>	3,54	2,64
<i>Jatropha mollissima</i>	2,96	2,56
Dossel	1,79	1,72

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

A espécie *Sapium argutum* (Müll. Arg.) Huber da família Euphorbiaceae dentre as quatro, foi a espécie que mais estocou carbono nos valores do PPL no ano de 2017, com 3,47 g C m⁻²d⁻¹ do PPB e 2,84 g C m⁻²d⁻¹ para PPL, é possível notar que os valores do PPB foram superiores ao PPL. Na área de estudo correspondente a 400m² foi possível identificar 14 indivíduos. *Sapium argutum* (Müll. Arg.) Huber da família Euphorbiaceae, conhecida popularmente como burra leiteira, possui porte de árvore que pode chegar de 5-10 m de altura em suas características morfológicas apresentam tronco bastante ramificado, folhas elípticas, de margem denteada, de 5-12 cm de comprimento por 2-6,7 cm de largura, sustentadas por finas hastes de 1-3 cm de comprimento, apontadas para cima, parecendo “orelhas de burro”. No estudo conduzido por Moreira et al (2006) foi possível calcular a fitomassa disponível em matéria seca (MS, Kg há⁻¹) na espécie *S. argutum* 0,36 MS, Kg há⁻¹ em torno de 7,81 indivíduos. O estudo realizado no município de Petrolina – PE na área experimental da Embrapa Semiárido,

conduzido por Júnior et al (2014) indicou a espécie *S. argutum* tendo predominância na área com valor de importância de 2,23. A espécie Burra leiteira apresentou biomassa de 0,92 (t. ha⁻¹).

A espécie *Samanea tubulosa* (Benth) Barneby & J.W. Grimes incrementou carbono no período de avaliação, absorveu da atmosfera 3,54 g C m⁻²d⁻¹ de PPB obtendo o maior valor de PPB em 2017 e 2,64 C m⁻²d⁻¹ de PPL. *S. tubulosa* (Benth) Barneby & J.W. Grimes da família Fabaceae (Leguminosae) Subfamília Mimosoideae, também conhecida como planta sete cascas, descrita como árvore decídua no inverno, monoica, pioneira, pode atingir até 28 m de altura e seu diâmetro a 100 cm. As folhas são alternas, compostas bipinadas, pecíolo e raque tomentoso com até 28 cm de comprimento com 2 a 5 pares pinas que medem até 20 cm de comprimento. Seus folíolos são em pares e bi compostos com até 10 pares em cada pina. Os folíolos fecham-se durante a noite e em dias nublados (LOPES et al., 1987). A distribuição geográfica *S. tubulosa* na área de estudo obteve 23 indivíduos em uma área totalizando 400m², já em outras regiões brasileiras a quantidade de indivíduos é inferior podemos observar no estudo de Cardoso et al (2016) identificou 4 indivíduos as margens do rio Mucuri no município de Nanuque – MG. O estudo de Carvalho et al (2007) foi possível encontrar apenas duas espécies em 4 bairros da cidade de Salvador – BA.

Figura 11 - *Sapium argutum* (Müll. Arg.) Huber da família Euphorbiaceae; Nome Popular: Burra Leiteira



Legenda: 1. *Sapium argutum*, A, Ramo floral, B, estames C, vista externa dos frutos D, ovários, E, ramo de folhas. 2. Vista da folha e flor no ápice do ramo. 3. Vista frontal de espécime adulto.

Fonte: http://plantillustrations.org/species.php?id_species=905592

Figura 12 - *Samanea tubulosa* (Benth) Barneby & J.W. Grimes ; Família: Fagácea; Nome Popular: Sete Casca



Legenda 1. *Samanea tubulosa*. **A**, ápice de uma inflorescência. **B**, folhas com capítulos lameliformes axilares pareados. **C**, fruto. **D**, vista interna do fruto e sementes. **E**, vista parcial do epicarpo. **F**, bráctea. **G**, flor central. **H-I**, flores laterais. 2. Visão ampla de espécime adulto. 3. Detalhe do ramo e folhas. 4. Detalhe para a inflorescência. 5. Detalhe do tronco.

Fonte: <http://www.arvores.brasil.nom.br/new/setecascas/>
<http://sites.unicentro.br/wp/manejoflorestal/11869-2/>
http://www.scielo.org/ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0011-67932011000100012

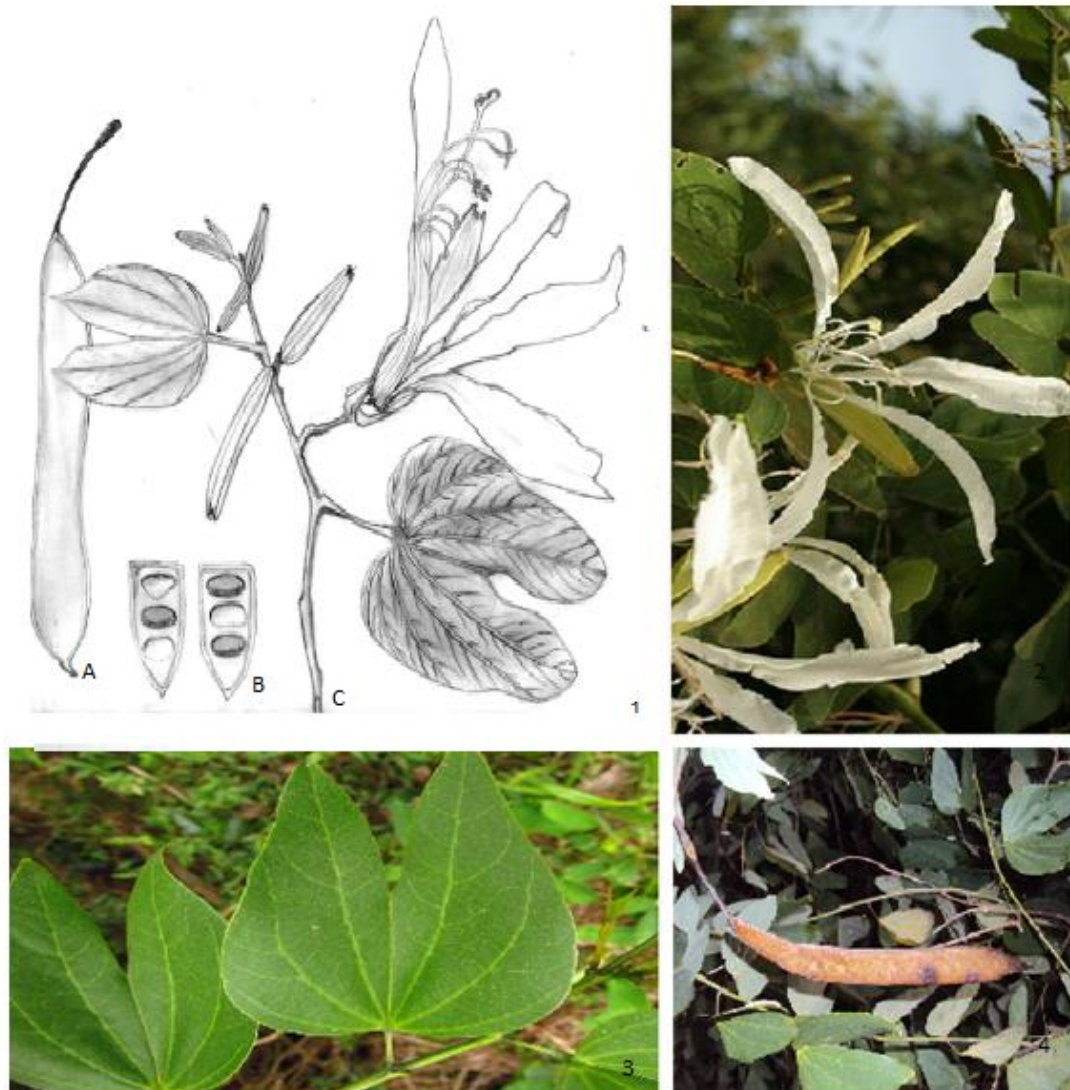
A espécie *Baunilha forficara* subas. *pruinosa* incrementou carbono no período de avaliação, absorveu da atmosfera $3,14 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ de PPB e $2,44 \text{ C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ de PPL. Na área de estudo foram encontrados 9 indivíduos da espécie. *B. forficara* subas. *pruinosa* (Vogal) Fortunato & Wanderlei da família Fagácea conhecida como pata de vaca características de árvore decídua, de porte grande ou arbórea, perene, pode atingir até 8m de altura, seu caule possui ramos frágeis, pendulares, glabros ou pubescente, com acúleos gêmeos na axila foliar, as folhas são compostas de dois folíolos soldados simulando uma folha simples, com forma de pata por isso seu nome popular, com 812 cm de comprimento por até 6 cm de largura, alternas, limbo liso e brilhante na face superior, com glândulas na base.

O estudo dirigido por Rocha et al (2017), aponta para presença da *B. forficara* e a importância dos indivíduos presentes no Parque Natural Municipal Flor do Ipê para a estimativa de biomassa vegetal. A pesquisa de Bianco (2015), teve por finalidade determinar a quantificação do sequestro de carbono em espécies dominantes da área urbana de Londrina – PR, foi possível encontrar 35 indivíduos de *B. forficara*, sendo considerado com maior abundância em espécies de meio porte (10,84%), a capacidade de incorporação do carbono foi de $267,69 \text{ Kg, arvore}^{-1}$.

A contribuição do *Jatropha mollissima* para a redução de carbono é de $2,96 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ PPB e $2,56 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ de PPL estocado. Foi possível encontrar 12 indivíduos da espécie na área de estudo. *J. mollissima* (Poli.) Bailona da família Euforbiácea conhecida como pião bravo, é uma espécie nativa do nordeste Brasileiro, sendo adaptada a uma demanda de alta evaporatividade e baixo potencial hídrico (ARRUDA et al., 2004). Apresenta caule aéreo, ereto do tipo tronco, de formato cilíndrico e consistência sublenhosa. Por atingirem tamanhos inferiores a cinco metros, são classificadas como arbusto com ramificações, surgindo geralmente entre 50 cm a 1 m acima do solo, lembrando a estrutura de uma arvoreta, com folhas alternas, completas e possui limbo com venação palminérvia (VASCONCELOS et al., 2014).

A espécie *J. mollissima* tem uma ampla distribuição geográfica como pode ser visto nos estudos de Souza et al (2015) encontrou no município do Cariri – PB 46 indivíduos de *J. molíissima* em uma área de 50m x 2m. Moreira et al (2006), encontraram na estação experimental de Serra Talhada uma dominância da espécie, sendo possível a contribuição da absorção do carbono para a área de estudo.

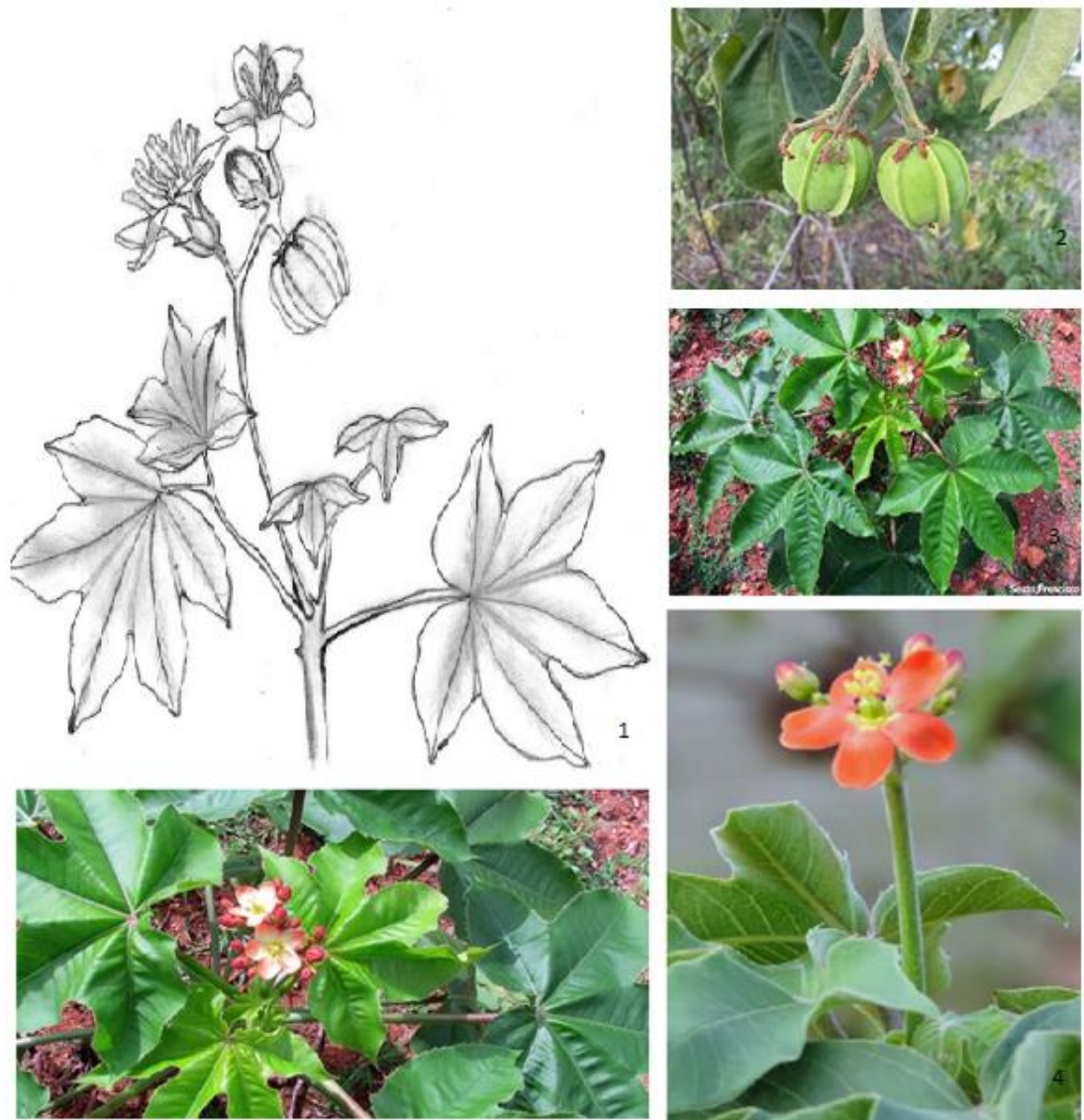
Figura 13 - *Baunilha forficata* subsp. *pruinosa* (Vogel) Fortunato & Wanderlei da família Fabáceae. Nome popular: Pata de Vaca



Legenda 1 - *Baunilha forficata*. **A,** fruto fechado. **B,** fruto aberto, vista interna do fruto e sementes. **C.** Parte do ramo com flores laterais e folhas. **2.** Visão ampla de espécime adulto. **3.** Detalhe do ramo com folhas. **4.** Fruto seco.

Fonte: http://www.plantillustrations.org/illustration.php?id_illustration=14236&SID=0&mobile=0&code_category_taxon=0&size=1

Figura 14 - *Jatropha mollissima* (Poli.) Bailona da família Euforbiácea Nome popular: Pião



bravo

Legenda - 1- *Jatropha molíssima* (Pohl) Baill..Ramo com inflorescência e fruto. 2- Fruto verde. 3- Inflorescência. 4- Inflorescência com flor única aberta mostrando os estames.

Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062008000100013

5.5 Avaliação espacial do sequestro no município de Petrolina

Para avaliar a variação espacial do PPB e PPL foram escolhidas três dias em três meses no ano de 2016. A escolha do ano se deu em função que ele no meio da série de dados. A escolha dos meses se deu tentando representar a variação climática, sendo o mês de maio o fim

do período chuvoso, agosto meados do período seco (transição) e outubro fim do período seco, Figuras 16 e 17.

A PPB apresentou uma forte variação espacial em função do período chuvoso, sendo o mês de maio o que apresentou os maiores valores PPB para todo município de Petrolina, com destaque para as áreas irrigadas que chegaram a ter $0,38 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$, Figura 16.

Em geral no período chuvoso a caatinga esteve com PPB $0,12$ a $0,25 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ e no período seco de 0 a $0,12 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$. É importante destacar que a data escolhida no mês de outubro, que estamos considerando o fim do período seco, já tinha ocorrido precipitação de $26,3\text{mm}$ que interferiu na variação espacial da PPB apresentando valores de $0,12 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ a $0,25$ em grande parte da área do município. Isso sugere que os dias antecederam essa precipitação de $26,3\text{mm}$ somente o aumento da umidade e diminuição da temperatura $25,5^\circ\text{C}$ e consequentemente diminuição da evapotranspiração acarretou no aumento da PPB.

A PPL, Figura 17, esteve entre 0 a $0,25 \text{ g C}$. nota-se que mesmo no mês de maio, em geral, a PPL foi baixa para todo o município, com grande representação no intervalo de 0 a $0,12$. Praticamente, só ocorreu variação de áreas irrigadas. Para a caatinga não ocorreu a variação da PPL. Isso significa que a PPL não sofreu tanta influência da variação climática.

Quando comparando a PPB com a PPL, Figuras 16 e 17, nota-se que a PPL é bem mais concentrada em algumas áreas e pouco varia com as condições climáticas. Já a PPB apresentou várias variações climáticas exemplo mês de maio e outubro, Figura 15.

Figura 15: Precipitação dos meses de maio a novembro da área de Caatinga

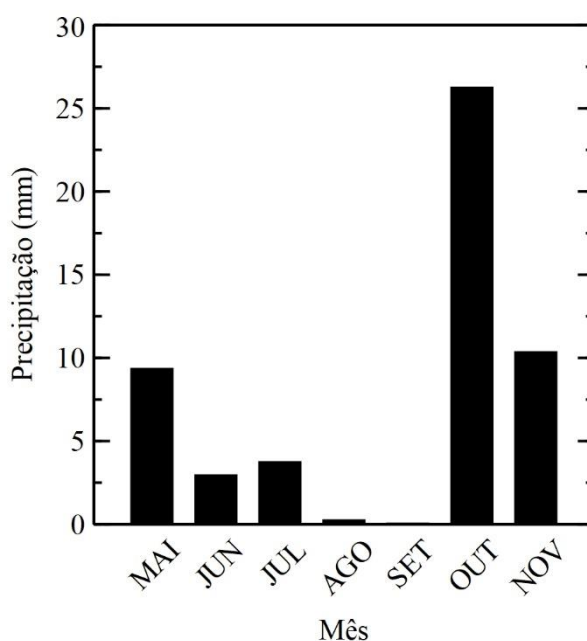
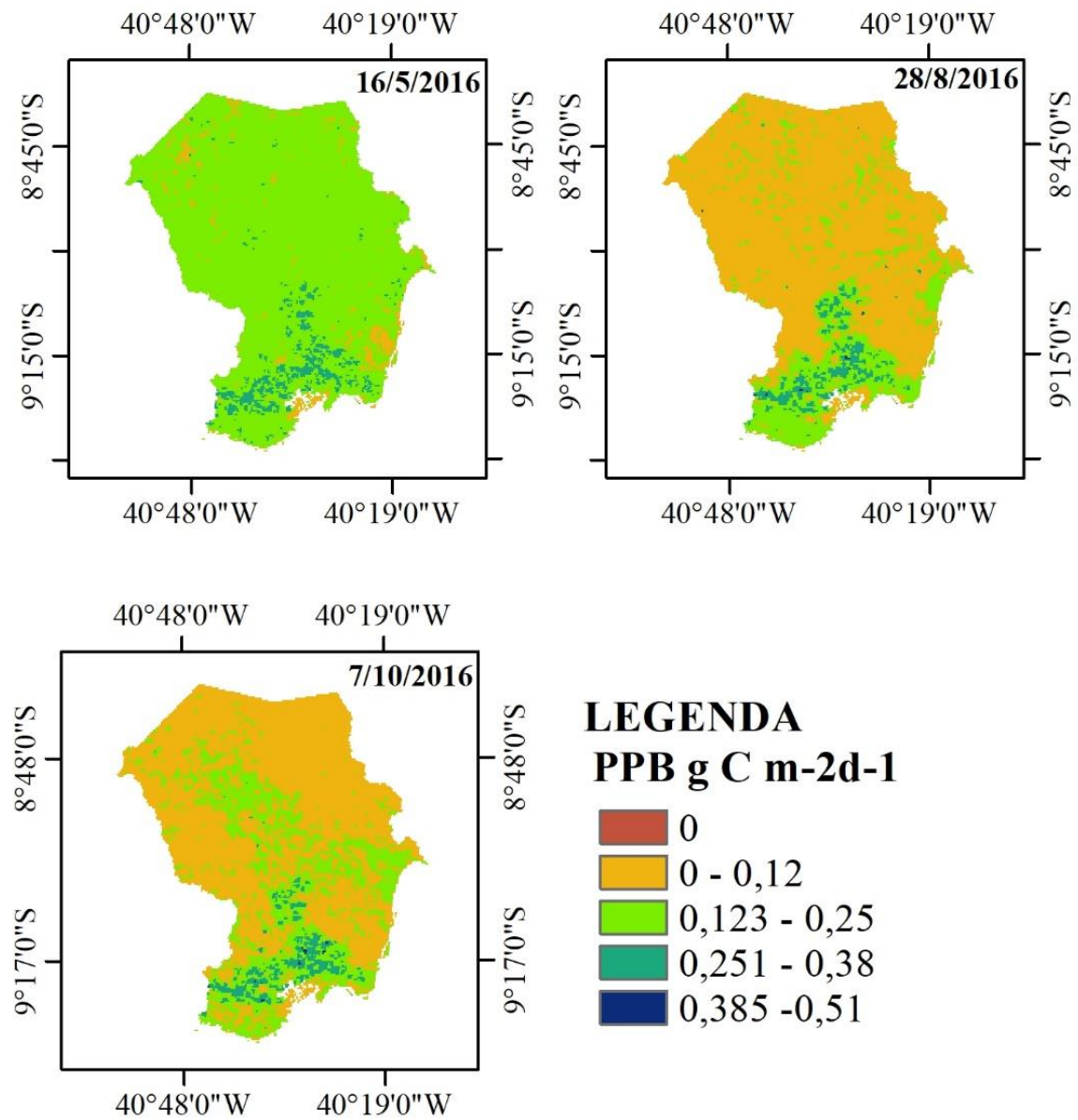
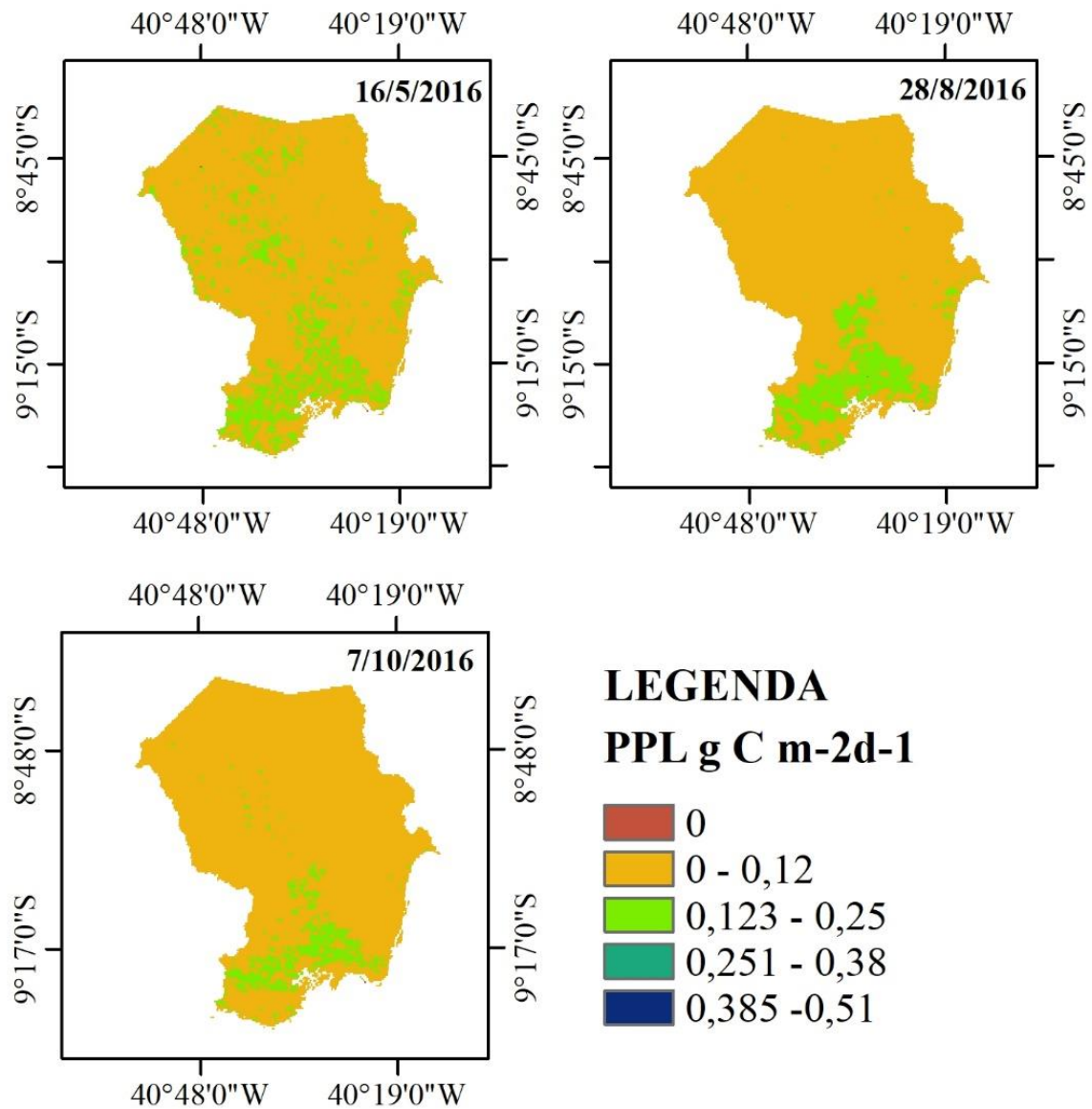


Figura 16 - Avaliação espacial da Produtividade Primária Bruta no município de Petrolina



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 17 - Avaliação espacial da Produtividade Primária Líquida no município de Petrolina.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base nos resultados da espectrorradiometria e do sensor MODIS é possível afirmar que a Produção Primária Bruta-PPB do MODIS subestima a PPB observada na caatinga. Quanto a Produção Primária Líquida-PPL não é possível afirmar o quanto preciso é o MODIS uma vez que a equação utilizada neste estudo para estimar PPL observada em campo não foi calibrada para a área e por este motivo pode apresentar erros.

É possível criar modelos mais precisos de PPB e PPL utilizando dados de espectrorradiometria através das análises das assinaturas espectrais permitiram quantificar o sequestro de carbono nos dosséis e nas espécies predominantes.

Com espectrorradiômetro foi possível observar respostas pontuais de fluxo de carbono, ou seja, foi possível verificar o comportamento da absorção do PPB e PPL por espécies.

A PPB média diária para a caatinga $17,5 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

A espectrorradiometria usada para as quatro espécies apresentou valores similares entre a concentração de carbono. A espécie que apresentou maior resposta espectral foi a dentre as quatro, foi a espécie que mais estocou carbono nos valores do PPL no ano de 2017, com $3,47 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ do PPB e $2,84 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Para PPL a espécie *Samanea tubulosa* (Benth) Barneby & J.W. Grimes absorveu da atmosfera $3,54 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de PPB obtendo o maior valor de PPB em 2017 e $2,64 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de PPL.

A PPB e PPL, apresentaram bastante diferentes em relação aos impactos das variações climáticas. Sendo que a PPL pouco varia com as condições climáticas e a PPB apresentou impactos devido as variações climáticas exemplo mês de maio e outubro.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, J.B.; et. al. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: Application to land-cover change in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v.52, n.2, p.137-154, 1995. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425794000988>> Acesso em: 07 nov. 2017.
- ALBUQUERQUE, E. R.G.M. et al. Root biomass under stem bases and at different distances from trees. **Journal Of Arid Environments**, v. 116, n. 7, p.82-88, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196315000336>>. Acesso em: 12 nov. 2017.
- ALTHOFF, T. D., et al. Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 254, n. 5, p.26-34, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880917305133>>. Acesso em: 26 Nov. 2017.
- ALTHOFF, T. D., et al. Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology And Management**, v. 360, n. 6, p.367-375, 2016. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0378112715005459/1-s2.0-S0378112715005459-main.pdf?_tid=ed790876-d30d-11e7-ad1d> Acesso em: 10 nov. 2017.
- ALVARENGA, S.B.; D'ARCO, E.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A.R. O ensino de conceitos e práticas de espectroradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 11., Belo Horizonte. Anais. São Jose dos Campos: INPE, p.739 - 747. 2003. Disponível em:<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/10.28.11.28/doc/07_024.pdf> Acesso em: 15 nov. 2017.
- ANDERSON, L O, et al. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. **Acta amazônica**. v. 35, nº4, p. 445-456, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672005000400009> Acesso em: 08 nov. 2017.
- ANDRADE, L. A. et al. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de Caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. **Cerne**, v.11, n.3, p.253-262, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000078&pid=S0100-6762201200050000700004&lng=en> Acesso em: 02out. 2017
- BARBOSA, D. M. et. al. Florística e fitossociologia de espécies arbóreas e arbustivas em uma área de Caatinga em Arcoverde, PE, Brasil. **Revista Árvore**, vol.36 no.5 Viçosa. 2012. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000500007>>. Acesso em: 02out. 2017

BIANCO, R.. **Estimativa da incorporação de carbono em biomassa arbórea em três trechos da arborização urbana de londrina-pr.** 2015. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015. Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5352/1/LD_COEAM_2015_2_12.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2017.

BISPO, P.C; VALERIANO, M.M; KUPLICH. Relação da vegetação de Caatinga com a condição geomorfométrica local. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental.** n.5, v.14, 2010. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000500010> Acesso em: 07 nov. 2017.

BRASIL; Ministério das Minas e Energia; Projeto RADAMBRASIL. Folha SC. 24/25 Aracaju/Recife: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: O Projeto, 1983. 852 p.

BRASIL; **Serviço Geológico do. CPRM.** Disponível em <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso 22 de outubro de 2010.

BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), Florianópolis. In. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2413-2419. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. 2007. <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.29/doc/2413-2419.pdf>>. Acesso em: 07.2017

CARDOSO, D. S.; et al. LEVANTAMENTO FLORÍSTICO DA VEGETAÇÃO CILIAR DO RIO MUCURI NO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE NANUQUE/MG. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 23, p.621-629, jun. 2016. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/304368175_LEVANTAMENTO_FLORISTICO_DA_VEGETACAO_CILIAR_DO_RIO_MUCURI_NO_PERIMETRO_URBANO_DO_MUNICIPIO_DE_NANUQUEMG> Acesso em: 17 nov. 2017.

CARVALHO, A. P. F, et al. Metodologia para análise de mistura espectral em imagens TM - Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Fox do Iguaçu. Anais, **INPE**, 2001, p. 1531-1538. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Renato_Guimaraes6/publication/43785204_Metodologia_para_analise_de_mistura_espectral_em_imagens_TM-Landsat/links/0046351eacb8416dd9000000/Metodologia-para-analise-de-mistura-espectral-em-imagens-TM-Landsat.pdf?origin=publication_list> Acesso em: 12 nov. 2017.

CARVALHO, G. M. de et al. LEVANTAMENTO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, SALVADOR, BAHIA. **Sitientibus**, Salvador, v. 4, n. 7, p.377-387, jan. 2007. Disponível em: <http://www.alcb.ibio.ufba.br/pdf/nadia/Carvalho,Roque&Guedes_2007.pdf> Acesso em: 05 nov. 2017.

CERQUEIRA, D.B.; ROCHA, W.F. Relação entre tipos de vegetação e fluxo de CO2 no Bioma Caatinga: Estudo de caso em Rio das Contas - BA. In: SIMPÓSIO. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.29/doc/2413-2419.pdf>> Acesso em: 20 nov. 2017.

CHANG, M. Y. **Caracterização e tipologia dos projetos de sequestro de carbono no Brasil. As Florestas e o carbono.** In: SANQUETTA, R. C.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F.S. As florestas e o carbono. Curitiba. Imprensa Universitária da UFPR. 2002a. p. 59-88

CODEVASF. Brasil. **Ministério da Integração Nacional-Estudo de Impacto Ambiental. Projeto Pontal Norte.** Projetc. v. 1, estudos preliminares. 2007.

FISHER, R. A. **Statistical methods for research workers**, 12th edition. New York, Hafner, 1954.

FREITAS, R. M. et al. Modelo linear de mistura espectral em imagem de moderada resolução. **Bulletin of Geodetic Sciences**, Curitiba, v. 1, n. 8, p.55-71, 2008. Disponível em:<<http://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/11249/0>> Acesso em: 12 nov. 2017.

GALLON, M. M. P.; SANCHES, L.; PAULO, S. R. Fluxo e perfil de dióxido de carbono no dossel de uma floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Meteorologia** (Impresso), v. 21, p. 79-88, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000094&pid=S0102-7786201300010000600013&lng=pt> Acesso em: 18 nov. 2017.

GALVÍNIO, J. D.; et al. Relationship between Vegetation Indices and Canopy Chlorophyll in GPP Estimation. **ASABE Annual International Meeting**, Dallas. (Under proof) ,2012. Disponível em: <<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=41984&t=2&redir=&redirType=>> Acesso em: 20 nov. 2017.

GELYBÓ, G. et al. Effect of spatial heterogeneity on the validation of remote sensing based GPP estimations. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s.l.], v. 174-175, n. 6, p.43-53, jun. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.02.003>>. Acesso em: 05 nov. 2017.

GOMES, V. P.et al. Sensoriamento remoto hyperspectral aplicado para análise dos indicadores de resiliência e suscetibilidade do bioma caatinga frente às mudanças climáticas: Revista Brasileira de Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 4, p.1122-1136, out. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233898>> Acesso em: 02 nov. 2017.

GRILO, D. C. et al. Mapeamento do fluxo de CO2 em ambientes de Caatinga e de sistemas agropecuário por meio de imagens orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2011, Curitiba. **Anais**. Curitiba: Inpe, 2011. v. 1, p. 1682 - 1689. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/889072/mapeamento-do-fluxo-de-co2-em-ambientes-de-caatinga-e-de-sistemas-agropecuaria-por-meio-de-imagens-orbitais>> Acesso em: 10 nov. 2017.

HILKER, T. et al. Remote sensing of photosynthetic light-use efficiency across two forested biomes: Spatial scaling. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 12, p.2863-2874, 2010. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.004>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

HIGUCHI, N et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de Terra-Firme da Amazônia Brasileira. **Acta amazônica**, v.23, n.2. p. 153-166, 1998. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v28n2/1809-4392-aa-28-2-0153.pdf>> Acesso em: 05 nov. 2017.

IBGE. Censo Demográfico Características Gerais da População. Resultados da Amostra. 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>. Acesso em: 02 de nov de 2017. >

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92p.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática. **IV Relatório do IPCC/ONU**. Compreensão Das Alterações Climáticas :22 Anos De Avaliação Do IPCC Genebra: IPCC/ONU, 2010. Disponível em: <http://ipcc.ch/pdf/press/ipcc_leaflets_2010/ipccbrochure_understanding.pdf>. Acesso: 03/11/2017

JIANG, Y.et al. A GPP assimilation model for the southeastern Tibetan Plateau based on CO₂ eddy covariance flux tower and remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation And Geoinformation**, v. 23, n. 8, p.213-225, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2012.08.015>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243412001808>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

JIANG, L. al. Vegetation dynamics and responses to climate change and human activities in Central Asia. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 599-600, n. 2, p.967-980, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.012>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717311087>>. Acesso em: 5 jan. 2018.

JÚNIOR, O. A. C, et al. Mistura espectral: (I) Detecção dos membros finais utilizando a geometria do *simplex*. **Espaço & geografia**. v. 6, nº1, p. 151-176, 2003. Disponível em: <http://www.repositorio.unb.br/bitstream/10482/11078/1/ARTIGO_MisturaEspectralDeteccao.pdf> Acesso em: 11 nov. 2017.

LAWLEY, V. et al. Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition: An Australian review. **Ecological Indicators**, v. 60, p.1273-1283, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.021>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15001454>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

LIMA JÚNIOR, C. de et al. Estimativa de biomassa lenhosa da Caatinga com o uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p.289-298, 2014. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1003958/1/ScientiaForestalis.pdf>> Acesso em:25 nov. 2017.

LOPES, M.A.; et al. Avaliação de populações de milho e seus cruzamentos para tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.3, p.257-263, 1987. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/14320/8212>> Acesso em:08 nov. 2017.

MA, Xuanlong et al. Parameterization of an ecosystem light-use-efficiency model for predicting savanna GPP using MODIS EVI. **Remote Sensing of Environment**, v. 154, n. 5, p.253-271, 2014. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.08.025>>. Acesso em: 10.nov.2017.

MARTÍNEZ, B. et al. Retrieval of daily gross primary production over Europe and Africa from an ensemble of SEVIRI/MSG products. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s.l.], v. 65, p.124-136, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2017.10.011>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243417302301>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

MARTINS, L.M.; BAPTISTA, G.M. Análise Multitemporal do Sequestro Florestal de Carbono no Projeto de Assentamento Carão, Acre. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V.06, N. 06, p.1648-1657. 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232913>> Acesso em:15 nov. 2017.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

SOUZA, Bartolomeu Israel de et al. CAATINGA E DESERTIFICAÇÃO. **Mercador**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p.131-150, jan. 2015. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/mercator/v14n1/1984-2201-mercator-14-01-0131.pdf> > Acesso em:08 nov. 2017.

MILTON, E. J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.8, p. 1807-1827, 1987. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/docentes/carto/enner/PPGCC/Hiperespectral/Lab%200%20-%20Lab%20and%20Field/MILTON-Principles_field_spectroscopy_1987.pdf> Acesso em: 15 nov. 2017.

MIYOSHI, GABRIELA TAKAHASHI. **Caracterização espectral de espécies de Mata Atlântica de Interior em nível foliar e de copa Presidente Prudente**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas [s.n], 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/136410/miyoshi_gt_me_prud.pdf?sequence=3> Acesso em: 08 nov. 2017.

MORAIS, Y. C. B. et al. Análise do Sequestro de Carbono em Áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p.585-599, dez. 2017. UNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786324007>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

MORALES, C. Pobreza, desertificación y degradación de tierras. In. MORALES, C.; (Edt.). Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. Santiago: CEPAL, 2014. P.25-57. Disponível em: <<http://repositorio.cepal.org/handle/11362/2449> > Acesso em: 02 nov. 2017.

MOURA, P. M. et al. Carbon and nutrient fluxes through litterfall at four succession stages of Caatinga dry forest in Northeastern Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 105, n. 1, p.25-38, 5 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-016-9771-4>.

Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-016-9771-4>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

MOURA, Y. M. et al. Spectral analysis of amazon canopy phenology during the dry season using a tower hyperspectral camera and modis observations. **Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, [s.l.], v. 131, n. 3, p.52-64, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.006>. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0924271617302733/1-s2.0-S0924271617302733-main.pdf?_tid=f8f0f172-0c20-11e8-acba-00000aacb362&acdnat=1518019819_d5950e2a0b8bda534852a21a6b85b51d>. Acesso em: 05 fev. 2018.

MOREIRA, J. N. et al. Caracterização da vegetação de Caatinga e da dieta de novilhos no Sertão de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p.1643-1651, 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2006001100011>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006001100011> Acesso em: 07 nov. 2017.

OLIVEIRA, G. de. **Fluxos de radiação, água e carbono em ecossistemas terrestres na amazônia oriental com base em dados modis**. 2016. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Inpe, São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/07.15.14.59/doc/publicacao.pdf>> Acesso em: 08 nov. 2017.

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, 378-386, 2006. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/159429/trocas-de-energia-e-fluxo-de-carbono-entre-a-vegetacao-de-caatinga-e-atmosfera-no-nordeste-brasileiro>>

PINHEIRO, E.A.R.; COSTA, C.A.G.; DE ARAÚJO, J.C. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, v. 89, p. 1-4, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196312002613>> Acesso em: 05 nov. 2017.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**, 2012

R., Colombo et al. Modelling carbon cycle of agro-forest ecosystems in Lombardy (Italy). **Forest@, Italia**, v. 1, n. 6, p.277-288, 2009. Disponível: <<http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor0593-006>> Acesso em: 08 nov. 2017.

RAHMAN, A.F.; et al. Modeling CO2 flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In: AVIRIS Workshop. **Proceedings**. JPL/NASA, Pasadena, Califórnia, 2000. Disponível em: <https://aviris.jpl.nasa.gov/proceedings/workshops/00_docs/Rahman_web.pdf> Acesso em: 08 nov. 2017.

REZENDE, L. F. C. et al. Calibration of the maximum carboxylation velocity (Vcmax) using data mining techniques and ecophysiological data from the Brazilian semiarid region, for use in Dynamic Global Vegetation Models. **Brazilian Journal of Biology**, v. 76, n. 2, p.341-351,

2016. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.14414>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

ROCHA, W. de O. et al. Estimativa de biomassa vegetal e sequestro de carbono no Parque Natural Municipal Flor do Ipê, Várzea Grande, MT. **Multi Temas**, Campo Grande, v. 51, n. 22, p.179-195, 2017. Disponível em: <<http://www.multitemas.ucdb.br/article/viewFile/1284/1371>>. Acesso em: 07 dez. 2017.

RODRÍGUEZ, C. R. M. **Estimativa do potencial sequestro de carbono em áreas de preservação permanente de cursos d'água e topos de morros mediante reflorestamento com espécies nativas no município de São Luiz do Paraitinga**– São José dos Campos: INPE, 2015. Disponível em:< <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/07.20.21.31/doc/publicacao.pdf?metadatarpository=&mirror=iconet.com.br/banon/2006/11.26.21.31> > Acesso em: 05 nov. 2017.

ROSA, R.; SANO, E.E. Determinação da produtividade primaria liquida (NPP) de pastagens na bacia do Rio Paranaíba, usando imagens Modis. **GeoFocus**, n. 13-1, p. 367-395, 2013. Disponível em: <<http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/274/307>> Acesso em: 15 nov. 2017.

ROVANI, F.F.M; DAMBROS, G; CASSOL, P. Analise de técnicas de processamento digital de imagens para mapeamento de uso e ocupação da terra. Santa Maria. Anais, p.5623, 2012. Disponível em: <<http://www.unifra.br/eventos/sepe2012/Trabalhos/5623.pdf>> Acesso em: 12 nov. 2017.

SAMPAIO, E.D.S.B; FREIRE, A.D.S. Produção de biomassa na vegetação nativa do semiárido nordestino. In: MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.D.S.B.; SALCEDO, I.H. (Ed) **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semiárido**. Recife: UFPE, 2008. P.11-25. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/232783/26783> > Acesso em: 08 nov. 2017.

SÁNCHEZ, A.s. et al. Alternative biodiesel feedstock systems in the Semi-arid region of Brazil: Implications for ecosystem services. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 81, n. 7, p.2744-2758, Jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.080>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117310274>>. Acesso em: 26 nov. 2017.

SILVA, F. H. B. B.; SILVA, M. S. L.; CAVALCANTI, A. C.; CUNHA, T. J. F. 2010. Principais solos do semiárido do nordeste do Brasil. Biblioteca digital da Embrapa, Recife. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/34392/1/OPB1114.pdf>. Acesso em: 04, abril, 2017. >

SILVA, F. B. **MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA NA AMAZÔNIA** **Doutorado**. 2013. 115 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Sensoriamento Remoto, Inpe, São José dos Campos, 2013. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/06.20.13.35/doc/publicacao_corrigida.pdf>. Acesso em: 15 Nov. 2017

SILVA, P. F. et al. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 147, n. 8, p.71-82, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.003>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196317301672>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

SILVA, L. Modelo quantificação de sequestro de carbono em sistemas agroflorestais. University of Saskatchewan, Canadá, 2002.

SILVEIRA, P; KDEHLER, H.S; SANQUETA, C. R; ARCE, J.E O ESTADO DA ARTE NA ESTIMATIVA DE BIOMASSA E CARBONO EM FORMAÇÕES FLORESTAIS. **Floresta**, Curitiba, v.38, n1, 2008. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/11038>> Acesso em: 15 nov. 2017.

SMITH, G. M.; MILTON, E. J. The use of the empirical line method to calibrate remotely sensed data to reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, p. 2653–2662, 1999. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/11038/7509>> Acesso em: 05 nov. 2017. Acesso em: 20 nov. 2017.

SOUZA, L.S.B. de et al. Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 1, p.041-055, 2015. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/1081/684>>. Acesso em: 05 nov. 2017.

SOUZA, M. C. et al. Estimation of gross primary production of the amazon-cerrado transitional forest by remote sensing techniques. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.1, 1 - 12, 2014. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v29n1/a01v29n1.pdf>

TERRA, F. S. Estudo da contribuição do comportamento espectral de diferentes substratos do bioma pampa na componente espectral dos modelos agrometeorológicos-espectrais. Porto Alegre, Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto. 2007. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/11134>> Acesso em: 02 nov. 2017.

VALERIO, A.M; KAMPEL, M; STECH, J.L. Correlação de dados de refletância de sensoriamento remoto estimados com dados do sensor MODIS e medidas in situ in: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2011, Curitiba. **Anais**. Curitiba: Inpe, 2011. v. 1, p. 5.100-5.107. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/11134>> Acesso em: 05 nov. 2017.

VASCONCELOS G. C. L.; FERNANDES F. S.; AMADOR A. M.; AMADOR K. A. M.; ARRIEL N. H. C. Morphological characterization of *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. **Revista Verde** (Pombal - PB - Brasil), v 9., n. 3, p. 263 - 268, 2014. Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143365672>> Acesso em: 20 nov. 2017.

VIEIRA, G.; SANQUETTA, C.R.; KLÜPPEL, C.; BARBEIRO, L.C.N. Teores de carbono em espécies vegetais da Caatinga e do cerrado. **Revista Acadêmica Ciência Agrária e Ambiental**, v.7, n. 2, p. 145-155. 2009. Disponível em: <<https://periodicos.pucpr.br/index.php/cienciaanimal/article/view/9846>> Acesso em: 15 nov. 2017.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANGUETTA, C.R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 169-181, 2009. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/408>> Acesso em: 08 nov. 2017.

WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Teores de carbono em espécies da floresta ombrófila mista. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba: AM Impressos, 2004. Disponível em: <[https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=251011&biblioteca=vazio&busca=autoria:"BALBINOT,%20R."&qFacets=autoria:"BALBINOT,%20R."&sort=&pagina=0=t&paginaAtual](https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=251011&biblioteca=vazio&busca=autoria:)> Acesso em: 05 nov. 2017.

Zhang, Q.; Wong, C.; Wong, X.; Qu, X. Carbon concentration variability of Chinese tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p.722-7. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811270900351X>> Acesso em: 08 nov. 2017.

ZHAO, L; DAI, A; DONG, B. Changes in global vegetation activity and its driving factors during 1982–2013. **Agricultural And Forest Meteorology**, [s.l.], v. 249, n. 2, p.198-209, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.013>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192317303866>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

ENDEREÇO DE INTERNET

Algoritmo de estimativa da produção primária. Disponível em: <<http://www.ntsg.umn.edu/sites/ntsg.umn.edu/files/modis/MOD17UsersGuide.pdf>>. Acesso em: 10 de nov. 2017.

Classificação de Köppen, tipo BShw¹, . Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/especies_arboreas_brasileiras/arvore/CONT000fud0kxn802wyiv807nyi6swtriw7o.html>

Sequestro de Carbono na Caatinga. (IRPAA, 2010). Disponível em: <<http://www.irpaa.org/publicacoes/artigos/sequestro-de-carbono-na-Caatinga-2010.pdf>>
