



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Influência topoedafoclimática na produção primária bruta no semiárido

Aldenice Correia Lacerda<sup>1</sup>; Josiclêda Domiciano Galvincto<sup>2</sup>; Ygor Cristiano Brito Morais<sup>3</sup>; Rejane Magalhaes de Mendonça Pimentel<sup>4</sup>; Magna Soelma Beserra de Moura<sup>5</sup>

1- Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente -Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: [aldenicecs@gmail.com](mailto:aldenicecs@gmail.com) 2- Professora da Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: [josicleda.galvincto@ufpe.br](mailto:josicleda.galvincto@ufpe.br) (Autor correspondente). 3- Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente -Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: [ygor.cmorais@gmail.com](mailto:ygor.cmorais@gmail.com). 4-Professora da Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-Universidade Federal Rural de Pernambuco. E-mail: [rejanempimentel@gmail.com](mailto:rejanempimentel@gmail.com) 5- Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Semiárido/Professora da Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. E-mail: [magna.moura@embrapa.br](mailto:magna.moura@embrapa.br)

Artigo recebido em 27/05/2020 e aceito em 30/11/2020

### RESUMO

O relevo influencia a precipitação, a produção de biomassa e a produção primária bruta (*Gross Primary Production-GPP*). Em ecossistemas secos qualquer variação GPP tem importância científica uma vez que são ecossistemas bastante vulneráveis devido a alta variabilidade espacial e temporal do clima. Além disso, avaliar a relação entre o relevo e GPP em ecossistemas secos se torna mais fácil por existir um período bem definido com zero de precipitação. O estudo objetivou avaliar a influência do relevo, da altitude, da precipitação e do solo na *Gross Primary Production-GPP* no Bioma Caatinga. Foram utilizados os produtos MOD17 (GPP), sensor MODIS do satélite Terra e dados de precipitação para os anos de 2015 e 2016, com a aplicação de estatísticas descritivas e multivariadas para identificar correlações e similaridades entre áreas e amostras. Ocorreu grande variação espacial e temporal da GPP em áreas de Caatinga, devido ao relevo, clima e solo. A quantificação da GPP nas áreas de maiores altitudes apresentou médias de 46,87 e 55,84 gC m<sup>-2</sup> e menores valores de GPP, de 2,49 e 3,75 gC m<sup>-2</sup>, em 2015 e 2016, respectivamente. Nas áreas planas, as maiores médias foram 46,03 e 55,84 gC m<sup>-2</sup> e as menores 3,75 e 2,49 gC m<sup>-2</sup>, em 2015 e 2016, respectivamente. Ocorreu uma diferença de quase 40% para os menores valores de GPP, quando comparados aos relativos às áreas mais altas e mais baixas. Foi possível avaliar a influência do relevo na GPP devido existir um período seco bem definido e de precipitação zero. Os anos de maiores precipitação têm forte influência nos menores valores de GPP das áreas planas. Assim, no período chuvoso é mais difícil identificar a influência de outros fatores, que não sejam a precipitação, na GPP. Esses resultados são de grande importância para mitigar ou avaliar os efeitos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas secos.

Palavras-Chave: relevo, sensoriamento remoto, produção primária bruta, sensor MODIS

## Edapho-topo-climatic Influence on gross primary production in semi-arid

### ABSTRACT

Relief influences formation, biomass production and gross primary production (*Gross primary production-GPP*). In dry ecosystems any GPP variation is of scientific importance since they are very vulnerable ecosystems due to the high spatial and temporal variability of the climate. In addition, assessing the relationship between relief and GPP in dry ecosystems makes it easier to have a well-defined period with zero special. The study aimed to evaluate the influence of relief, altitude, exclusion and soil in the Primary Gross Production-GPP in the Caatinga Biome. The products MOD17 (GPP), MODIS sensor from the Terra satellite and capacity data for the years 2015 and 2016 were used, with the application of descriptive and multivariate statistics to identify correlations and similarities between areas and accounts. There was a great spatial

and temporal variation of the GPP in Caatinga areas, due to the relief, climate and soil. Quantification of GPP in areas of higher altitudes showed averages of 46.87 and 55.84 gC m<sup>-2</sup> and lower values of GPP, of 2.49 and 3.75 gC m<sup>-2</sup>, in 2015 and 2016, respectively. In the flat areas, the highest averages were 46.03 and 55.84 gC m<sup>-2</sup> and the lowest 3.75 and 2.49 gC m<sup>-2</sup>, in 2015 and 2016, respectively. There was a difference of almost 40% for the lowest values of the GPP, when compared to those related to the highest and lowest areas. It was possible to evaluate the influence of the relief on the GPP because there is a well-defined dry period with zero capacity. The years of greater capacity have a strong influence on the lower values of GPP in flat areas. Thus, in the rainy season, it is more difficult to identify the influence of factors other than exclusion on GPP. These results are of great importance to mitigate or assess the effects of climate change on dry ecosystems.

Keywords: relief, remote sensing, gross primary production, MODIS sensor

## Introdução

As mudanças no sistema climático terrestre ocorrem por meio de processos naturais desde as eras geológicas (Spielhagen, 2012). Os níveis de dióxido de carbono aumentaram 61 partes por milhão (ppm) em 35 anos e, segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas (IPCC, 2013), a influência humana sobre o sistema climático é clara e evidente, considerando as concentrações crescentes de força radiativa positiva na atmosfera que, em longo prazo, têm elevado a temperatura média da Terra (Huang et al., 2016; Chen et al., 2017).

A geração desses Gases de Efeito Estufa (GEE) tem aumentado a níveis sem precedentes, em torno de 40% desde a era pré-industrial, que tem sido associada às emissões derivadas de combustíveis fósseis, queimadas, desmatamento e uso inadequado do solo. Visando à mitigação desses efeitos negativos foram fomentadas medidas por meio de acordos de crédito de carbono, o que levou à criação do Protocolo de Kioto, em 1997. Visando estabelecer metas para a redução das emissões dos gases de efeito estufa, por parte dos países industrializados (Chang et al., 2004), foram acionados Mecanismos de Flexibilização, surgindo o conceito de sequestro de carbono com a finalidade de conter e reverter o acúmulo de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Dentre os efeitos mais críticos dos GEE no clima global são aqueles incidentes sobre a GPP, que informa sobre a produtividade de um ecossistema, correspondendo ao total da biomassa produzida pela vegetação, sob condições ambientais variadas (Morais et al., 2017). Considerando um ambiente como a caatinga, caracterizada por uma vegetação adaptada a condições de estresse associadas às elevadas temperatura e níveis de radiação, e à restrição hídrica, os efeitos ambientais sobre a GPP (Tait & Schiel, 2013; DuBois et al., 2018) se tomam relevantes e indicam a capacidade de sobrevivência

das espécies vegetais que a compõem, dentre outros aspectos.

A divulgação do relatório do IPCC (2007) aponta que o monitoramento de parâmetros relacionados ao sequestro e à emissão de carbono pela vegetação é de grande importância para a comunidade científica e para as instituições governamentais. Segundo Wang et al. (2017), conhecer a estimativa das tendências espaciais e temporais da GPP e da produção primária líquida (*Net Primary Production* - NPP) de um país se faz essencial para tomada de decisões que envolvem uso da terra, manutenção de áreas nativas, recuperação de áreas em processo de ou em estágios avançados de degradação e, ou desertificação, etc, todos relacionados ao fluxo de carbono. De acordo com o IPCC (2017), a emissão contínua de gases de efeito estufa causará mudanças climáticas em todos os componentes do sistema climático, aumentando a probabilidade de impactos severos, e irreversíveis para as pessoas e os ecossistemas.

Estudos envolvendo a perda da cobertura vegetal e emissões de GEEs na atmosfera têm se intensificado em áreas do semiárido brasileiro, particularmente aplicando tecnologias avançadas com o uso de imagens de satélites e técnicas de sensoriamento remoto (Francisco et al., 2015; Costa et al., 2015; Anjos et al., 2016; Jesus & Santana, 2017; Cavalcante et al., 2017; Schimbeck et al., 2017, Reis et al., 2018; Galvinctio, 2019; Galvinctio & Naue, 2019), cujo conceito clássico refere-se à utilização de objetos e fenômenos da superfície terrestre, através de sensores, sem que haja um contato direto com o objeto (Antunes, 2014). Essas tecnologias são comprovadamente eficientes e bastante viáveis para investigar e monitorar as problemáticas ambientais, quer seja considerando aspectos naturais ou consequências de ações antrópicas.

Sabe-se que os diferentes ecossistemas naturais têm papel essencial no sequestro de carbono; manter suas funções ecológicas nos ambientes é fundamental para a sustentabilidade de diferentes

atividades antrópicas, especialmente envolvendo a sobrevivência humana, além da diversidade da fauna e da flora. No Brasil, estudos recentes apontam o semiárido como a região mais afetada pelas variações climáticas globais, por estar mais vulnerável aos impactos ambientais (Galvêncio & Pimentel, 2016; Souza et al., 2016; Andrade et al., 2017, Costa & Silva, 2017) como também em outras regiões semiáridas do mundo (Ooi, 2015; Maier et al., 2016). Projeções sobre o aumento da temperatura nessa área, de acordo com Ambrizzi & Araújo (2014), apontam elevação da ordem de 3,5° a 4,5°C até o final do século, com o agravamento do déficit hídrico da região e diminuição entre 40 e 50% no volume da precipitação.

O uso de dados orbitais para estimativa da GPP possibilita o monitoramento global, permitindo estudos da fixação de carbono em diferentes ecossistemas, e sua relação com aspectos relacionados ao clima, uso da Terra e topografia. No que se refere ao relevo, Xie e Li (2020) propõem uma abordagem metodológica para melhorar as estimativas da GPP com dados de satélite em terrenos montanhosos. Estes autores consideram principalmente a redução da temperatura com a altitude e os impactos do relevo nas relações de radiação solar com o ambiente. Por sua vez, Malhi et al. (2017) apresentaram, sob várias perspectivas, como e porque a GPP tende a diminuir através de um gradiente de altitude de aproximadamente 100 para 3500 m. Segundo estes autores, esses resultados podem ser bem diferentes dos observados para outras áreas como em um gradiente de úmido para seco na Amazônia, bem como há de se verificar a presença de espécies aclimatadas ao ambiente, que podem apresentar pequena dependência da variação da temperatura para a fixação de carbono. Os tipos de solos, que apresentam diversidade em textura, nutrientes, desenvolvimento e atividade de raízes, resultam em diferentes efeitos no crescimento e desenvolvimento das plantas, e por conseguinte na GPP. Estudos sobre esses aspectos foram sumarizados por Collalti e Prentice (2019).

Diante do exposto, o estudo objetivou avaliar a influência da altitude, da precipitação e do tipo de solo na GPP do bioma Caatinga, no perímetro da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre do Tatu-Bola, no estado de Pernambuco.

### Material e métodos

A área de estudo está inserida no Bioma Caatinga, na mesorregião do São Francisco, na

Unidade de Conservação Reserva de Vida Silvestre Tatu-Bola (REVIS), em Pernambuco, abrangendo os municípios de Petrolina, Lagoa Grande e Santa Maria da Boa Vista (Figura 1). Possui uma área de 110.110,25 ha, com 425.117,95 m<sup>2</sup>, a uma distância entre 615 e 722 km da capital Recife (IBGE, 2010).

A região onde se localiza a Unidade de Conservação Reserva de Vida Silvestre Tatu-Bola (REVIS) apresenta relevo variando de plano a ondulado em menor proporção, e de forte ondulado, montanhoso e escarpado na maior área da REVIS, com altitudes variando de 370 a 781 m. Os mapas de declividade e de elevação da REVIS foram elaborados para avaliação do sequestro de carbono com base nas classes do relevo encontradas no perímetro da área de estudo.

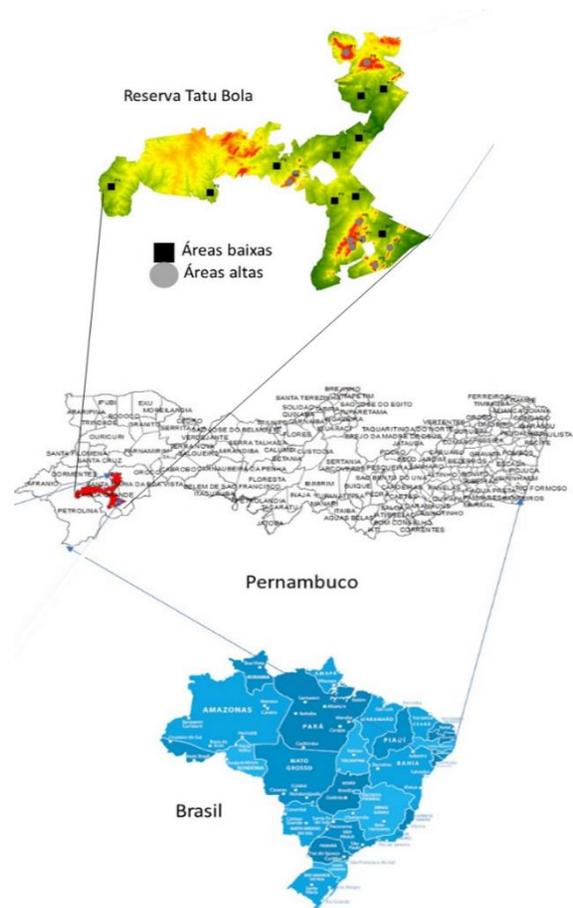


Figura 1. Localização espacial da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, em Pernambuco.

Para uma avaliação mais detalhada, foram selecionados dez pontos, com área individual de 500 x 500 m, ou seja, mesmo tamanho do pixel do produto MOD17A2H (versão 6) do MODIS Terra

que contém três camadas, correspondendo a produção primária bruta (GPP), a fotossíntese líquida (PSnet) e a qualidade do *pixel* da PSnet. Assim, a Produção Primária Bruta (em inglês, *Gross Primary Production - GPP*) foi obtida por meio do sensor MODIS, disponibilizado pelo *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, sigla em inglês). A resolução temporal do GPP compreende a soma de um período de oito dias da GPP diária, resultando em 46 imagens geradas para cada ano. Para estimar a GPP diária, foi realizada a divisão, por oito, do valor encontrado nos primeiros 45 dias; por cinco, para o período final e; como foi analisado ainda um ano bissexto, o último período deste ano foi dividido por seis, conforme Running e Zhao (2015). Os pontos de altitudes variando de 620 a 780 m foram denominados de maiores altitudes, e dez pontos em área mais plana, com altitudes entre 410 e 450 m, foram denominadas de menores altitudes. A partir dos dados especializados de GPP, foram extraídos os valores da GPP para os pontos de maiores e menores altitudes, utilizados nas análises deste estudo.

O produto MOD17 utiliza o seguinte algoritmo para estimativa da produção primária bruta, com base em dados obtidos por sensoriamento remoto:

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

Em que:

$\varepsilon$  é a eficiência da conversão da luz absorvida, ou eficiência de uso da luz;

APAR é a densidade do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa, integrado durante um período ( $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ );

fAPAR é a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida, derivada através de resoluções espectrais (Ruimy et al., 1994).

As imagens foram convertidas de 16 para 8 bits, e do formato *Hierarchical Data Format-HDF* para o formato (*Georeferenced Tag image File Format-Geo-TIFF* no *software* MODIS Reprojection Tool 4.1, desenvolvido pela *Earth Resources Observation and Science Center-EROS*. Foram obtidas 86 imagens para os anos de 2015 e 2016, obtidas a partir do tile H14V09.

A identificação dos tipos de solo nas áreas de estudo foi realizada utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013), obtidas a partir do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco-ZAPE.

Os dados pluviométricos diários foram obtidos no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), na

sessão de Índices Pluviométricos, obtidos para a GERE do município de Petrolina, em três estações pertencentes aos municípios de Petrolina, Lagoa Grande e Santa Maria da Boa Vista, referentes aos anos de 2015 e 2016, via *site* [http://www.ipa.br/indice\\_pluv.php](http://www.ipa.br/indice_pluv.php). Os dados da temperatura média mensal, foram obtidos pelo Instituto Nacional de meteorologia -INMET, da estação A307 do município de Petrolina. A série climática foi selecionada de acordo com o período da base de dados das imagens do satélite MODIS, correspondendo a 86 dias durante os dois anos (2015-2016) de acordo com a disponibilidade das imagens de satélite.

Os dados de relevo foram obtidos do *site* da Embrapa Monitoramento por Satélite, através da plataforma Brasil em Relevo. Para a classificação das feições do relevo foi utilizada a metodologia da EMBRAPA (1979), onde os valores relativos à sua classificação, em percentual de declividade, são:

- Plano: 0-3%;
- Suave Ondulado: 3-8%;
- Ondulado: 8-20%;
- Forte Ondulado: 20-45%;
- Montanhoso: 45-75%; e
- Escarpado acima de 75%.

Foram utilizados os seguintes métodos estatísticos: 1 - estatística descritiva para representação da média, desvio padrão e variância das series utilizadas; 2 - coeficientes de Correlação de Pearson para relacionar a GPP com a altitude (toda a série de dados); 3 - análise multivariada pelo método de Ward, para regionalizar as áreas que estariam bem correlacionadas à GPP com altitude, espacial e sazonalmente. O Método de Ward relaciona a distância entre dois agrupamentos obtidos por meio da soma dos desvios quadrados dos pontos aos centroides, objetivando minimizar a soma dos quadrados dentro do agrupamento. Foram analisadas a similaridades (Correlação Pearson) e dissimilaridades (Distância Euclidiana) entre as variáveis: áreas de maiores e menores altitudes, e amostras (dez em cada classe de altitude). e GPP do período com e sem precipitação. Alguns autores destacam que a aplicação de análise multivariada é indicada para medir impactos das mudanças climáticas na GPP em áreas com diferentes altitudes e tipos de vegetação (Minaya et al., 2015).

Após agrupamento dos dados com a análise multivariada, foram utilizadas as características dos solos desses grupos obtidas do ZAPE

(EMBRAPA, 2008). Uma primeira análise foi regionalizar as áreas considerando as suas altitudes. Na segunda análise de agrupamento optou-se por regionalizar as amostras. Isto foi realizado visando identificar as condições similares, considerando a variação sazonal dos dados de GPP.

### Resultados e discussão

As feições do relevo da área em estudo foram definidas a partir dos mapas de declividade e elevação do terreno na área da REVIS Tatu-Bola (Figura 2). A declividade encontrada na REVIS apresentou, em 50,9% da área, valores percentuais variando entre 0 e 3%, característicos para relevo plano. Também foi identificada uma grande área com 36,42% do total nos três municípios, onde predomina o relevo suave ondulado, com percentuais de declividade entre 3 e 8%. A classe

entre 8 e 20%, que predomina o relevo ondulado, foi perceptível em algumas porções de Petrolina, ao norte de Santa Maira da Boa Vista e ao sul de Lagoa Grande, totalizando 8,01% da área da REVIS. Os relevos caracterizados como forte ondulado, montanhoso e escarpados apresentam percentuais entre 20 e 75% e foram observados em pequenas porções nos municípios de Lagoa Grande e Santa Maria da Boa Vista, correspondendo a 4,6% da área em estudo. A partir dessas observações foi possível relacionar os resultados da quantificação do sequestro de carbono com base nas classes do relevo encontradas no perímetro em avaliação.

De acordo com dados do ZAPE, a REVIS apresenta os seguintes tipos de solo (Figura 3): Argissolo e Neossolo Litólico com 21,4% de área ocupada por cada classe, seguido por Neossolo Flúvico (19,6%), Planossolo (18,7%), Latossolo (10,3%) e Neossolo Quartzarênico (8,7%).

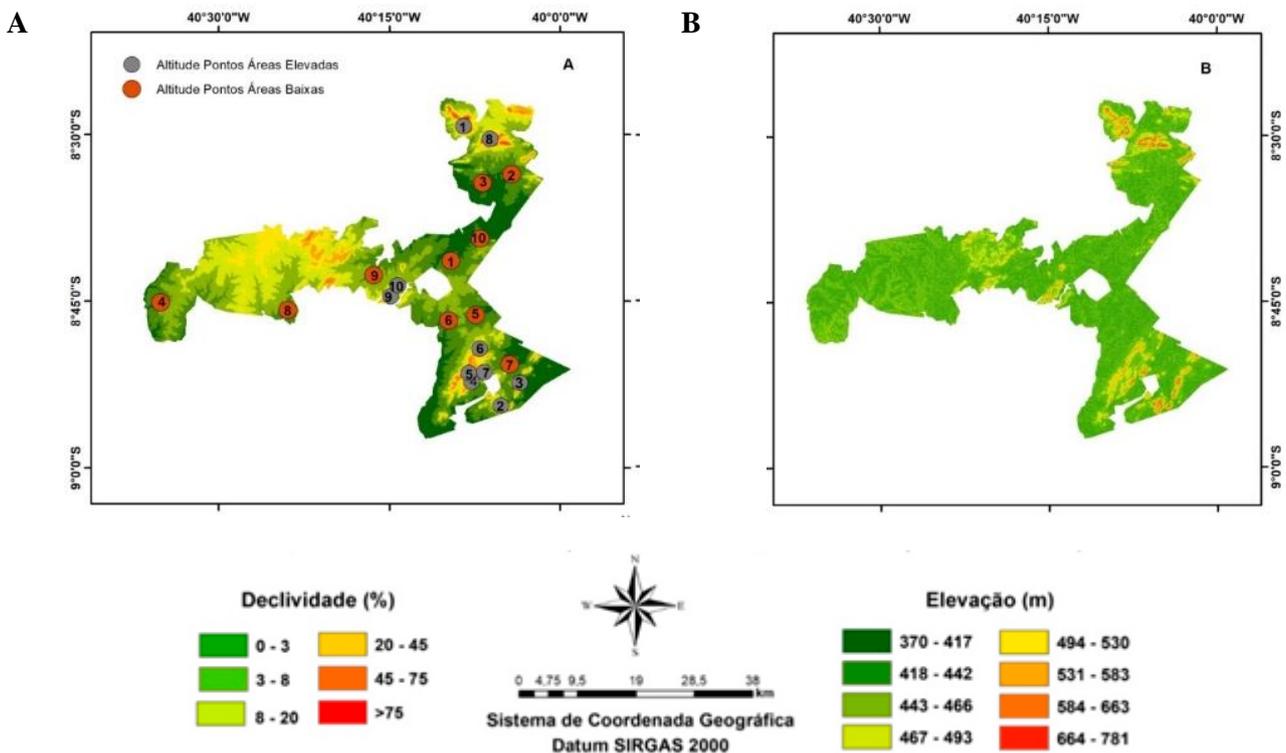


Figura 2. Representação espacial da declividade (A) e elevação (B) da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco.

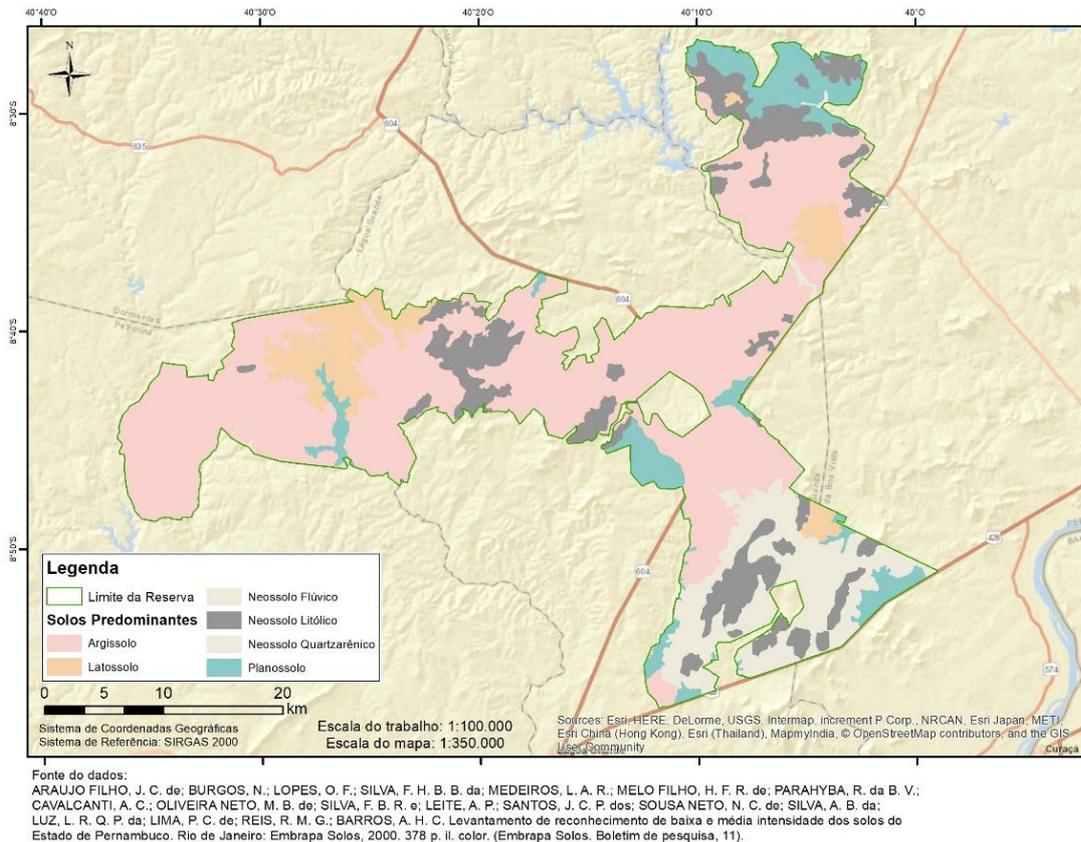


Figura 3. Solos predominantes na área da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco (Fonte: ZAPE).

O relevo tem relação direta com a temperatura da superfície, e por conseguinte, com a temperatura do ar, podendo influenciar ainda na ocorrência de chuvas orográficas. Em relação a temperatura do ar, de acordo com as normais climatológicas do Brasil para o período de 1981 a 2010 (INMET, 2018), os pontos mais elevados da REVIS apresentam os menores valores de temperatura do ar, para todos os meses do ano (Figura 4), enquanto as áreas mais baixas e planas são aquelas onde se verificam os menores valores. Observou-se ainda, que nos pontos mais elevados selecionados para o presente estudo (Figura 1), a temperatura média anual foi de  $25,0 \pm 0,15$  °C, sendo julho o mês mais frio ( $23,32 \pm 0,14$  °C) e novembro o mais quente ( $26,08 \pm 0,14$  °C), enquanto nos pontos de menor elevação observou-se temperatura média anual mais elevada ( $25,89 \pm 0,05$  °C), e os mesmos meses correspondentes as menores e maiores médias (julho -  $24,24 \pm 0,07$  °C e novembro -  $26,9 \pm 0,05$  °C). Os mapas com variação mensal da temperatura média climatológica da REVIS estão apresentados na Figura 4.

Tanto a temperatura quanto a precipitação podem impactar os processos fisiológicos no ecossistema, e assim, a assimilação de carbono pela vegetação. Particularmente, sabe-se que a precipitação tem significativa influência na GPP. Constatou-se que o ano de 2016 foi mais chuvoso (371,5 mm) do que 2015 (239,6 mm), entretanto a precipitação concentrou-se no mês de janeiro (269,1 mm), enquanto março de 2015 foi o mês mais chuvoso daquele ano com 72,4 mm (Tabela 1), o que corresponde a aproximadamente 50% da média histórica desse mês. Mas, neste estudo o destaque é para os meses sem precipitação ou com precipitação abaixo de 10 mm que em 2015 foram os meses de maio a novembro (dias julianos de 121 a 334), e em 2016 foram os meses de abril a novembro (dias julianos de 91 a 334). Os dois anos avaliados no presente estudo apresentaram total anual de chuva inferior à média da região, que corresponde a valores da ordem de 500 mm (Teixeira, 2010).

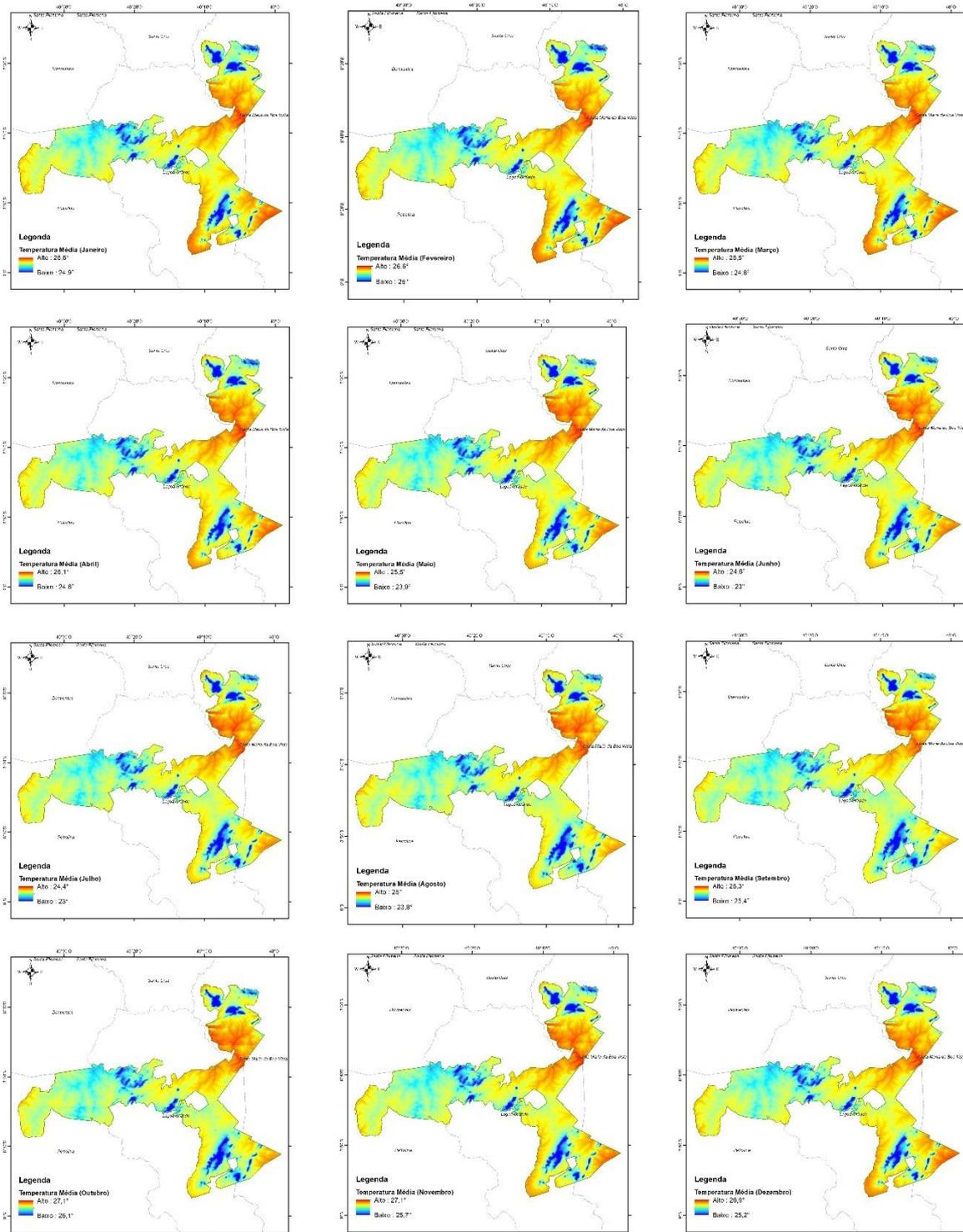


Figura 4. Temperatura média mensal na Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco (Fonte: Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010).

Tabela 1. Totais médios mensais de precipitação pluviométrica (mm) nos anos de 2015 e 2016 na área da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco.

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

A variação temporal da GPP (Figura 5) para os anos de 2015 e 2016, considerando os valores médios mensais de precipitação (Tabela 1), mostra a relação existente entre estes dois fatores. Foram analisadas as áreas com maiores e menores altitudes. Notou-se que o período chuvoso de 2016, entre janeiro e março, apresentou maiores valores de GPP quando comparado com este mesmo período para o ano de 2015 (ver sequência 1 a 130). Em particular, 2015 apresentou precipitação total acumulada de 198,3 mm para o período de janeiro a abril. Verificou-se ainda que nesse período ocorreram variações no sequestro de carbono, com maior pico observado no dia sequencial (DS) 81, com média de 46,87 gC m<sup>-2</sup>, com um desvio padrão de 4,2. Em 2016, a precipitação foi mais expressiva nos três primeiros meses do ano, de janeiro a março, com volume médio de precipitação acumulada nestes três meses de 324,1 mm, acarretando variações no sequestro de carbono, mostrando maior pico no DS 33, totalizando 55,84 gC m<sup>-2</sup> e desvio padrão de 20,79, confirmando a relação existente entre a GPP e os índices pluviométricos. Notou-se que existe rápida resposta da vegetação ao volume da precipitação, fato já verificado em várias pesquisas (Souza et al., 2017; França et al., 2013 e Pereira et al., 2012). Por outro lado, há de se observar ainda o período sem precipitação, correspondente aos dias julianos de 121 a 334 em 2015 e de 91 a 334 em 2016. Devido a fraca influência da presença da precipitação é possível destacar outros fatores que influenciaram na GPP. Mesmo sem a presença da precipitação nesse período, foi possível perceber certa variação na GPP que esteve, possivelmente, relacionada a outros fatores, como relevo, espécie vegetal, tipo de solo, dentre outros.

Investigando a influência do relevo na GPP das áreas planas foram identificadas as maiores diferenças nos primeiros meses de 2015 e 2016. Em 2015, a maior média identificada foi de 46,03 gC m<sup>-2</sup>, com desvio padrão de 8,81, observado no DS 81, coincidindo com o período que apresentou os maiores volumes pluviométricos no perímetro, com precipitação acumulada de 72,4 mm, ocorrida no mês de março, e o menor valor observado foi de

2,49 gC m<sup>-2</sup>, no DS 321, um dia do mês de novembro, quando não ocorreram chuvas (Tabela 1). Em 2016, o pico mais evidente da GPP foi de 53,14 gC m<sup>-2</sup>, com desvio padrão de 13,26, observado no DS 33; quando os dados pluviométricos apresentaram picos elevados, visto que no mês de janeiro de 2016 foram registrados os maiores volumes de chuvas (269 mm), estimulando o crescimento da vegetação, em estado de latência no período de estiagem, consequentemente elevando a quantidade de carbono sequestrado da atmosfera. O menor valor observado foi de 3,75 gC m<sup>-2</sup>, no DS 337, também ocorrendo no mês de novembro quando ocorreram poucas chuvas. Notou-se que nas áreas planas, as variações no sequestro de carbono foram menores entre 2015-2016, quando comparadas àquelas que ocorreram nas áreas mais elevadas, evidenciando, possivelmente, uma influência da altitude e seus efeitos na temperatura do ar. Este fato pode ser explicado por uma resposta da vegetação à disponibilidade de água para a fotossíntese e, consequentemente, maior consumo de gás carbônico, auxiliando no sequestro de carbono da atmosfera, bem como a menor evapotranspiração.

Analisando os resultados encontrados nas duas regiões estudadas, com maior e menor altitude, foi possível observar a influência dos fatores meteorológicos nas médias de GPP. Como a nossa principal análise é na influência do relevo na GPP, foi possível observar que no período que apresenta o mesmo padrão pluviométrico (período seco) e levando em consideração a variação do relevo, foi possível perceber diferenças entre as GPPs das áreas na região com maior altitude e menores altitudes (Figura 5), em especial no início da recessão hídrica (ver dias sequenciais de 121 a 240). Nas áreas mais elevadas foram encontrados os maiores valores nas médias de GPP e, segundo Moura et al. (2007), os aspectos de relevo definem alguns locais com maiores altitudes, e, consequentemente, microclimas específicos que podem proporcionar desenvolvimento vegetativo diferenciado. É importante destacar que a concentração de carbono nos tecidos vegetais varia com a espécie, com a fase de desenvolvimento,

estado nutricional e as características edafoclimáticas da região (Malcon & Pitelka, 2000).

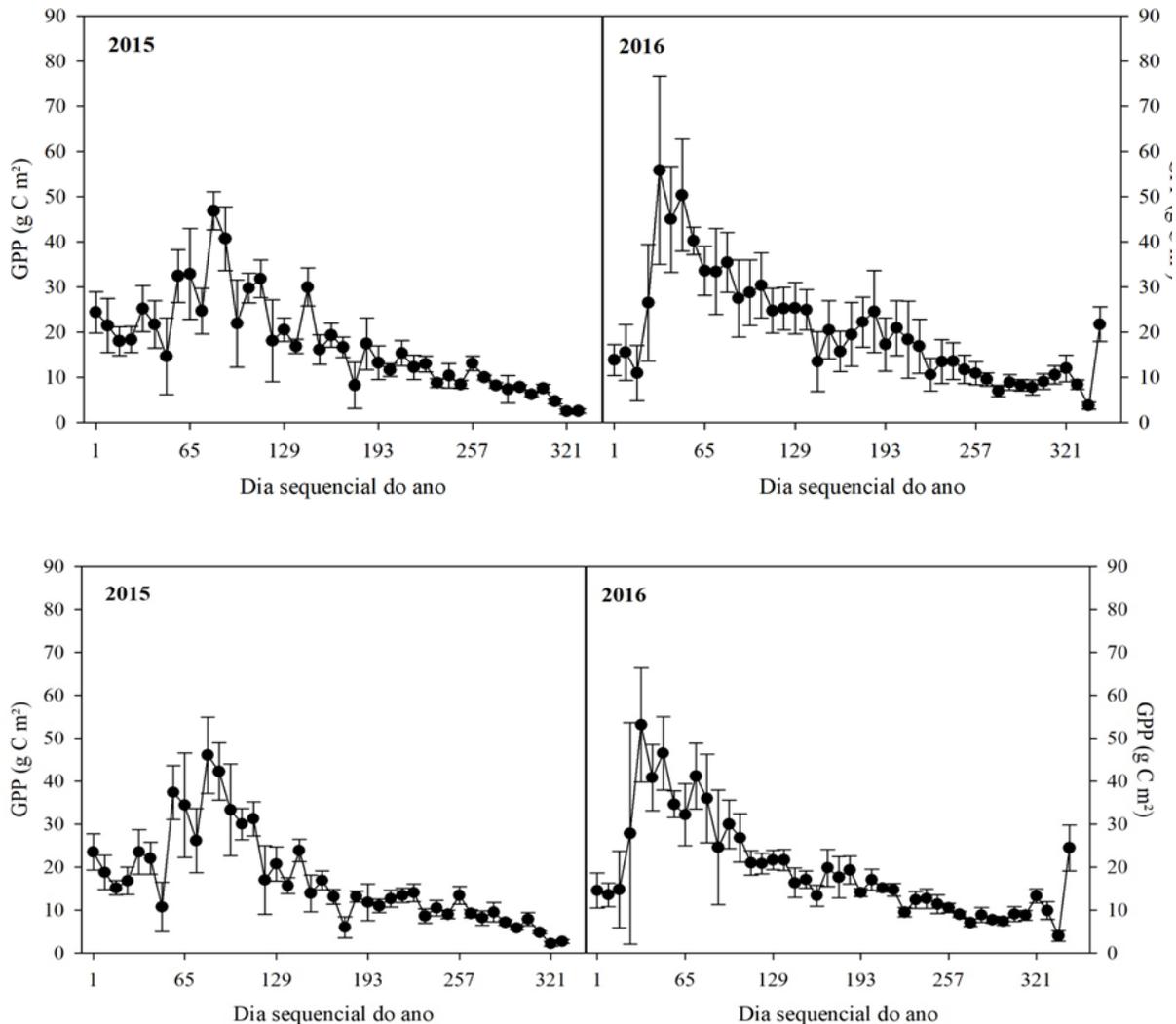


Figura 5 - Produção primária bruta (GPP) acumulada para períodos de oito dias para áreas de maior altitude (A) e menor altitude (B) da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, Pernambuco.

Analisando a variação espacial e temporal da GPP entre os anos de 2015 e 2016 (Figura 6), notou-se que março foi o mês com predomínio de um maior sequestro de carbono, devido ao acumulado de precipitação até este mês. Nos meses de janeiro e fevereiro o acumulado da precipitação ficou em torno de 55 mm, mas a vegetação só respondeu a essa precipitação em março, aumentando sua produtividade em termos de biomassa, evidenciado após o período acumulado em janeiro-março. Nos meses posteriores a abril foi possível observar redução nos valores da GPP devido a diminuição da precipitação pluviométrica,

seguido de gradiente decrescente, observado nos meses subsequentes, com variações entre 87,31 e 9,73 gC m<sup>-2</sup>. Em 2016, o ano se iniciou com baixa pluviometria, o mês de janeiro apresentou uma baixa assimilação de carbono, com média mensal de 66,9 gC m<sup>-2</sup>. Esses valores refletem o estado da vegetação em decorrência das chuvas ocorridas nos meses de novembro e dezembro de 2015. No entanto, nos meses de fevereiro, março e abril de 2016 ocorreu uma variação expressiva em relação ao mês de janeiro, onde foram verificados valores entre 111,41 e 151,19 gC m<sup>-2</sup>, não necessariamente nessa ordem, mas com destaque para as áreas onde

predominam as feições do relevo com maiores altitudes. A partir do mês de maio, quando foi iniciada a estação seca, a GPP apresentou uma redução na assimilação de carbono, com valores variando de maio a julho entre 78,02 e 89,01 gC m<sup>-2</sup>

<sup>2</sup>. Entre agosto e dezembro, as médias da GPP reduziram ainda mais, o maior valor observado foi de 39,2 gC m<sup>-2</sup> e o menor valor foi de 24,97 gC m<sup>-2</sup>.

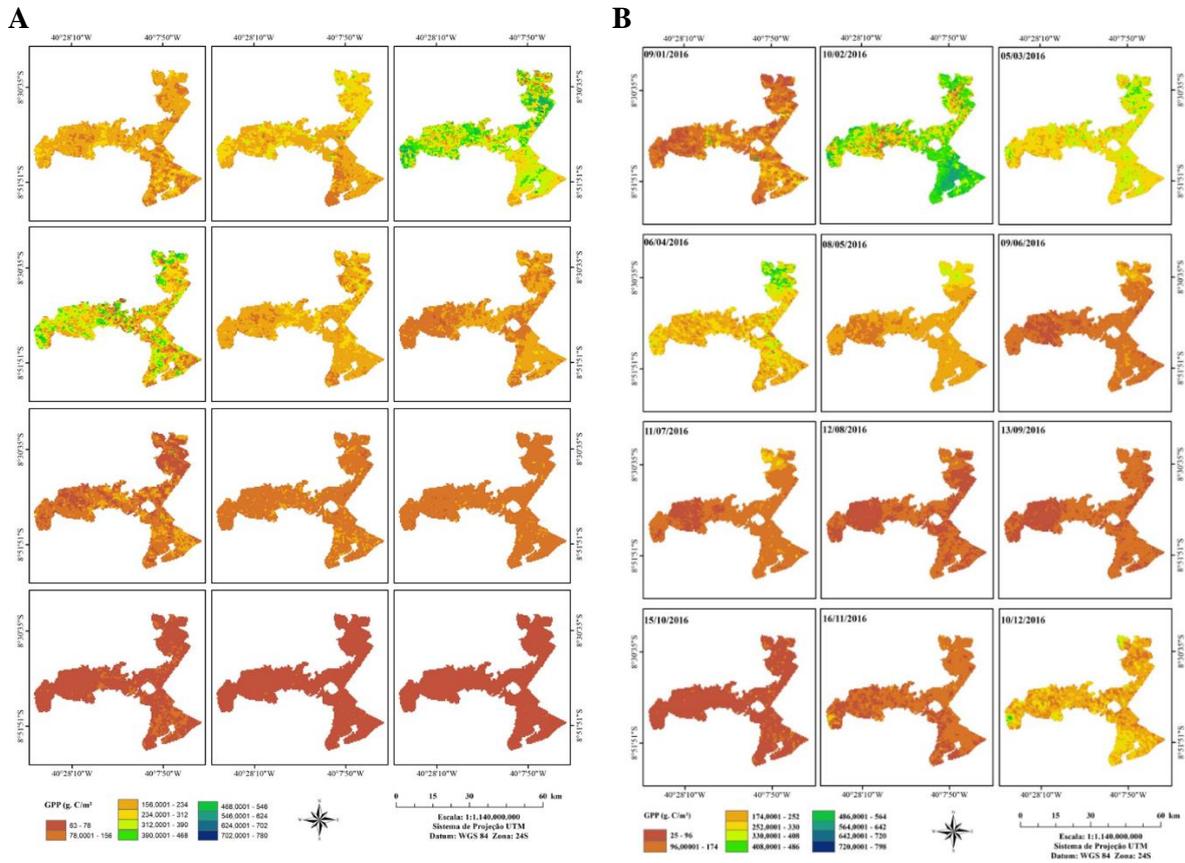


Figura 6. Variação do acumulado mensal da Produção Primária Bruta (GPP) da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre, Pernambuco, para o ano de 2015 (A) e 2016 (B).

Diante da necessidade de avaliar a influência do relevo na GPP, verificou-se a relação na GPP entre os pontos com maiores altitudes. A maior correlação foi entre o ponto 4 e o 5, resultando em um valor de  $r = 0,97$ . O ponto 4 possui uma altitude de 664 m e o ponto 5 uma altitude de 670 m, ou seja, 6 m de diferença de altitude, considerada uma pequena diferença. A menor correlação foi do ponto 1 com o 6, com um valor de  $r = 0,62$ . O ponto 1 possui uma altitude de 732 m e o ponto 6 uma altitude de 673, apresentando 59 m de diferença. Este resultado mostra que diferenças em torno de 50 m de altitude podem implicar em respostas variadas da vegetação estabelecida nestas áreas com maior e menor altitudes. Uma diferença de 50 m na altitude pode interferir em mais de 10% nos valores da GPP para áreas com maior altitude.

Realizando a mesma análise de correlação nas áreas planas observou-se que a maior correlação ocorreu entre o ponto 5 e o 6, com um valor de  $r = 0,91$ . O ponto 5 possui uma altitude de 422 m e o ponto 6 possui uma altitude de 424 m, ou seja, uma diferença de 2 m entre eles. A menor correlação foi encontrada entre o ponto 1 e o 8, com um valor de  $r = 0,62$ . O ponto 1 possui altitude de 416 m e o ponto 8 possui uma altitude de 441, com uma diferença de 25 m entre eles. Uma diferença de 25 m na altitude, em uma região considerada plana, promoveu uma alteração na GPP em torno de 20%, ou seja, em áreas planas, a sensibilidade da GPP devido a altitude é maior. Weg et al. (2014) encontraram maior sensibilidade, em torno de 30-40%, na GPP em áreas sob condições similares àquela desse estudo. Parte das informações discutidas acima estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Análise descritiva dos agrupamentos encontrados em 86 imagens, na Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre, Pernambuco, para os anos de 2015 e 2016, obtidas a partir do tile H14V09, com resolução de 1 km, pelo método Ward da Produção Primária Bruta (em inglês *Gross Primary Production - GPP*), acumulada de oito dias de pontos em áreas com maiores altitudes e áreas planas.

Pontos	Áreas com maiores altitudes		Áreas planas	
	Altitude	GPP	Altitude	GPP
	(m)	g C m <sup>-2</sup>	(m)	g C m <sup>-2</sup>
1	732	21,55 ± 12,88	416	19,16 ± 13,43
2	685	17,54 ± 11,45	427	19,06 ± 14,38
3	664	16,96 ± 10,09	429	17,79 ± 10,89
4	668	18,48 ± 13,60	445	19,46 ± 13,78
5	670	19,03 ± 14,02	422	18,99 ± 13,20
6	673	18,80 ± 12,33	424	17,58 ± 12,05
7	701	19,09 ± 12,45	426	18,05 ± 11,37
8	774	21,50 ± 12,68	441	15,56 ± 8,79
9	639	18,51 ± 11,73	442	17,33 ± 11,35
10	620	18,73 ± 12,85	426	19,23 ± 12,2
<b>Média</b>		<b>19,02 ± 11,15</b>		<b>18,22 ± 11,03</b>

Diante dos resultados apresentados sobre a variação espacial e temporal da GPP, Figura 6, notando que existem influências do relevo na GPP e tentando destacar apenas essas influências, foram analisados os resultados da regionalização da estatística multivariada. Consequentemente, o uso de análise multivariada permitiu a avaliação da homogeneidade das características fisiográficas das dez áreas de GPP, nas áreas de maiores altitudes e áreas planas, gerando dendrogramas hierárquicos (Figura 7). Foram agrupados quatro grupos com maiores altitudes e cinco nas áreas planas. Nas áreas de maiores altitudes, os dados foram agrupados em quatro grupos distintos. O Grupo I, correspondendo aos pontos/áreas (4, 5, 7), apresentaram altitudes de 668, 670 e 701 m, respectivamente, e a GPP variou entre 19,03 e 21,54 gC m<sup>-2</sup>, altitude variando 3 m. No Grupo II, os pontos (2, 3, 9, 10) com altitudes de 685, 644, 639 e 620 exibiram variações na GPP de 16,96 a 18,73 gC m<sup>-2</sup>, altitude variando 65 m. O Grupo III, composto por um único ponto (6), com altitude de 673, e GPP de 18,80 gC m<sup>-2</sup>. No Grupo IV, os pontos (1, 8) com altitudes de 732 e 774 mostrou variações na GPP de 18,48 e 21,55 gC m<sup>-2</sup>, respectivamente, altitude variando em 42 m. Nota-se que no Grupo I com 3 m de diferença a GPP variou 12%; no Grupo II com 65 m. a GPP variou em 10%; enquanto no Grupo IV, com 42 m a GPP

variou 15%. Diante disso, tentando identificar os motivos dessas diferenças, fez-se análise das características dos solos dessas áreas. Sabe-se que tanto o relevo quanto o clima influência nas características do solo, como também as características do solo têm influência na biomassa, na produção primária bruta e, consequentemente, no sequestro de carbono.

Os Grupos I, II e III possuem, predominantemente, um solo do tipo Neossolo Litólico (solos rasos, com pouca espessura, podendo ser pedregosos ou rochosos, indicando ser pobres em nutrientes). É importante destacar que a variação na GPP nesses grupos que apresentam mesmo tipo de solo foi de 10%. O Grupo IV apresenta diversidade em tipos de solo: solo dos tipos Argissolo Vermelho e Amarelo (com fertilidade natural baixa e profundos) e Neossolo Litólico. Os Grupos I, II e III, por possuírem o mesmo tipo de solo, sugere que a variação da GPP pode estar relacionada à altitude, uma vez que os maiores valores de GPP foram encontrados no grupo de maiores altitudes. O Grupo IV mostrou os maiores valores de GPP e as maiores altitudes.

Nas áreas planas foram encontrados cinco grupos distintos. O Grupo I (pontos 3, 6 e 5) que apresentou altitudes de 664, 673 e 670 m, com variação na GPP de 16,96 a 19,03 gC m<sup>-2</sup>, e 9 m de variação da altitude e com 11% na variação da

GPP. O Grupo II (pontos 8, 9 e 10) com valores de altitudes de 441, 442 e 426 m, onde a GPP variou entre 15,56 e 19,23 gC m<sup>-2</sup>, e a altitude apresentou variação de 16 m e a GPP de 19%. O Grupo III, formado por um ponto isolado (4), apresentou altitude de 445 m, e uma GPP de 19,46 gC m<sup>-2</sup>. O Grupo IV (pontos 1 e 7), com altitudes de 416 e 426 m, onde a GPP foi de 18,05 e 19,16 gC m<sup>-2</sup>, com 10 m de variação na altitude e 6% na variação da GPP. O Grupo V, constituído por um único ponto (2) com altitude de 427 m, apresentou GPP de 19,06 gC m<sup>-2</sup>. Nos Grupos I, II e III predomina um solo do tipo Argissolo Amarelo (com fertilidade natural baixa e profundos). Nota-se que a GPP varia muito nesses grupos, sem mostrar um padrão. Isto sugere que em um solo do tipo Argissolo Amarelo há uma grande variação na GPP. Fatores como precipitação, temperatura, assim como as

características físicas do solo influenciam na fixação de carbono através do mecanismo da fotossíntese (Conant & Paustian, 2002). O estoque de CO<sub>2</sub> é maior em áreas com maiores índices pluviométricos, temperatura moderada e solos férteis (Gao et al., 2015).

O Grupo IV apresentou duas classes distintas: no ponto 1, um solo do tipo Argissolo Amarelo e, no ponto 7, um solo do tipo Neossolo Quartzarênico, o que pode explicar as variações de GPP. Este grupo, mesmo com menores altitudes, apresentou maiores valores de GPP. Isso pode ser porque em solos argilosos a retenção da água é maior e, portanto, oferecendo uma maior disponibilidade hídrica para as plantas (Almeida-Scabbia, 2011). Deste modo, as características dos solos influenciam no estoque de CO<sub>2</sub>, auxiliado pelas características fisiográficas de uma área.

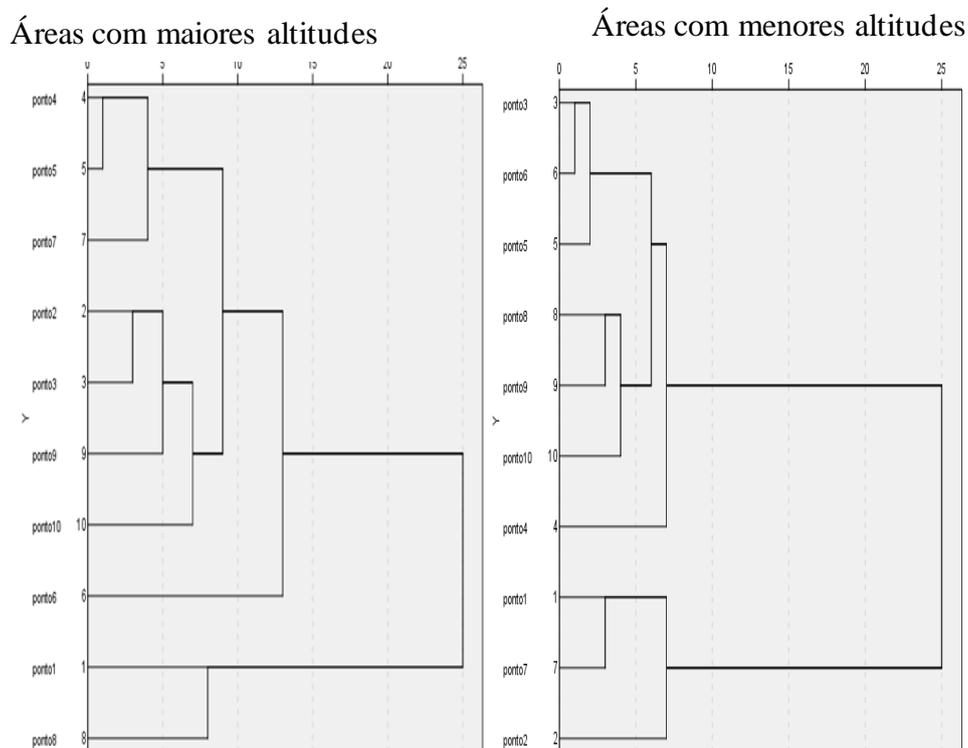


Figura 7. Dendrogramas de similaridade de 86 amostras na Unidade de Conservação Refúgio de Vida Pontão, Pernambuco, para os anos de 2015 e 2016, baseados nas medidas de distância euclidiana, utilizando o algoritmo de Ward.

Na análise de agrupamento das amostras obtiveram-se os seguintes resultados: Grupo I – de acordo com dias julianos agrupados representa o período seco, Grupo II - chuvoso e Grupo III – de

transição (Tabela 3). Em torno de 45% dos dias do ano, com GPP mais baixa (seco), 45% de GPP transição e apenas 10% com GPP alta (chuvoso).

Tabela 3. Formação dos grupos de 86 amostras de Produção Primária Bruta (*Gross Primary Production-GPP*, na Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre, Pernambuco, para os anos de 2015 e 2016, para as áreas de maiores altitudes, segundo o algoritmo de Ward.

Grupo	Amostras (N)
I	321 329 313 337 265 265 313 241 273 297 297 289 305 273 289 329 249 233 281 305 281 177 193 19 17 141 225 321 201 257 225 257 217 249 153 209 233 241 161
II	41 49 57 81 89 33 81
III	25 89 145 65 57 65 105 113 97 105 73 19 97 49 185 161 245 25 129 137 169 17 169 193 217 209 121 153 201 177 185 41 73 121 137 129 113 33

O Grupo I, com o maior agrupamento, foi formado por 40 amostras (45%), com variação média da GPP entre 2,49 e 16,12 gC m<sup>-2</sup>, observadas nos dias sequenciais (DS) 321 e 153, respectivamente, com a menor média observada em novembro, caracterizados como período seco no semiárido. Entretanto, o Grupo II formou o menor agrupamento, com sete amostras, representando as maiores médias de GPP, com pouca variação entre os valores dentro do grupo. A menor média foi de 40,21 gC m<sup>-2</sup>, observada no DS 57, e a maior, de 55,84 gC m<sup>-2</sup>, encontrada no DS 33, observados entre os meses de janeiro e março, período chuvoso com ápice de GPP. O Grupo III foi composto por 39 amostras, com valores de GPP relativamente mais elevados, o maior valor identificado foi de 32,89 gC m<sup>-2</sup> no DS 65 e o menor valor no DS 49 foi de 14,67 gC m<sup>-2</sup>, observado nos meses de janeiro e fevereiro de 2016. O grupo mostrou uma variabilidade com constância nas médias de GPP observadas, configurando um grupo com similaridade média, significando uma transição entre os períodos chuvoso e seco. É importante destacar que, em apenas 10% dos dias do ano, a GPP está mais ativada na área em estudo. Isso sugere que, em 90% dos dias do ano, as condições ambientais do ecossistema são bastante limitantes para o bom desenvolvimento das plantas.

Sabe-se que o período chuvoso tem importante papel na GPP, mas esse período representa apenas 10% dos dias do ano para o período de estudo. Destaca-se que é importante avaliar os outros fatores que influencia na variação de GPP ao longo do ano e esses fatores estão presentes sozinhos influenciando a GPP durante 90% dos dias do ano. Ou seja, para planejamento dos ecossistemas secos é importante compreender e levar em consideração em seus planejamentos os fatores que influenciam a GPP em 90% dos dias do ano, tais como

características do solo e do relevo, e outros parâmetros climáticos, como evapotranspiração potencial, deficiência hídrica, etc.

No geral, houve diferenças e similaridades no quantitativo da GPP nos agrupamentos formados entre as áreas mais elevadas (com maiores altitudes) e as planas, devido à variabilidade sazonal da precipitação e tipo de solo, conferindo forte influência nos resultados observados no período analisado. Estudos relacionados ao entendimento da dinâmica climática explicam bem a relação das taxas de produção primária bruta, quando associados aos fatores relacionados, como precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, entre outros. É importante ressaltar que um fator tem interferência em outro, como a precipitação no solo. As características do solo são essenciais na variação da produção primária bruta e assim como em outros fatores ambientais, Andrade et al., (2017). Na China, estudos sobre estoques de carbono na biomassa de pastagens demonstraram que o CO<sub>2</sub> está diretamente relacionado com a distribuição dos fatores climáticos, tipos de vegetação e solo, onde o carbono estocado está positivamente correlacionado com a precipitação (Gao et al., 2015) e conseqüentemente com alguns fenômenos atmosféricos como El Niño e La Niña, Costa et al., (2015). Assim como o Índice de Anomalia de Chuva pode ajudar na identificação de secas e suas conseqüências na GPP, Costa e Da Silva (2017).

Mesmo sabendo que a precipitação tem importante influência na GPP, é importante enfatizar que durante os períodos de recessão ou de baixa disponibilidade hídrica na região semiárida do Nordeste do Brasil as plantas apresentam estratégias particulares que fazem com que sobrevivam em condições de extrema escassez hídrica. Martins et al. (2010) afirmam que, durante esses períodos de baixa disponibilidade hídrica, as

plantas fecham os estômatos para evitar a perda de água e, muitas vezes, perdem as folhas, não havendo uma mínima ou nenhuma absorção de CO<sub>2</sub> da atmosfera, ou seja, quase não ocorre crescimento vegetal. Porém, neste estudo os resultados mostraram que a altitude apresenta influência na GPP, principalmente quando a diferença na elevação é superior a 50 m.

Destaca-se aqui a importância da aplicação de análise multivariada para identificar pequenas variações locais na GPP devido as condições ambientais.

### Conclusões

1. É possível melhor identificar a influência do relevo e do solo na GPP no período seco, em regiões semiáridas.
2. Em anos secos, apenas 10% dos dias do ano apresentaram aumento significativo da GPP, mostrando ser um padrão geral de comportamento dessa relação, apesar de algumas poucas contradições.
3. Considerando que a soma das percentagens do período de GPP baixa e de transição corresponde a cerca de 90% dos dias do ano, é bastante provável que, com o aumento das secas previstas pelo Intergovernamental Panel on Climate Change-IPCC para as regiões semiáridas e, em especial, para o bioma Caatinga, a GPP produzida por este bioma seja cada vez menor.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e FACEPE pelo o apoio financeiro ao projeto e pelas bolsas de estudo, por meio dos processos: CNPq 402834/2016-0; CAPES/FACEPE 159220/2017-01; FACEPE/PNPD/APQ-0646-9.25/16.

### Referências

Almeida-Scabbia, R. J. et al. 2011. Características físico-químicas do solo e distribuição de espécies arbóreas em um trecho de cuesta basáltica, Analândia, SP, Brasil. *R. Bras. Bioci.* 9, 322-331.

Ambrizzi, T., Araújo, M. 2014. Base científica das mudanças climáticas: v.1 - primeiro relatório de avaliação nacional, 356p.

Anjos, R. S. et al. Spacial Distribution Of Rain Types In Pernambuco With The Usage Of Remote Sensing. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, [S.l.], 6, 154-163, June 2016. ISSN 2237-2202. Available at:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/view/22739>>. Date accessed: 13 Feb. 2020. doi:<https://doi.org/10.5935/2237-2202.20160016>.

Brito Moraes, Y. C. 2017. Análise do Sequestro de Carbono em Áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Meteorologia* 32, 585-599.

Cavalcante, Herika et al. 2018. Influence of the use and the land cover of the catchment in the water quality of the semiarid tropical reservoirs. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, [S.l.], 7, 389-398, Feb. ISSN 2237-2202. Available at: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/view/230931>>. Date accessed: 13 Feb. 2020. doi:<https://doi.org/10.29150/jhrs.v7.7.p389-398>.

Chang, T. C.; Lim, S. Y. 2004. Geographical Imaginations of 'New Asia-Singapore' *Journal Geografiska Annaler: Series B, Human Geography* 86B, 165-185.

Chen, X., Mo, X., Hu, S., Liu, S. 2017. Contributions of climate change and human activities to ET and GPP trends over North China Plain from 2000 to 2014. *Journal of Geographical Sciences* 27, 661-680.

Agência Pernambucana de Águas e Clima. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br>. Acesso em: 12 de janeiro de 2018.

Conant, R.T., Paustian, K.; Elliott, E.T. 2002. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications* 11, 343-355.

Costa, M., Lima, K., Lima, K., Andrade, M., Andrade, M., Gonçalves, W., & Gonçalves, W. (2015). Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil (Trends observed in precipitation extremes over the semiarid region of Northeast Brazil). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(5), 1321-1334. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.5.p1321-1334>

Andrade, C., Montenegro, S., Lima, J., Montenegro, A., & Srinivasan, R. (2017). Análise de Sensibilidade de Parâmetros do Modelo SWAT em uma Sub-bacia da Região Nordeste, Brasil (Sensitivity analysis of SWAT model parameters applied in a sub-basin of Northeast Region, Brazil). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(2), 441-453.

- doi:<https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170027>
- Costa, J., & Da Silva, D. (2017). Distribuição espaço-temporal do Índice de anomalia de chuva para o Estado do Ceará (Distribution space-temporal of rain anomaly index for the Ceará State). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(4), 1002-1013. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p1002-1013>
- DuBois, S., Desai, A.R., Singh, A., Serbin, S.P., Goulden, M.L., Baldocchi, D.D., Ma, S., Oechel, W.C., Wharton, S., Kruger, E.L., Townsend, P.A. 2018. Using imaging spectroscopy to detect variation in terrestrial ecosystem productivity across a water-stressed landscape. *Ecological Applications*, 28, 1313-1324.
- EMBRAPA. 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).
- EMBRAPA. 2013. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agência Embrapa de Informações Tecnológica Ageitec. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª edição revista e ampliada. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1299/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos---sibcs-3-edicao>. Acesso em: 25 de janeiro de 2018.
- EMBRAPA. 2008. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agência Embrapa de Informações Tecnológica Ageitec. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html). Acesso em: 12 de janeiro de 2018.
- Sousa, F. A. S. de et al. 2016. Estimativas dos Riscos de Chuvas Extremas nas Capitais do Nordeste do Brasil (Estimates of the Risks of Extreme Rainfall in Capitals of Northeast Brazil). *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.l.], 9, 430-439. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/artic/e/view/233377>. Acesso em: 13 fev. 2020. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.2.p430-439>.
- França, L. M. A., Oliveira, T. H., Pereira, J. A. S. Lins, T. M. P., Galvêncio, J. D. 2013. Spatial analysis of caatinga vegetation in the municipality of Ibirimir-PE *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 3, 59-70.
- Francisco, P. R. M. et al. 2016. Análise e Mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez Através do BHC para o Estado da Paraíba (Analysis and mapping of moisture indices, water and aridity through the BHC for the Paraíba state). *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.l.], 8, 1093-1108, jan. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/artic/e/view/233522>. Acesso em: 13 fev. 2020. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.4.p1093-1108>.
- Galvêncio, J.D., Pimentel, R.M.M. 2016. Monitoring canopy and air temperature of dominant vegetation in tropical semi-arid using bioclimatic model. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 1, 1-12.
- Gao, T. et al. 2015. Spatial and temporal variation of biomass carbon stocks in Xilingol grassland. *International Conference on Mechatronic Sciences*. China.
- Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G., Guo, R. 2016. Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature Climate Change*, 6, 166-171.
- IBGE - 2010. Cidades: Petrolina, Lagoa Grande, Santa Maira da Boa Vista. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=260875>. Acesso em: 23 de outubro de 2015.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Summary for Policy makers – Contribution of Work Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>. Acesso em: 16 de novembro de 2016.
- IPCC - 2013. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Câmbio Climático: Guidelines for national greenhouse gas inventories*. IPCC, Switzerland, Disponível em: [http://www.ipcc.ch/news\\_and\\_events/docs/ar5/ar5\\_wg1\\_headlines\\_es.pdf](http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_wg1_headlines_es.pdf). Acesso em: 08 de novembro de 2015.
- IPCC – 2017. International Panel on Climate Change AR6 Scoping Meeting Addis Ababa, Ethiopia, 1 – 5 May 2017 AR6-SCOP/Doc. 2 (24.IV.), p.8. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/apps/eventmanager/docum>

- [ents/46/220520170356-Doc.%20%20-20Chair%20Vision%20Paper%20.pdf](#). Acesso em: 25 de julho de 2017.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais Climatológicas do Brasil, 1981- 2010, Brasília. 2018.
- Jesus, J. B.; Santana, I. D. M. 2017. Estimation Of Land Surface Temperature In Caatinga Area Using Landsat 8 Data. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, [S.l.], 7, 150-157. ISSN 2237-2202. Available at: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/articulo/view/22766>. Date accessed: 13 feb. 2020. doi:<https://doi.org/10.29150/jhrs.v7.3.p150-157>.
- Maier, E. L. et al. 2016. Precipitação na América do Sul: Médias Climáticas e Padrões da Variabilidade no Período entre 1979 e 2008. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.l.], 9, 032-046, fev. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/articulo/view/233674>. Acesso em: 13 fev. 2020. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p032-046>.
- Malcon, J. R.; Pitelka, L. F. 2000. *Ecosystems & Global Climate Change: A Review of Potential Impacts on U.S. Terrestrial Ecosystems and Biodiversity*. Pew Center on Global Climate Change.
- Minaya, V., Corzo, G., Kwast, J. van der, Galárraga, R., Mynett, A. 2015. Classification and Multivariate Analysis of Differences in Gross Primary Production at Different Elevations using Biome-BGC in the Páramos, Ecuadorian Andean Region. *Revista de Matemática: Teoría Y Aplicaciones*, 22, 369-394.
- Morais, Y.C.B., Araújo, M.S.S., Moura, M.S.B., Galvêncio, J.D., Miranda, R.Q. 2017. Análise do Sequestro de Carbono em Áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32, 585-599.
- OOI, Mark K. J.. 2015. Seed bank dynamics and climate change in semi-arid ecosystems: a focus on physically dormant species. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.l.], 8, 651-659. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/articulo/view/233635>. Acesso em: 13 fev. 2020. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p651-659>.
- Pereira, J. A. S.; França, L. M. A.; Galvêncio, J. D. 2012. Relationship between vegetation indices and altimetry in Triunfo-PE, Brazil. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 3, 37-43.
- Ruimy, R. et al. 1994. Phylogenetic analysis and assessment of the genera *Vibrio*, *Photobacterium*, *Aeromonas*, and *Plesiomonas* deduced from small-subunit rRNA sequences. *Int J Syst Bacteriol.*, v.44, p.416-426,
- Schirmbeck, L. W. 2017. Understanding TVDI as an index that expresses soil moisture. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, [S.l.], 7, 82-90. ISSN 2237-2202. Available at: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/articulo/view/23079>. Date accessed: 13 feb. 2020. doi:<https://doi.org/10.29150/jhrs.v7.2.p82-90>.
- Silva, B.B., Galvêncio, J.D., Montenegro, S.M.G.L., Machado, C.C.C., Oliveira, L.M.M., Moura, M.S.B. de. 2013. Determinação por Sensoriamento Remoto da Produtividade Primária Bruta do Perímetro Irrigado São Gonçalo? PB. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28, 57-64.
- Spielhagen, R. F. 2012. Hotspots in the Arctic: Natural archives as an early warning system for global warming. *Geology*, 40, 1055-10.
- Souza, L. S. B. De; Moura, M. S. B. De; Sediya, G. C.; Silva, T. G. F. Da. 2017. Carbon exchange in a Caatinga area during an unusually drought year. *Agrometeoros*, Passo Fundo, 25, 37-45.
- Tait, L.W., Schiel, D.R. 2013. Impacts of Temperature on Primary Productivity and Respiration in Naturally Structured Macroalgal Assemblages. *Plos One*, 8, e74413.
- Teixeira, A. H. C. 2010. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. *Remote Sensing*, 2, 1287-1319,
- Teixeira, A. H. de C. 2010. Informações agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009. Petrolina: Embrapa Semiárido, 21 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 233).
- Wang, J. et al. 2017. Decreasing net primary production due to drought and slight decreases in solar radiation in China from 2000 to 2012. *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 122, 261-278.
- Weg, M. J. van, Meir, P., Williams, M., Girardin, C., Malhi, Y., Silva-Espejo, J., Grace, J. 2014. Gross primary productivity of a high elevation

- tropical montane cloud forest Ecosystems, 17, 751-764.
- Xie, X.; Li, A. Development of a topographic-corrected temperature and greenness model (TG) for improving GPP estimation over mountainous areas. *Agricultural and Forest Meteorology* 295 (2020) 108193. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108193>
- Malhi et al. 2017. The variation of productivity and its allocation along a tropical elevation gradient: a whole carbon budget perspective. *New Phytologist* (2017) 214: 1019–1032. doi: 10.1111/nph.14189
- Collalti, A. & Prentice, I.C. 2019. Is NPP proportional to GPP? Waring's hypothesis 20 years on. *Tree Physiology* 39, 1473–1483 doi:10.1093/treephys/tpz034