



**PRODUÇÃO DE MAPEAMENTO DE DIAGNÓSTICO DE DEGRADAÇÃO PELA
ANÁLISE DA RESPOSTA FENOLÓGICA VEGETACIONAL FRENTE À SAZONALIDADE DE
DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)**

Paloma Genú da Silva (FATEC, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: palomagenu70@gmail.com

Gustavo Felipe Balué Arcoverde (CCST/INPE, Orientador)
E-mail: gustavo.arcoverde@inpe.br

Jorge Alberto Bustamante Becerra (CCST/INPE, Coorientador)
E-mail: Jorge.bustamante@inpe.br

Julho de 2018



RESUMO

O presente trabalho, iniciado em Agosto de 2017, têm como caráter analisar e mapear efeitos sistêmicos relacionados a processos de degradação em áreas de pastagem e vegetação natural nos biomas Cerrado e Caatinga. Para tanto têm sido produzido gráficos e correlações entre três variáveis (vegetação, precipitação e temperatura de superfície) de forma a analisar o comportamento da sazonalidade e resposta entre cada uma destas, assim obtendo um produto de investigação que possa ser associado a degradação vegetacional. A degradação de um ecossistema pode ser entendida como um processo abrupto de alteração de seu estágio de equilíbrio e resiliência originais, cujo novo estágio está associado a uma alta entropia. A emergência de sistemas biestáveis, com inerente histerese, tem sido entendida como possível estágio de desertificação (D'ODORICO et al., 2013). A análise de correlações das variações de vegetação, precipitação e temperatura de superfície (sazonalidades), a partir de dados de sensoriamento remoto, pode inferir estágios de degradação, servindo de arcabouço para estudos mais aprofundados e in situ. Os produtos que foram utilizados para esta análise são imageamento orbital e de observação in situ. Os produtos orbitais compreenderam os dados Modis - Espectrorradiômetro de Imagem de Resolução Moderada (MOD11 – LST_Day – Temperatura da Superfície Terrestre) com resolução espacial de 250 m e composição de 8 dias, (MOD 13- EVI – Índice de Vegetação Melhorado) com resolução espacial de 250 metros e composição de 16 dias, e dados de precipitação (TMPA -Missões de Medição de Precipitação) com resolução espacial de 25 quilômetros e composição diária. O produto de observação in situ correspondeu às estações meteorológicas do banco de dados do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – em que foram extraídos dados de precipitação diária. Para tal análise foram escolhidos pontos próximos a tais estações meteorológicas com permanência de pastagem e vegetação natural do ano 2000 a 2017 a partir do produto de mapeamento Mapbiomas (pontos de interesse). Também foram considerados os limites dos biomas do Cerrado e Caatinga, além de quatro tiles dos dados MODIS, ao todo foram 33 pontos de interesse correspondentes a pastagem e 9 de vegetação natural. A partir desses pontos foram extraídos dados de EVI, LST e Precipitação, pelos quais forma possível realizar análises de correlação, razão entre EVI e TMPA, EVI e LST, e EVI e TMPA e LST, com isso foram obtidos gráficos correspondentes as tais razões deslumbrando a resposta da vegetação em estágios pertencentes a altas e baixas temperaturas e de altos, baixos e moderados volumes de precipitações.



SUMÁRIO

	Pág.
1	
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO GERAL.....	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2	
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3	
MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
4	
ANÁLISES E RESULTADOS.....	8
5	
CONCLUSÕES.....	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16



1 INTRODUÇÃO

A degradação está cada vez mais intensa nos biomas brasileiros, sua encadeação é proveniente de vastos fatores, calcula-se que cerca de 70% destes estão relacionados a ação humana. A degradação de um ecossistema pode ser entendida como um processo abrupto de alteração de seu estágio de equilíbrio e resiliência originais, cujo novo estágio está associado a uma alta entropia. A emergência de sistemas biestáveis, com inerente histerese, tem sido entendida como possível estágio de desertificação (D'ODORICO et al., 2013).

A desertificação é definida como a degradação dos solos, dos recursos hídricos e da biodiversidade, nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de fatores climáticos e atividades humanas (United Nations, 1994). No Brasil as áreas suscetíveis à desertificação alcançam 980.711 km², distribuídos em oito estados do Nordeste e no norte do Estado de Minas Gerais (Costa; Oliveira; Accioly; Silva, 2009).

Ainda há poucos estudos quantitativos acerca da retroalimentação entre vegetação, precipitação, fluxos de energia e balanço hídrico que implicam em reduções do regime de chuvas, umidade do solo e no desenvolvimento vegetativo (D'ODORICO et al., 2013).

Este retrato até então é limitadamente explorado em áreas das “chamadas savanas brasileiras” (Caatinga e Cerrado), existem poucos estudos envolvendo este tipo de análise, onde o ciclo fenológico dessas áreas é fortemente associado a sazonalidade de precipitação. Esse fator junto com a acelerada ação antrópica nestes biomas incrementa um estágio de degradação nos mesmos.

O bioma Caatinga existente na região do nordeste brasileiro, tendendo-se pelo domínio de climas semi-áridos, consiste numa área de 844.453 km², 6,83% do território nacional; ocupa os estados da BA, CE, PI, PE, RN, PB, SE, AL, MA e MG (IBGE, 2004). O termo Caatinga é originário do tupi-guarani e significa mata branca, denominada assim pelo fato de ser composta por florestas sazonalmente secas em virtude de um regime de chuva irregular e vegetação arbustivo – espinhosa (Leal et al.,

2005). Embora este seja o único bioma exclusivamente brasileiro, apresenta poucas ações de proteção, pois aproximadamente 50 % desse ambiente foi degradado em virtude das atividades antrópicas, especialmente a pecuária, agricultura e o corte de madeira para carvão vegetal que estão modificando a paisagem natural deste ecossistema (IBAMA/MMA, 2010) e que posteriormente podem causar um grande desequilíbrio climatológico e vegetativo, assim ocasionando os estágios de desertificação.

É uma região caracterizada por altas taxas de evapotranspiração, ocorrências de período de seca, solos rasos e reduzida capacidade de retenção de água (Silva; Lima; Almeida, 2011). Todos esses fatores refletem a fragilidade desses ecossistemas (Silva et al., 2009). Apesar disso o bioma possui uma grande poder de resiliência, isto pode ser notado em eventos de chuvas, que mesmo em baixas intensidades, acabam tendo respostas significativas da vegetação, que deixam de ter caráter secos para verdes e revigoradas. Isto é possível pela forma adaptativa que essas espécies vegetais tendem a ter ao longo do tempo, para sobreviverem em um local perturbante.

O Cerrado por sua vez nas últimas três décadas tem passado por um processo de transformação contínua, que tem afetado a dinâmica deste importante ecossistema brasileiro. Este ocupa a porção central do Brasil, onde se localiza a maior parte da população brasileira, bem como, os estados mais industrializados e com forte vocação para agricultura e pecuária. Com a expansão da agropecuária, o cerrado deu lugar a pastagens, plantações de cereais e monoculturas, com a finalidade de abastecer o grande mercado consumidor brasileiro e também a exportação de produtos agrícolas (Nunes; Traldi, 2005). Sua extensão é de aproximadamente 2.036.448 km², cerca de 22% do território nacional. A sua área contínua incide sobre os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além dos enclaves no Amapá, Roraima e Amazonas (MMA/2012). O clima é caracterizado por invernos secos e verões chuvosos, com elevada variabilidade relativa da precipitação, cuja distribuição crescente das chuvas ocorre no sentido leste para oeste (Santos; Junior; Ferreira, 2011). Considerado como o bioma mais rico em biodiversidade, possui extrema



abundância de espécies endêmicas, engloba cerca de 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas. A facilidade com que a vegetação pode ser removida, em comparação àquelas de outros biomas, clima e solos propícios à agricultura e pecuária, juntamente à falta de ordenamento na ocupação da paisagem e uso dos recursos naturais poderá trazer consequências desastrosas. Não somente a biodiversidade será afetada em sua composição, mas também os serviços advindos de ecossistemas, como a ciclagem de nutrientes, a recarga dos aquíferos e o fluxo das águas, dentre muitos outros, comprometendo a qualidade de vida das populações e a sustentabilidade das atividades econômicas e sociais da região (Sarlot; Silva; Felfilli, 2005).

A resposta fenológica desses dois biomas tendem a ser variantes em razão da variabilidade climática de ambos, o sensoriamento remoto é uma importante fonte de informação para o monitoramento de comportamento sazonal vegetacional e interanual da vegetação em escalas regional e global, considerando a alta resolução temporal de alguns sensores (GANGULY et al., 2010; XIAO et al., 2006).

1.1. Objetivo Geral

Identificar nos biomas da Caatinga e Cerrado padrões de eficiência hídrica vegetativa por meio da análise da sazonalidade de precipitação e da respectiva resposta da vegetação por meio de dados de sensoriamento remoto e estações meteorológicas.

1.2. Objetivos específicos

- a) Identificar temporalmente padrões de eficiência hídrica em relação ao ciclo fenológico em áreas de pastagens e vegetação natural no Cerrado e Caatinga;
- b) Gerar Gráficos correspondentes as tais razões deslumbrando a resposta da vegetação em estágios pertencentes a altas e baixas temperaturas e de altos, baixos e moderados volumes de precipitações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os biomas do Cerrado e Caatinga, junto com o Pantanal, constituem os biomas de abrangência das savanas brasileiras, conforme definição de Cole (1960). Conforme este autor, as savanas se caracterizam pela marcada periodicidade da precipitação e pela deficiência de umidade no solo, mas também pelo papel do fogo (MYERS, 1936). Tal fato torna que a vegetação destes biomas seja particularmente resiliente às estações secas, porém devido à grande pressão antrópica, pouca vegetação de porte arbóreo e às poucas unidades de conservação implantadas, os torna suscetíveis a processos de degradação e desertificação, deixando com que os mesmos tenham se tornado os biomas mais degradados do Brasil (CAVA et al., 2016; LEAL, et al., 2005). Esta região tem sido alvo de grande pressão antrópica, seja para a agricultura intensiva e pastagem extensiva para commodities no Cerrado, seja para o uso de lenha e pastagem extensiva, na Caatinga.

A degradação de um ecossistema pode ser entendida como um processo abrupto de alteração de seu estágio de equilíbrio e resiliência originais, cujo novo estágio está associado a uma alta entropia. A emergência de sistemas biestáveis, com inerente histerese, tem sido entendida como possível estágio de desertificação (D'ODORICO et al., 2013). A análise por tais padrões sob diferentes condicionantes biofísicos e antrópicos, existentes ou inferidos, tem auxiliado a compreensão de possíveis estágios de degradação assim como de possíveis medidas de reversibilidade. Na literatura existem algumas medidas de resiliência consagradas, tais como: inércia, elasticidade, amplitude, histerese, maleabilidade e amortecimento (WESTMAN; O'LEARY, 1986).

A resiliência dos ecossistemas tem grande relação com padrões de sazonalidade de eventos biofísicos, em que estudos multitemporais de resiliência com fenologia vegetal (ZHANG et al., 2006; HMIMINA et al., 2013), produtividade primária bruta (FRAZIER et al., 2013) e cobertura arbórea (HIROTA et al., 2011) têm sido amplamente investigados. Apesar de que dados in-situ são insubstituíveis e devem ter sua devida continuidade, o incremento de estudos de padrões de sazonalidade na escala espaço-temporal tem sido possível devido à amplitude temporal de dados de sensoriamento remoto (SR) orbital. O uso de imagens de



SR também é um meio importante para o monitoramento dos ecossistemas, que por sua vez é importante para estabelecer e configurar práticas de manejo, especialmente em regiões mais áridas (GAITÁN et al., 2013). Especialmente, no caso de savannas, o estudo da taxa de retorno da vegetação após períodos de grandes estiagens é considerado um indicador importante para avaliar processos de degradação e desertificação (DIOUF; LAMBIN, 2001; PRINCE et al., 1998). Dependendo do status vegetativo (porte) e edafológico (umidade, temperatura, dentre outros) pode haver quebra do equilíbrio entre espécies tardias, intermediárias e pioneiras, e na exposição e perda do banco de sementes (COSTA et al., 2009), levando a um novo sistema interativo sob forte retroalimentação positiva – degradativo (D'ODORICO et al., 2013).

A avaliação da sazonalidade vegetativa em áreas de savanas tem sido amplamente estudadas via sensoriamento remoto. Alguns métodos tem sido aplicados para este tipo de estudo, que se resume praticamente em gerar índices ou gerar correlações, cujo objetivo é averiguar a sazonalidade do ecossistema frente à disponibilidade de água. Hirota et al., (2001) verificou que o dado de porcentagem de cobertura de árvore (Tree-Cover) (produto do sensor Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS) em correlação com dados de precipitação, responde de forma não linear entre florestas tropicais, savannas e gramínias, havendo pontos de quebra natural da resposta vegetativa (tipping point) entre as tipologias vegetativas. Diouf et al. (2001) verificaram que processos de declínio vegetativo com as oscilações climáticas interanuais pôde ser melhor constatado pelo índice de Eficiência do Uso da Chuva – Rain Use Efficiency (RUE) – que é razão da biomassa pelo precipitação. Em ambos estudos foi verificado quebras de padrões de resposta vegetativa e precipitação. Este tipo de quebra quando não-natural tem sido uma das principais observações em estudos de degradação em regiões sub-úmidas, semiáridas e áridas por meio de sensoriamento remoto de alta temporalidade, caso dos produtos MODIS.

O sensor MODIS possui uma importância significativa nos estudos envolvendo a vegetação, este sensor acoplado a plataforma Terra e Aqua do Earth Observing System (EOS) da NASA, possui produtos extremamente importantes, como o Índice de Vegetação, que resume informações espectrais contidas em duas ou mais bandas com o intuito de realçar as propriedades da vegetação e permitir uma comparação temporal e espacial das atividades terrestres fotossintéticas e das variações estruturais da cobertura (Huete et al., 2002). O índice Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Enhanced Vegetation Index (EVI) são disponibilizados no produto MOD13 do MODIS. Este último é apropriado ao uso em regiões semi-

áridas, pois foi desenvolvido especificamente para reduzir a sensibilidade do solo e os efeitos atmosféricos (Huete et al., 2002; John et al., 2008; Oliveira et al., 2009; Jenerette et al., 2010). Muitos estudos apontam problemas de erros no índice NDVI em regiões de vegetação esparsa, por ser fortemente influenciado pela reflectância do solo (Ishiyama et al., 1997; Elmore et al., 2000). Logo, a vegetação esparsa da Caatinga deve ser levada em consideração em um produto do sensoriamento remoto que minimize o brilho do solo, bem como os efeitos atmosféricos, sendo este, portanto, o EVI (Silva; Lima; Almeida, 2011). Outro produto derivado do sensor MODIS é o MOD11 que possui dados a respeito da temperatura da superfície terrestre, um dos seus dados importantes para esta pesquisa foi o Land Surface Temperature (LST).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo abrange parte dos nordeste, centro-oeste e sudeste do Brasil correspondendo ao bioma Caatinga e boa parte do Cerrado. A Figura 1 mostra a localização das áreas de estudo com os Tiles do sensor MODIS utilizados na pesquisa e também os pontos de estudos que estão situados nos biomas em áreas que prevaleceram pastagem e vegetação natural. Foram levantados e considerados pontos que foram mapeados no Mapbiomas (<http://mapbiomas.org/>) como classe de pastagem natural e vegetação natural desde o ano 2000 até o ano de 2016 ininterruptamente, e que estivessem o mais próximo possível às estações meteorológicas (máximo de 5 quilômetros de distância) com uma mancha considerável em uma das classes.

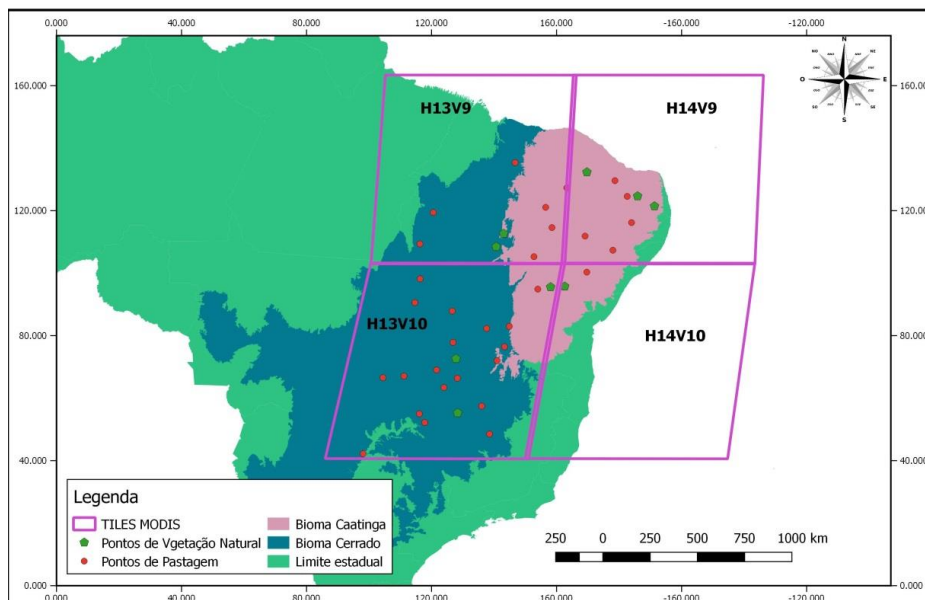


Figura 1 – Mapa de localização das áreas de estudo, juntamente com os TILES Modis.



. Os produtos que foram utilizados para esta análise são imageamento orbital e de observação in situ. Os produtos orbitais compreenderam os dados Modis - Espectrorradiômetro de Imagem de Resolução Moderada (MOD11 – LST_Day – Temperatura da Superfície Terrestre) com resolução espacial de 250 m e composição de 8 dias, (MOD 13- EVI – Índice de Vegetação Melhorado) com resolução espacial de 250 metros e composição de 16 dias, e dados de precipitação (TMPA -Missões de Medição de Precipitação) com resolução espacial de 25 quilômetros e composição diária. O produto de observação in situ correspondeu às estações meteorológicas do banco de dados do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – em que foram extraídos dados de precipitação diária. Para tal análise foram escolhidos pontos próximos a tais estações meteorológicas com permanência de pastagem e vegetação natural do ano 2000 a 2017 a partir do produto de mapeamento Mapbiomas (pontos de interesse). Também foram considerados os limites dos biomas do Cerrado e Caatinga, além de quatro tiles dos dados MODIS, ao todo foram 33 pontos de interesse correspondentes a pastagem e 9 de vegetação natural. A partir desses pontos foram extraídos dados de EVI, LST e Precipitação. A aquisição e o pré processamento dos dados foram realizadas de forma automática a partir de linha de código via shell script e R script, tais códigos estão presente no anexo deste trabalho. O pré processamento se caracterizou como a mosaicagem, conversão do formato de extensão original para TIFF, reprojeção dos dados para o sistema de referência WGS84 e a reamostragem dos mesmos.

Como os dados originais do Produto MOD11 são fornecidos em Kelvin, foi necessário utilizar um fator de conversão para que os dados da imagem fossem transformados para graus Celsius.

Fator de conversão:

$$PgC = (B1*0.02) - 273$$

Onde, PgC é o valor do pixel em graus Celsius e B1 é o valor original do pixel em graus Kelvin.

Os dados de precipitação (TMPA) foram extraídos em virtude das coordenadas

das observações in situ, com isso foram utilizados para preencher as lacunas existentes entre os dados diários das estações meteorológicas.

Outro ponto a se destacar é que tanto os dados LST quanto os de precipitação apresentam composições diferentes ao do dado EVI, considerando que para realizar uma correlação entre ambos é necessário que todos apresentem composições iguais, com isso foram convertidos as composições de 8 dias do LST e diária da precipitação para 16 dias cada, tais processos foram realizados a partir da extração das médias dos pontos médios de cada mês anual dos dados de precipitação e da somatória das temperaturas médias mensais dos dados LST. Após isso estes, juntamente com os dados EVI foram subdivididos entre biomas (Caatinga /Cerrado).

A partir destes dados devidamente ajustados, foram realizadas as análises estatísticas, onde se obteve os valores médios de todos os pontos, o mínimo, o máximo, primeiro quartil e o terceiro quartil, por bioma e classes de vegetação natural e pastagem.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

A seguir são demonstradas as figuras com os resultados e suas respectivas análises.

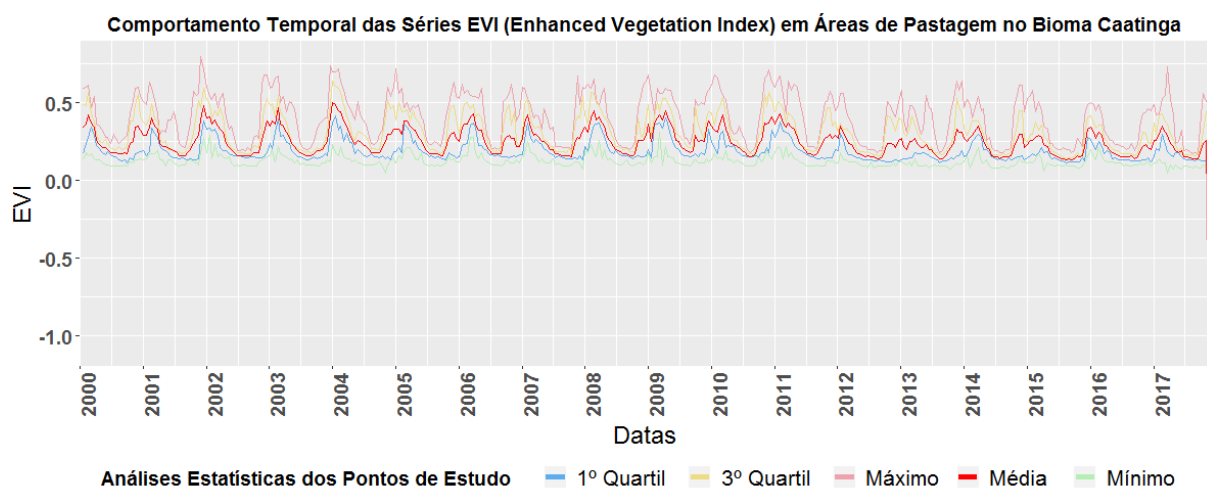


Figura 2 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Índice de Vegetação em pontos de pastagem na Caatinga.

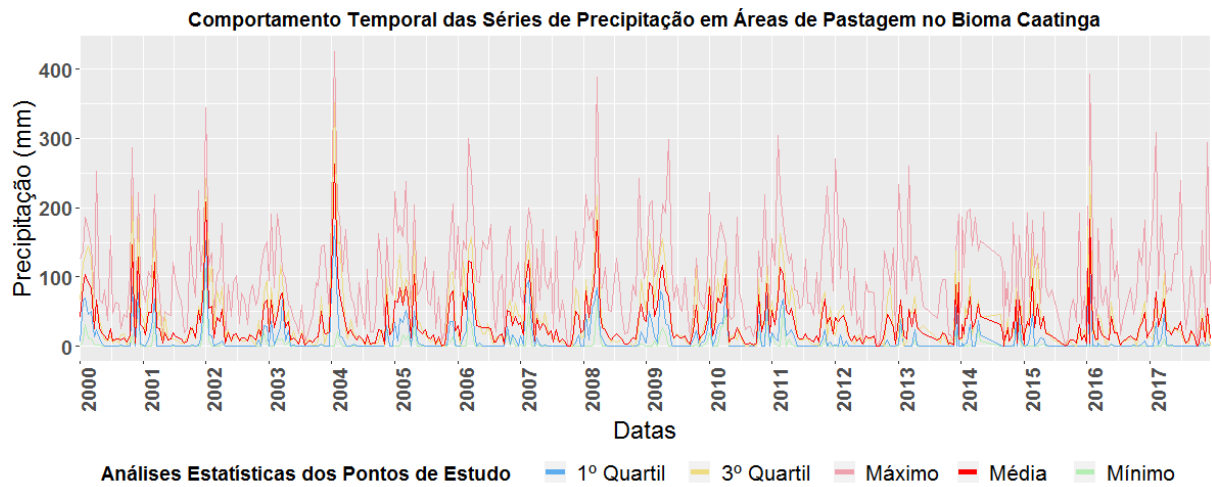


Figura 3 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Precipitação em pontos de pastagem na Caatinga.

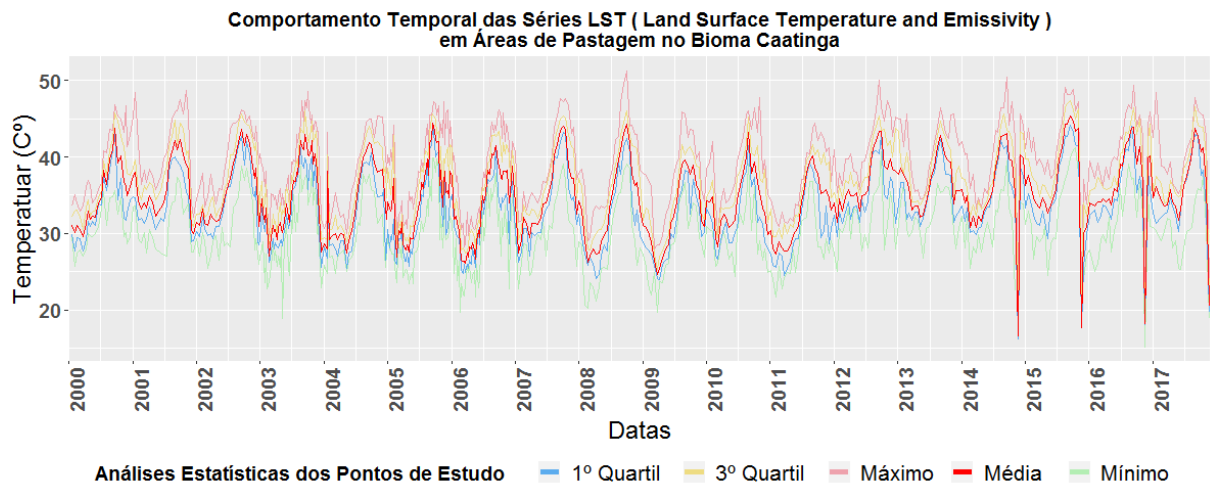


Figura 4 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Temperatura de Superfície em pontos de pastagem na Caatinga.

Conforme especificado nos materiais e métodos depois de realizada os processos de adequação dos dados LST e Precipitação para os acumulativos de 16 dias, foram realizadas as estatísticas descritivas para cada ponto. Pode se observar que os dados EVI, LST e de Precipitação referentes a pastagem no Bioma Caatinga nas figuras 2 a 4 apresentam médias variáveis e incomuns, foi observado que os níveis médios de chuvas desde o ano de 2000 até 2017 tenderam a oscilar, tendo picos máximos nos meses de 2002, 2004, 2008 e 2016, enquanto os valores de EVI sofreram uma queda em suas médias anuais variando no ano 2000 de 0,4 a 0,2 em 2017. Os pontos de súbitos picos elevados de temperatura de superfície aconteceram em meados de janeiro de 2002, março de 2004, março de 2008 e janeiro de 2016.

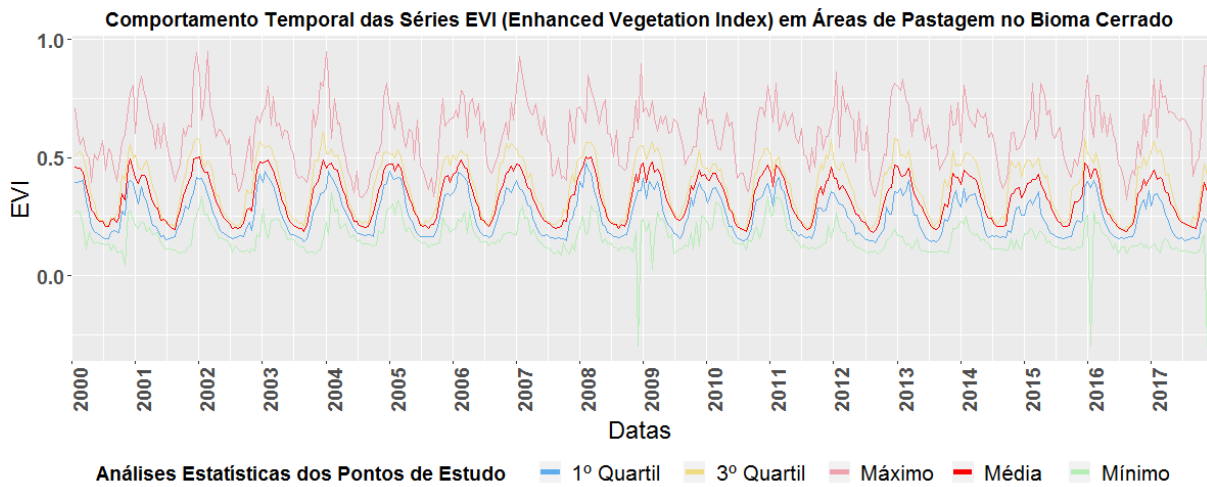


Figura 5 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Índice de Vegetação em pontos de pastagem no Cerrado.

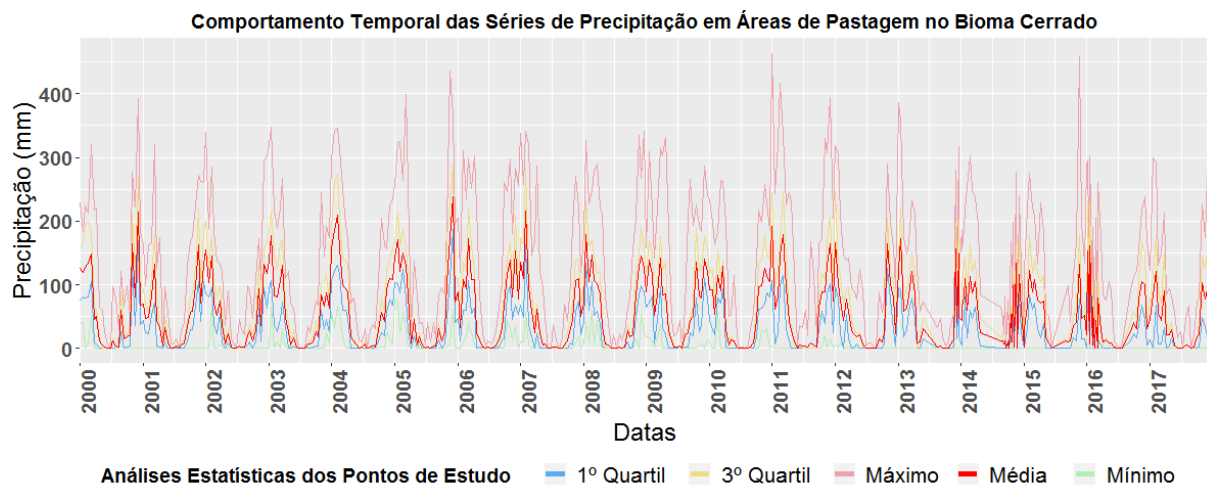


Figura 6 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Precipitação em pontos de pastagem no Cerrado.

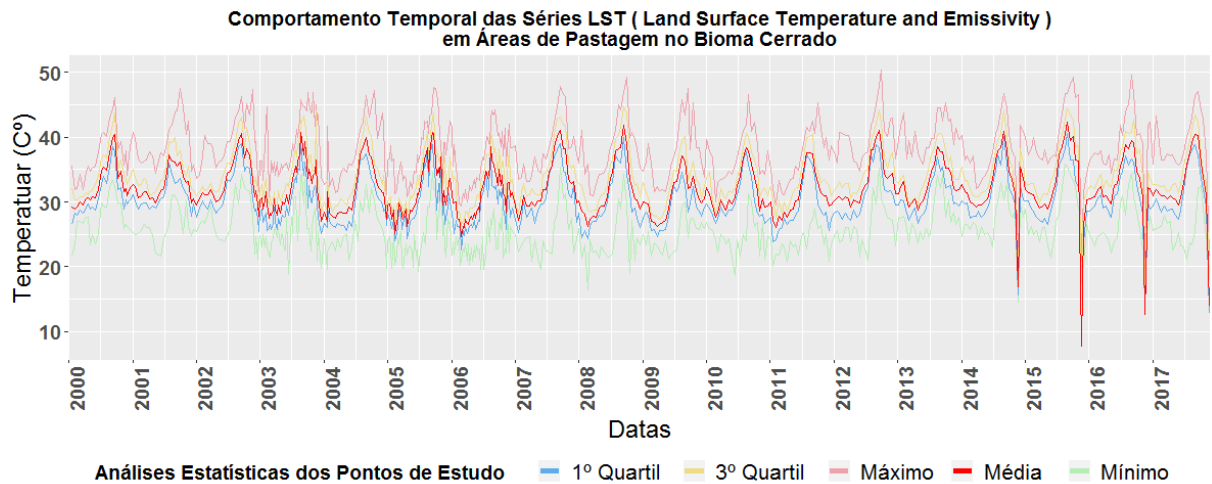


Figura 7 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Temperatura de Superfície em pontos de pastagem no Cerrado.

Nos pontos de pastagem no Bioma Cerrado teve diferentes estágios nas médias das respostas da vegetação em áreas conforme a figura 5 se manteve oscilando, porém em estágios baixos, suas médias se manteve em um padrão de 0,5 em períodos chuvosos e de 0,2 em períodos de estiagem, na figura 6 suas temperaturas médias sofreram pontos de grande queda nos anos de 2015 a 2017, provavelmente ocasionadas por algum desequilíbrio climatológico. A precipitação teve diminuições ao longo dos anos, tendo picos médios máximo de 100 mm em 2017.

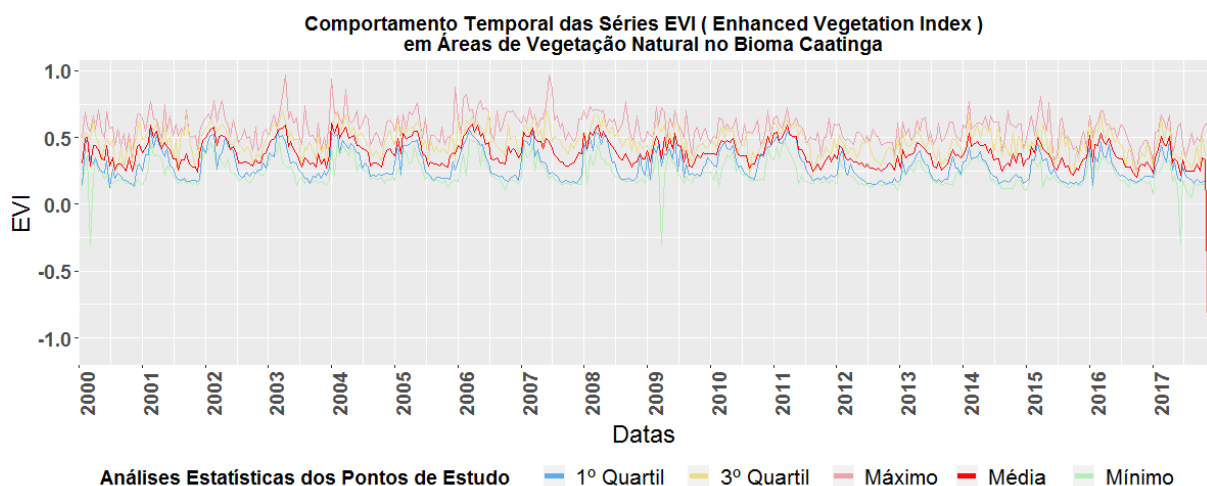


Figura 8 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Índice de Vegetação em pontos de vegetação natural na Caatinga.

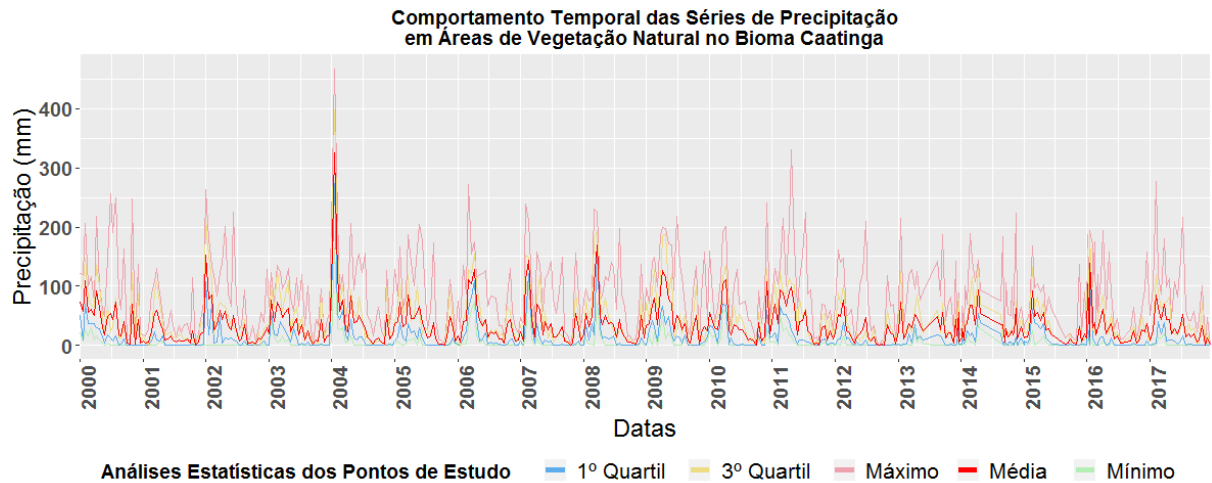


Figura 9 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Precipitação em pontos de vegetação natural na Caatinga.

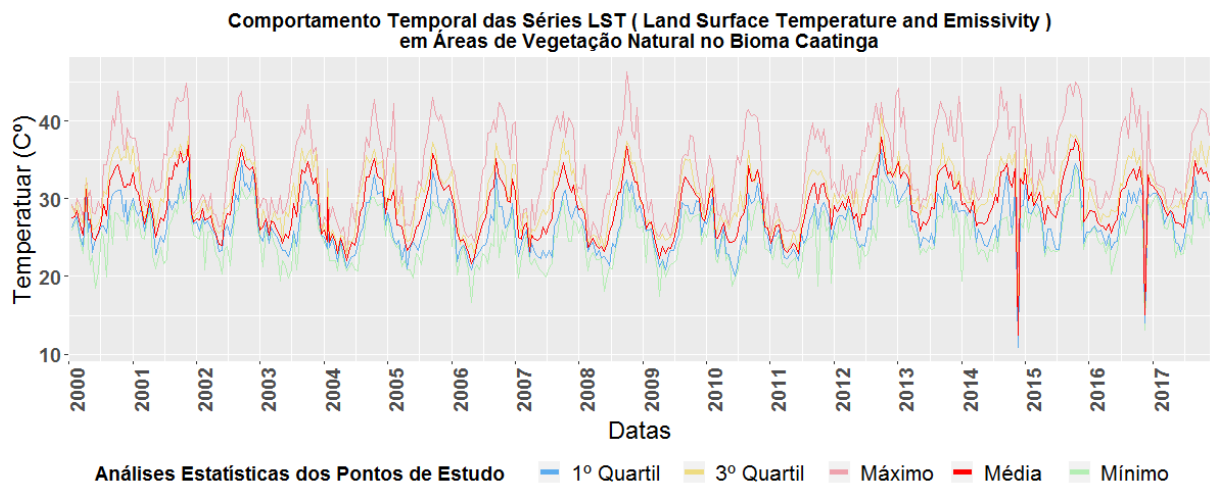


Figura 10 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Temperatura de Superfície em pontos de vegetação natural na Caatinga.

Nos pontos de vegetação natural no Bioma Caatinga das figuras 8 a 10 observou que os índices EVI tiveram um aumento significativos e oscilações durante os meses de estiagem, suas temperaturas teve picos altos em seus pontos máximos referentes aos meses de verão e também um bruta queda nos anos de 2015 e 2017, por outro lado seus

níveis de chuva tenderam a diminuir durante 2001 e 2002 estágio se seca, enquanto nos demais anos teve variações significativas e vislumbrando uma certa melhora no ano de 2012.

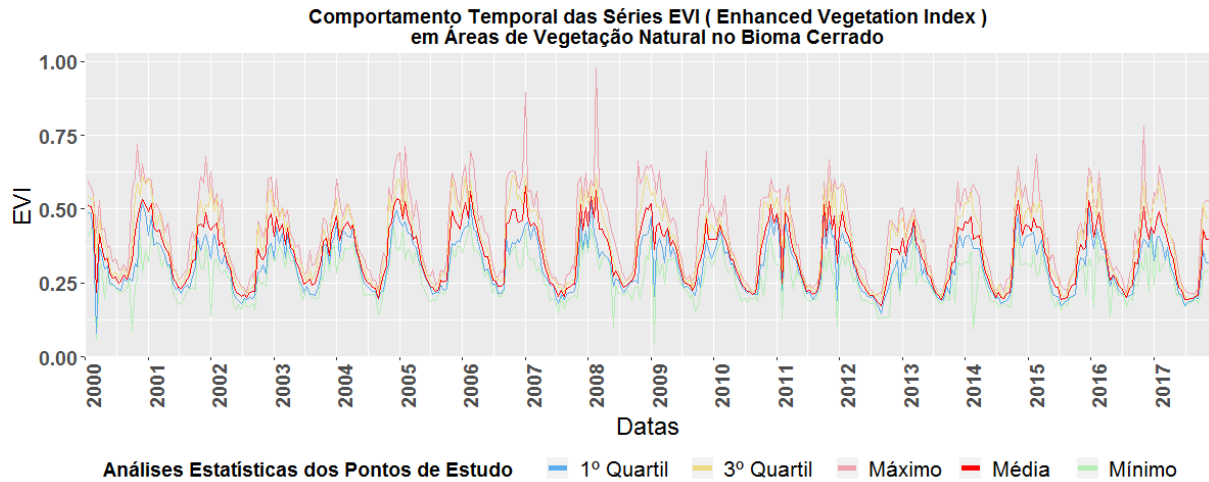


Figura 11 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Índice de Vegetação em pontos de vegetação natural no Cerrado.

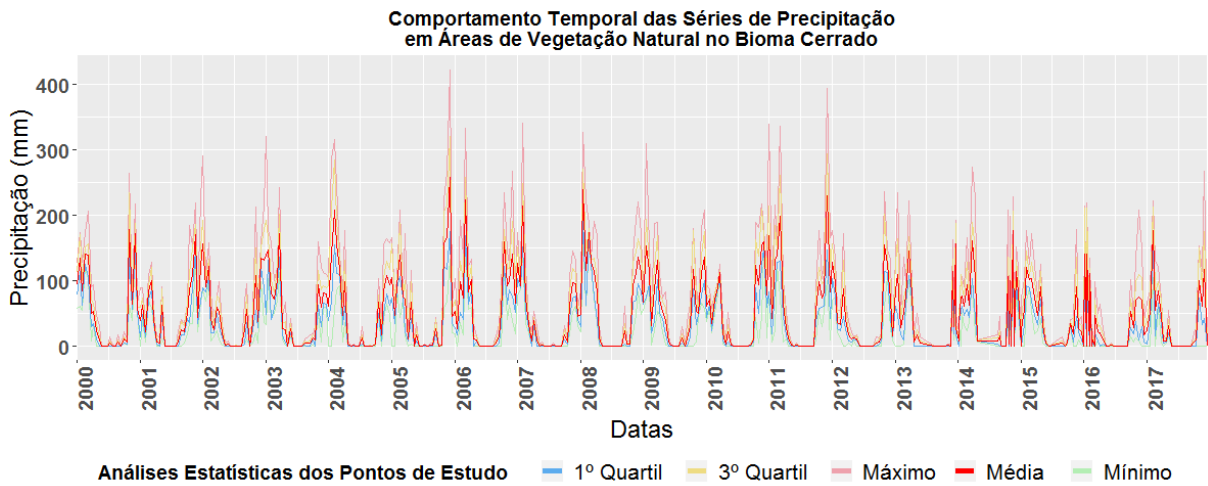


Figura 12 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Precipitação em pontos de vegetação natural no Cerrado.

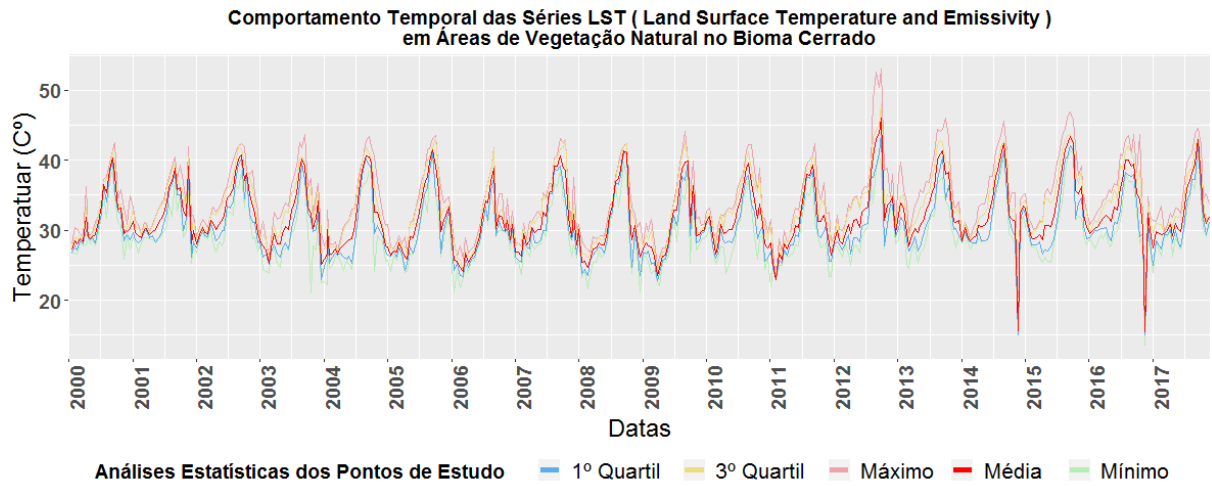


Figura 13 – Gráfico de comportamento sazonal dos dados de Temperatura de Superfície em pontos de vegetação natural no Cerrado.

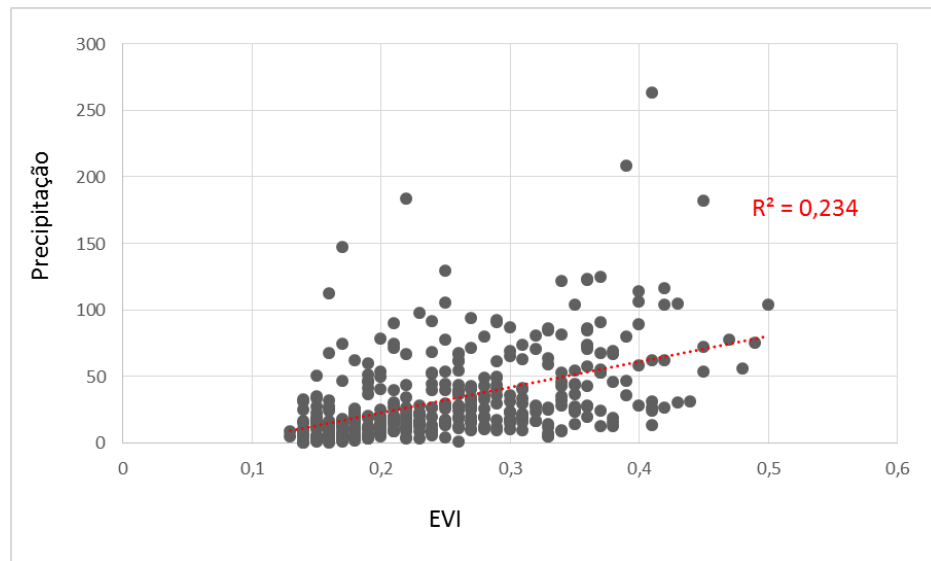


Figura 14 – Gráfico de dispersão entre os dados EVI e precipitação, áreas de pastagem no bioma Caatinga.

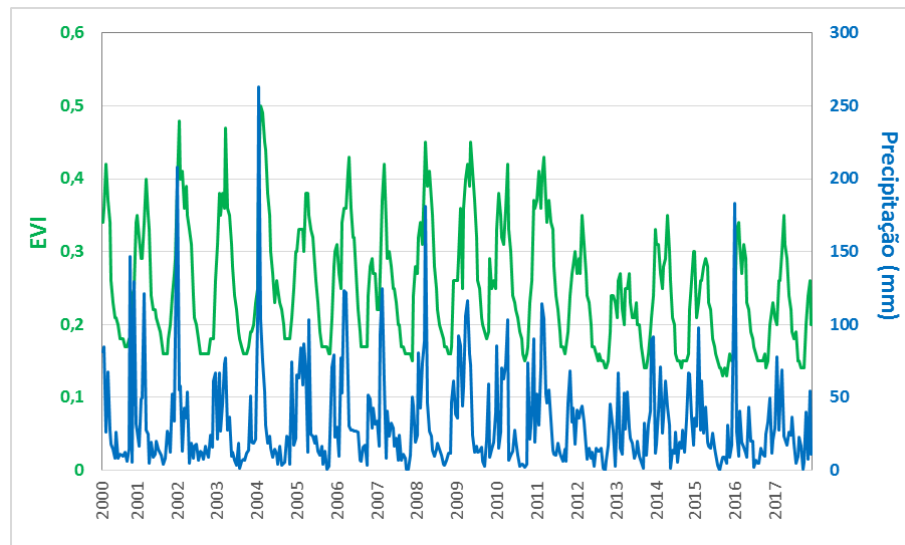


Figura 15 – Gráfico de relação temporal entre os dados EVI e precipitação, áreas de pastagem no bioma Caatinga.

6 CONCLUSÕES

Os dados mostraram que os índices EVI não acompanham de forma linear e correlativa as variações de chuva nas áreas de pastagem e vegetação natural no bioma Caatinga, mesmo apresentando períodos de estiagem baixos após o ano de 2012, os índices vegetativos não teve aumento nestes estágios. No bioma Cerrado por sua vez os dados mostraram estabelecer uma baixa correlação entre as variáveis em estudo (EVI, LST, Precipitação). Concluiu-se então que os dados pré -estabelecidos para as análises estatísticas foram parcialmente satisfatórios, entendo que ainda restam análises a serem feitas para melhor compreender os diagnósticos de degradação nestas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVA, M. G. de B.; ISERNHAGEN, I.; MENDONÇA, A. H. de; DURIGAN, G. Comparação de técnicas para restauração da vegetação lenhosa de Cerrado em pastagens abandonadas. **Hoehnea**, v. 43, n. 2, p. 301–315, 2016.

COLE, M.N. 1960. Cerrado, Caatinga and Pantanal, the distribution and origin of the savanna vegetation of Brasil. **J. Geogr.**, N.Y. 126:168-179, 1960.

Costa, T. C. C.; Oliveira, M. A. J.; Accioly, L. J. O.; Silva, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 13, (Suplemento), p.961-974. 2009.

DIOUF, A.; LAMBIN, E. F. Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. **Journal of Arid Environments**, v. 48, n. 2, p. 129–148, 2001.

D’ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K. F.; RAVI, S.; RUNYAN, C. W. Global desertification: Drivers and feedbacks. **Advances in Water Resources**, v. 51, p. 326–344, 2013.

FRAZIER, A. E.; RENSCHLER, C. S.; MILES, S. B. Evaluating post-disaster ecosystem resilience using MODIS GPP data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, n. 1, p. 43–52, 2012.

Gaitán, J. J.; Bran D.; Oliva G.; , Ciari G.; Nakamatsu, V.; Salomone, D.; Ferrante, D.; Buono, G.; Massara V.; Humano G. Evaluating the Performance of Multiple Remote Sensing Indices to Predict the Spatial Variability of Ecosystem Structure and Functioning in Patagonian Steppes. **Ecological Indicators**, v. 34, p. 181–191, 2013.

HIROTA, M.; HOLMGREN, M.; VAN NES, E. H.; SCHEFFER, M. Global Resilience of Tropical Forest and Savanna to critical transitions. **Science**, v. 334, n. October, p. 232–235, 2011.

HMIMINA, G.; DUFRENE, E.; PONTAILLER, J. Y.; DELPIERRE, N.; AUBINET, M.; CAQUET, B.; RANDCOURT, A.; BURBAN, B.; FLECHARD, C.; GRANIER, A.; GROSS, P.; HEINESCH, B.; LONGDOZ, B.; MOUREAUX, C.; OURCIVAL, J. M.; RAMBAL, S.; SAINT ANDRE, L.; SOUDANI, K. Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: An investigation using ground-based NDVI measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 132, p. 145-158, 2013.

Leal, I. R.; Silva, J. M.; Tabarelli, M.; Lacher Jr.; T. E. Mudando o curso da conservação da



biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. In: Conservação internacional do Brasil (ed.). **Megadiversidade**, v.1, p.139-146, 2005.

PRINCE, S. D.; BROWN DE COLSTOUN, E.; KRAVITZ, L. L. Evidence from rain-use efficiencies does not indicate extensive Sahelian desertification. **Global Change Biology**, v. 4, n. 4, p. 359–374, 1998.

MYERS, J. G. Savannah and forest vegetation of the interior Guiana plateau. **J. Ecol.**, 24, p. 84-162, 1936.

D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K. F.; RAVI, S.; RUNYAN, C. W. Global desertification: Drivers and feedbacks. **Advances in Water Resources**, v. 51, p. 326–344, 2013.

WESTMAN, W. E.; O'LEARY, J. F. Measures of resilience: the response of coastal sage scrub to fire. **Vegetatio**, v. 65, n. 3, p. 179–189, 1986.

ZHANG, X.; FRIEDL, M. A.; SCHAAF, C. B. Global vegetation phenology from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Evaluation of global patterns and comparison with in situ measurements. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 111, n. 4, p. 1–14, 2006.