



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja

Layara Campelo dos Reis¹; Cláudio Moisés Santos e Silva²; Bergson Guedes Bezerra³; Maria Helena Constantino Spyrides⁴

¹ Professora Mestre do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Campus Floriano, Rua Francisco Urquiza Machado, 462, Campo Velho, 64808-475, Floriano, PI, Brasil e Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Campus Universitário Lagoa Nova, 59078-970, Natal, RN, Brasil, layaracampelo@ifpi.edu.br (autor correspondente). ² Professor Doutor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas, Campus Universitário Lagoa Nova, 59078-970, Natal, RN, Brasil, claudiomoises@ccet.ufbr.br. ³ Professor Doutor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas, Campus Universitário Lagoa Nova, 59078-970, Natal, RN, Brasil; bergson.bezerra@gmail.com. ⁴ Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Campus Universitário Lagoa Nova, 59078-970, Natal, RN, Brasil; spyrides@ccet.ufbr.br.

Artigo recebido em 11/12/2019 e aceito em 04/05/2020

RESUMO

A análise sobre a variabilidade dos padrões climatológicos espaciais e temporais das chuvas fornecem informações valiosas para a condução de cultivos agrícolas, principalmente em condições de sequeiro. Assim, o presente estudo objetivou caracterizar a variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja, sob influência das fases do ENSO e do gradiente térmico do Atlântico Tropical. Foram utilizados dados diários de precipitação do período de 1980-2013 dispostos em uma grade de espaçamento de 0,25° x 0,25°, abrangendo 963 pontos sobre a região. O acumulado mensal da precipitação foi especializado por meio de sistemas geográficos de informação e da geoestatística. A variabilidade da precipitação foi analisada por meio da aplicação do teste de Mann-Kendall, considerando três cenários de condições meteorológicas (climatologia, favorável-wet e desfavorável-dry) à ocorrência da precipitação. Os volumes de chuvas foram relativamente maiores no cenário da fase fria do ENSO combinado com o gradiente inter-hemisférico apontando para o Sul (favorável-wet), em contrapartida, verificou-se um aumento de condições de risco hídrico nos anos com ocorrência da fase quente do ENSO e o gradiente apontando para o Norte (desfavorável-dry), embora com exceções registradas em algumas áreas no mês de Janeiro e Fevereiro. Tendências positivas e negativas foram identificadas, constatando indícios de alterações nos padrões da variável, previamente para os cenários da climatologia e desfavorável (dry). Os resultados poderão contribuir para o desenvolvimento de soluções e direcionamento na tomada de decisões pelos agentes da cadeia produtiva que visem a mitigação de impactos em decorrência da variabilidade da precipitação na região estudada.

Palavras-chave: Variabilidade climática; ENSO; Agrometeorologia

Characterization of rainfall variability in the MATOPIBA, soybean producing region

Abstract

The analysis of spatial and temporal rainfall patterns variability provides invaluable information for the development of dryland agriculture systems. Therefore, the aim of the present study was to characterize the variability of rainfall in the MATOPIBA, an important soybean producing region, under the influence of ENSO phases and the tropical Atlantic thermal gradient. We used daily rainfall data for the period from 1980-2013 arranged in a 0.25° x 0.25° spacing grid, comprising 963 points over the study region. Monthly accumulated rainfall has been specialized through geographic information systems and geostatistics. Variability rainfall was analyzed by applying the Mann-Kendall test, considering three scenarios of meteorological conditions (climatology, favorable-wet and unfavorable-dry) to the occurrence of

precipitation. Rainfall volumes were relatively higher in the ENSO cold phase scenario combined with the southward-favorable interhemispheric gradient. ENSO and the gradient pointing north (unfavorable-dry), although with exceptions recorded in some areas in January and February. Positive and negative trends were identified, showing evidence of changes in the variable's patterns, previously for the climatology and unfavorable (dry) scenarios. The results may contribute to the development of solutions and decision making direction by the agents of the productive chain aiming at mitigating impacts due to the variability of precipitation in the studied region.

Keywords: Climate variability; ENSO; Agrometeorology

Introdução

A crescente demanda mundial por alimentos impulsionou o mercado da produção agrícola. Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2016) as projeções para 2025 indicam que o número de desnutridos deverá sofrer uma redução em torno de 17% e o aumento na renda per capita dos países em desenvolvimento influenciará nos hábitos alimentares, com incremento na demanda por calorias e proteínas. Nesse contexto, o Brasil se destaca como um importante produtor mundial de alimentos dado o seu elevado potencial de expansão das áreas agricultáveis. Porém, esse avanço deverá ser monitorado em decorrência das questões ambientais e da preservação da vegetação nativa (Saath e Fachinello, 2018), visto que, parcela das variações sazonais nos elementos meteorológicos, em virtude das mudanças na composição atmosférica, tem como causa o desmatamento, indicados nos estudos de Butt et al., (2011); Costa e Pires, (2010); Fu et al., (2013); Pires, et al., (2016). Além disso, a produção de alimentos enfrentará outros desafios, como o uso eficiente de insumos e métodos sustentáveis para adaptação das culturas às mudanças climáticas (Sentelhas et al. 2015; St-Marseille et al., 2019).

No Brasil a soja (*Glycine max l. Merrill*) é um produto de importância econômica e social, considerada uma importante agricultural commodity (Balbinot Júnior et al. 2017, Taherzadeh e Caro, 2019), sustentada por diferentes segmentos, como fabricação de óleos comestíveis, bebidas à base de soja, ração animal, produção de carnes, biocombustíveis dentre outros (Rigo et al. 2015; Castanheira et al. 2015). Dessa forma, a elevação da produtividade tem um papel primordial no suporte às demandas de consumo, favorecido principalmente pelo melhoramento genético, melhoria em práticas de manejo do solo e monitoramento das condições climáticas.

O Brasil destaca-se no mercado mundial de soja, alcançando a segunda posição mundial em produção e exportação, respondendo por 32,4% da produção mundial, com quase 115 milhões de toneladas, ocupando uma área de 35,8 Mha na safra de 2018/19, segundo a Companhia Nacional de

Abastecimento (CONAB, 2019). Diante desse quadro de expansão, destaca-se a região que abrange parte dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MATOPIBA), considerada atualmente como a principal fronteira para novos investimentos do agronegócio no Brasil (Anderson et al., 2016; Spera et al., 2016; Araújo et al., 2019). A área total de soja colhida no MATOPIBA passou de 0,8 Mha em 1999 para 4,1 Mha em 2018 (IBGE, 2018). No ano-safra de 2018/19 a região representou cerca de 11% da produção nacional de grãos de soja, correspondendo a 13,3 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

Contudo, o aumento da produtividade de soja está sujeito a riscos associados às variações do clima e neste sentido pesquisas indicam que as projeções climáticas apontam para impactos na produtividade bem como para uma nova geografia da sua produção (Bhatia, 2008; Assad, 2007; Rodrigues et al. 2012; Pinto e Assad, 2008). O impacto na produtividade poderá ser acentuado quando fenômenos atmosférico-oceânicos, associados às variações do clima são considerados, tornando fatores de limitação para altos rendimentos (da Rocha et al., 2014; Erasmi et al., 2014; Nória Júnior e Sentelhas, 2019), nitidamente pelo aumento da temperatura do ar e alternados quadros de regimes de precipitação que afetam o desenvolvimento da cultura.

Assim, sob perspectiva da influência da variabilidade climática na produção de soja, estudos apontam que o El Niño-Oscilação Sul (ENSO) é o fenômeno de grande escala mais investigado, visto que a alternância das fases quente (El Niño) e fria (La Niña) deslocam os ramos ascendentes e subsidentes da circulação de Walker e tem influência direta no regime hídrico e térmico (Kayano e Andreoli, 2007), responsáveis por grandes perdas na produtividade agrícola em diversas regiões do mundo (Farooq et al., 2009; Carleton e Hsiang, 2016; Liang et al., 2017). No Brasil as áreas mais afetadas pelo ENSO são: leste da Amazônia (faixa tropical), norte da região Nordeste e faixa extratropical da região Sul. Em geral, na região Norte e Nordeste tem-se a ocorrência de secas (fase quente) e na sua fase fria

o aumento do regime pluvial (Ferreira e Rao, 2011; Penalba e Rivera, 2016; Moura et al., 2019).

Além disso, as variações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico tropical modulam a migração norte-sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que também desempenham um papel importante na ocorrência de precipitação (Souza et al., 2005; Tedeschi et al. 2016; Timmermann et al. 2018). Estudos mostram que o fenômeno ENSO e a variabilidade das temperaturas do Atlântico Tropical afetam de forma direta às atividades agrícolas (Berlato e Fontana, 2003; Gelcer et al., 2013; Gelcer et al., 2018; Ramirez-Rodrigues et al., 2012; Woli et al., 2015) visto às modificações que provocam nas condições meteorológicas, resultando principalmente nas variações dos índices de precipitação.

Os principais fatores ambientais para a adequação do cultivo da soja estão associados à precipitação, à disponibilidade de radiação solar, à temperatura do ar e às interações genótipo-ambiente (Hu e Wiatrak, 2012; Pierozan Junior et al., 2017) que exercem uma relação direta com o sucesso da produtividade. A cultura possui uma alta vulnerabilidade, em grande parte condicionada pela sua sensibilidade fenológica às situações de disponibilidade hídrica ao longo do seu ciclo, em relação ao déficit (Berlato e Fontana, 2003; Sentelhas et al., 2015) ou ao excesso hídrico (Del Ponte e Esker, 2008; Schöffel et al., 2001; Sentelhas e Battisti, 2015). De acordo com Sentelhas et al. (2015) o déficit hídrico é o principal fator limitante da produtividade da soja no Brasil, ocasionando, em média, uma perda de 1.373, em torno de 543 kg/ha. Por outro lado, o excesso hídrico, associado a intensas chuvas, afeta tanto a produtividade, por propiciar o surgimento de doenças, assim como queda abundante de flores e legumes no estágio reprodutivo, como a qualidade dos grãos no período de colheita (Sentelhas e Battisti, 2015).

No entanto, as regiões tropicais são extremamente vulneráveis às condições de seca, e as projeções climáticas, até o final do século, indicam uma maior frequência e intensidade em áreas com sérias condições de déficit hídrico (aridez), que pode ser agravada com a redução nos índices pluviométricos (Li et al., 2013; IPCC, 2014; Marengo e Bernasconi, 2015; Marengo et al., 2018). A precipitação é crítica para o desenvolvimento da cultura de soja, principalmente cultivadas em condições de sequeiro (da Silva et al., 2009; Sentelhas et al., 2018), e a seca pode ser

devastadora para a lavoura, sendo potencializada pela combinação da baixa pluviosidade (seca meteorológica) com dias mais quentes, que consequentemente afetará a umidade do solo, pelo aumento da evapotranspiração da cultura (Zhu e Troy, 2018).

Nesse contexto, há uma clara necessidade de se analisar os padrões espaciais e temporais da climatologia das chuvas, principalmente quando realizada em regiões que o cultivo da soja é conduzido por um sistema de sequeiro, altamente dependente das condições climáticas e espacialmente do regime pluvial. São incipientes os estudos climatológicos no MATOPIBA, porém, são escassos estudos que visem analisar o papel de diferentes condições atmosféricas de grande escala na variabilidade da precipitação, notadamente o papel da variabilidade climática do Atlântico e do Pacífico de forma conjunta, permitindo uma melhor compreensão de como esses mecanismos modulam a ocorrência das chuvas. Quando combinados, os resultados fornecem informações valiosas sobre os padrões atuais e futuros da precipitação em diferentes escalas (Mutti et al., 2019)

O presente estudo parte da premissa de que, a quantidade e a distribuição das chuvas, na região MATOPIBA, sofre variações em virtude de diferentes cenários meteorológicos associados a mecanismos de grande escala, assim como alterações indicadas nas projeções de mudanças climáticas. Dessa forma, mesmo que a cultura da soja esteja adaptada às condições climáticas da área de estudo, a mesma poderá sofrer efeitos, em virtude dessas variações.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo caracterizar a variabilidade espacial e temporal da precipitação no MATOPIBA, sob influência das fases do ENSO e do gradiente térmico do Atlântico Tropical. Com isso, produzir informações valiosas para o direcionamento de estratégias de gestão e planejamento agrícola, que minimizam os efeitos negativos das variações da precipitação sobre o cultivo da soja na região em estudo.

Material e métodos

O MATOPIBA está localizado entre a região Amazônica e o Semiárido Brasileiro, abrangendo áreas das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Sua área total engloba grande parte dos

estados do Maranhão (33%), Tocantins (38%), porção sudoeste do Piauí (11%) e noroeste da Bahia (18%), com total de quase 74 milhões de ha (Miranda et al., 2014; Salvador e Brito, 2017) (Figura 1).

O clima do MATOPIBA é tropical úmido com inverno seco (*Aw*), de acordo com a classificação de Köppen, com temperaturas médias mensais que variam de 25 a 27°C em todos os meses do ano, e precipitação média anual entre 800 a 2.000 mm, distribuída em duas estações bem definidas: a estação seca, que estende de Maio a Setembro, e a estação chuvosa, de Outubro a Abril (Alvares et al., 2014). A vegetação predominante na região é o bioma Cerrado, compreendendo 91% da área. Além disso, a região abrange áreas de remanescentes da Amazônia (7,0%) e áreas da Caatinga (~2,0%). O solo predominante na região engloba a classe do Latossolo (L), mais precisamente os Latossolos Amarelos, no qual foram preferencialmente ocupados para o cultivo de soja. Associados aos Latossolos observa-se pequenas frações de Neossolos (Quartzarênico e

Litólico) e Plitossolos (Magalhães e Miranda, 2014).

Os dados meteorológicos utilizados nesse estudo constam dos valores diários de precipitação (mm) referente ao período de 1980 a 2013 extraídos da base de Xavier et al. (2015), disponibilizados numa grade com espaçamento horizontal de 0,25° x 0,25° que abrangem todo o território brasileiro, porém, nesse estudo utilizou-se um recorte sobre a região do MATOPIBA, englobando 963 pontos (Figura 1).

O conjunto de dados da base de Xavier et al. (2015) foi produzido por meio de um projeto entre a Universidade do Texas (EUA) em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo (Brasil). O conjunto de dados é extremamente confiável, visto que foi interpolado, por meio de métodos estatísticos adequados e validados e utilizou-se fontes monitoradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE). Os dados foram obtidos através do site: <https://utexas.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>.

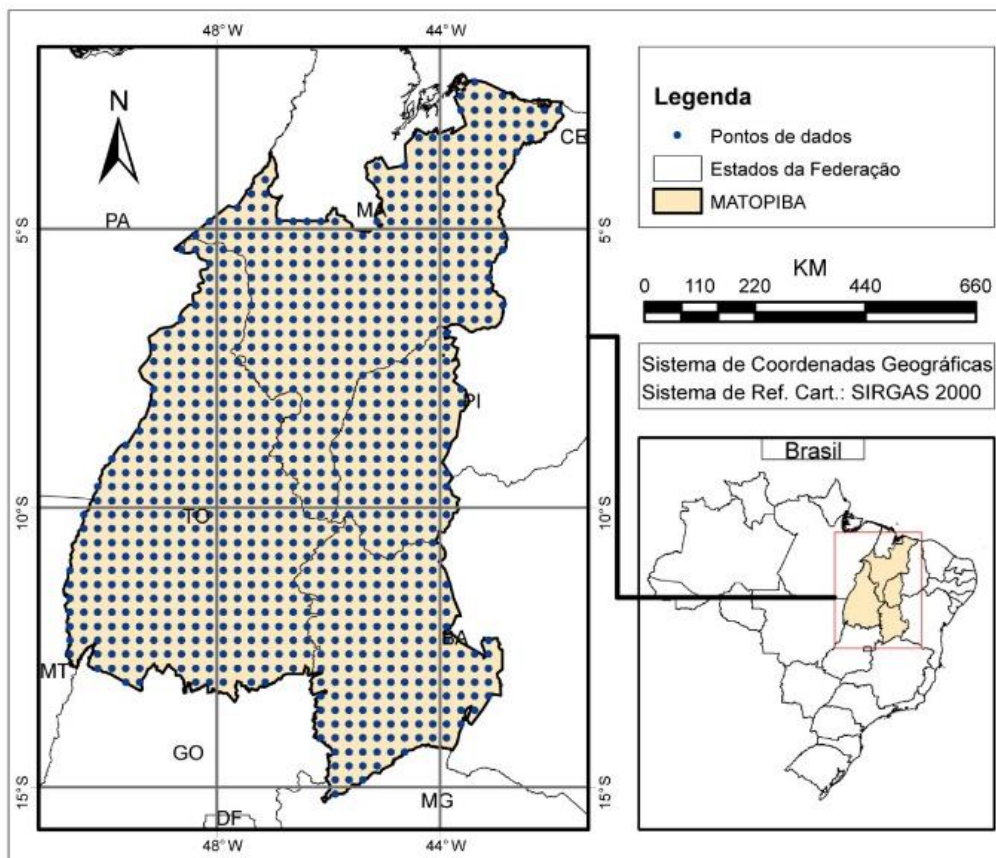


Figura 1. Localização do MATOPIBA em relação ao Brasil (Figura menor, canto inferior direito) e distribuição espacial dos pontos de dados referentes às variáveis meteorológicas (Figura maior, lado esquerdo).

O conjunto de dados de Xavier et al. (2015) destacou-se anteriormente quando utilizado na simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade da soja no Brasil, limitado pela disponibilidade de água (rendimento em condições de sequeiro), como mostra o estudo de Battisti e Sentelhas (2019) e validado como apresentado no estudo de Battisti et al. (2018).

A caracterização dos padrões de precipitação foi definida para três cenários com condições de clima/tempo designados: i) climatologia, ii) favorável (wet) e iii) desfavorável (dry). O cenário climatologia engloba as médias climatológicas da variável precipitação referente ao período de 1980 a 2013. Os cenários favorável e desfavorável foram produzidos tendo como base a ocorrência das fases do El Niño-Oscilação Sul (ENSO) combinado com o gradiente inter-hemisférico do Atlântico de modo a favorecer ou desfavorecer a precipitação na região Norte e Nordeste do Brasil, conforme definido Mutti et al., (2019). Assim, um ano favorável (wet) é definido se, ao mesmo tempo, forem observados a ocorrência conjunta da fase fria (positivo) (La Niña) do ENSO e o gradiente inter-hemisférico apontando para o Atlântico Sul (negativo). Por outro lado, um cenário desfavorável (dry) ocorre na presença conjunta da fase quente (negativo) (El Niño) com o gradiente apontando para Norte (positivo). O acumulado mensal da precipitação foi especializado por meio de sistemas geográficos de informação (SIG) e da geoestatística (interpolação pelo método *Inverse Distance Weighted - IDW*), considerando os três cenários de condições meteorológicas (climatologia, favorável-wet e desfavorável-dry) à ocorrência da precipitação.

O teste não-paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) foi utilizado para identificar tendências lineares nos valores sazonais da variável precipitação, referente aos anos de 1980 a 2013, para os três cenários de variabilidade climática. Sneyers (1975); Goossens e Berger (1986), Yu et al. (2002); Obregón Párraga (2003) relatam a eficácia do teste para identificar tendências em variáveis climáticas, assim, o teste tem sido empregado em diversos estudos no Brasil e no mundo (Blain, 2010; Minuzzi e Caramori, 2011; Karmeshu, 2012; Pinheiro et al., 2013; Wu e Qian, 2017; da Silva et al., 2015; Lacerda et al., 2015; de Oliveira et al., 2017; dos Reis, et al. 2017; Bezerra et al., 2018; da Silva et al., 2019a; Mutti et al., 2019).

O método consiste em rejeitar ou não a hipótese nula H_0 - inexistência de tendências nas séries de dados, em um dado nível de significância.

Considerando uma série temporal de dados x_i , os valores são inicialmente comparados em ordem sequencial em relação à diferença entre o valor subsequente e o anterior. Quando essa diferença é positiva, o valor 1 é atribuído à variável sinal, quando o resultado é negativo o valor -1 é atribuído à variável sinal e, se forem iguais é atribuído 0 à variável sinal. Posteriormente, é calculada a soma (S) de todos os resultados da série, onde x_i e x_j são os valores da série (mensal e anual) nos períodos i e j , respectivamente.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (1)$$

onde o sinal (sgn) dado por:

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1, & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0, & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1, & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

onde para cada valor de i e j , temos $i > j$ e $i \leq n$. Para séries com um grande número de termos (n), S é normalmente distribuído com a variação calculada através da seguinte equação:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (3)$$

onde n é o número de valores em cada série, t_p é a quantidade de valores em cada um desses grupos e q corresponde ao número de grupos com valores replicados. Assim, para a verificação de tendências nos dados, calcula-se a variável padronizada (Z), dada por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Resultados e Discussão

Variabilidade espaço-temporal da precipitação

A Figura 2 mostra a espacialização da precipitação mensal no MATOPIBA para o período de 1980 a 2013, considerando as condições padrões da climatologia. A estação chuvosa tem início no mês de outubro com acumulado médio de 87mm. Na porção norte registra-se os menores regimes de chuva, com valores inferiores a 25 mm, na parte centro-sul da região a precipitação varia entre 30 a 150 mm, sendo que os menores valores atingem as regiões sul do Maranhão, sudoeste do Piauí e a parcela oeste da Bahia. Os maiores volumes de chuvas apresentam na faixa oeste da região, abrangendo parte do estado do Tocantins, onde os volumes médios ultrapassam valores de 150 mm (Figura 2j).

Em novembro (Figura 2k) a média acumulada da precipitação é de 157 mm, sendo que as taxas maiores se concentram nas porções sudoeste (extremo oeste baiano) e leste (grande parte do estado do Tocantins) com média entre 150 a 270 mm. Por outro lado, os valores decrescem em direção ao norte da região, com registros entre 5 a 90 mm. A partir do mês de dezembro (Figura 2l) observa uma expansão da precipitação com valores superiores a 240 mm na porção oeste da região, porém na área norte o acumulado de precipitação não excede a 120 mm. No sul da região (extremo oeste da Bahia) a precipitação ocorre principalmente entre os meses de novembro a fevereiro, associando à ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na sua orientação sudeste-noroeste, e as trajetórias comumente observadas dos sistemas frontais (Kousky, 1979; Chaves e Cavalcanti, 2001).

Os maiores valores médios de precipitação, da quadra chuvosa, se concentram nos meses de Janeiro (Figura 2a), Fevereiro (Figura 2b) e Março (Figura 2c) com 225 mm, 206 mm e 234 mm respectivamente. Dentre os meses desse trimestre chuvoso, o mês de março apresenta a maior média acumulada, em torno de 234 mm, bem como o valor máximo total de precipitação, com 380 mm. A porção norte é a área que atinge os maiores volumes de chuvas, com precipitação acumulada em torno de 330 a 380 mm, nos meses de Março e Abril. Esse período culmina com a época do ano em que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) está mais ao Sul (Hastenrath, 1984, 2012) - deslocamento sazonal da temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico Tropical. No mês de Abril (Figura 2d) observa-se um decréscimo no acumulado mensal da precipitação, registrando aproximadamente uma média de 150 mm, correspondendo o final do período chuvoso em uma maior parte da região. Nesse mês os menores valores registrados situam-se na porção centro-sul do MATOPIBA, enquanto que na parte norte da região são atribuídos os maiores índices pluviométricos, demonstrando o aumento na intensidade dos regimes pluviais nessa área. Os meses de Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro (Figura 2e a 2i) integram a estação seca da região MATOPIBA, porém apenas no extremo norte da região (pequena área), durante o mês de Maio, registra-se volumes de chuvas entre 150 a 240mm, sendo que a maior parte da área, os volumes não ultrapassam 90 mm.

No cenário sob condições meteorológicas favoráveis (wet) para a ocorrência da precipitação (Figura 3) verificou, com relação à climatologia,

um comportamento semelhante no padrão da variável (duas estações bem definidas – seca e chuvosa), porém com valores maiores na maioria das médias acumuladas mensais, exceto em janeiro (Figura 3a) e fevereiro (Figura 3b) (212 e 202 mm, respectivamente). Todavia, durante esses meses os totais máximos são maiores no cenário wet. O maior índice acumulado durante o período chuvoso registrado neste cenário, se dar em função da melhor distribuição de chuva ao longo do período e não pela ocorrência de excessos em janeiro e fevereiro.

Constatou-se ainda, que a parte oeste da região, compreendendo áreas do estado Tocantins, a distribuição da precipitação é praticamente elevada e uniforme durante toda a estação chuvosa (Out-Abr), variando sensivelmente apenas no mês de Abril. Nesse cenário os maiores índices pluviométricos concentram-se durante o mês de Dezembro, com média acumulada de 260 mm, com maior concentração na porção centro-sul da região (Figura 3l), englobando o estado do Tocantins, sul do Maranhão e extremo oeste da Bahia. Este índice encontra-se relacionado à formação de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) como descrito nos estudos de Chaves e Cavalcanti (2001), Ferreira et al. (2004) e Grimm (2011).

período chuvoso ocorre no mês de outubro (108 mm), sendo que os menores valores agupam na parte norte da região (Figura 3j), abrangendo o norte, leste e centro maranhense. Nessa área a chuva intensifica-se a partir do mês de Janeiro (Figura 3a), apresentando maiores índices em Abril, com máximos em torno de 520 mm (Figura 3d). Este acréscimo associa-se com o período do ano em que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) está mais ao Sul, correspondendo aos meses de Fev-Mar-Abr (trimestre chuvoso nesta área). Por outro lado, verifica-se uma redução no acumulado da precipitação na porção oeste da Bahia em direção ao centro da região do MATOPIBA, atingindo menores médias em Abril, porém essa redução é menos acentuada que no cenário da climatologia.

A menor média acumulada da região no início da estação seca (Maio – Figura 3e) é marcada por índices pluviométricos que não ultrapassam 90 mm na maior parte da área, no entanto, no extremo norte da região ainda verifica-se regimes pluviais que atingem em torno de 360 mm. Neste cenário à medida que se estabelece a estação seca (Figura 3f a 3h) nota-se uma redução na frequência de índices abaixo de 5 mm, em comparação com a climatologia.

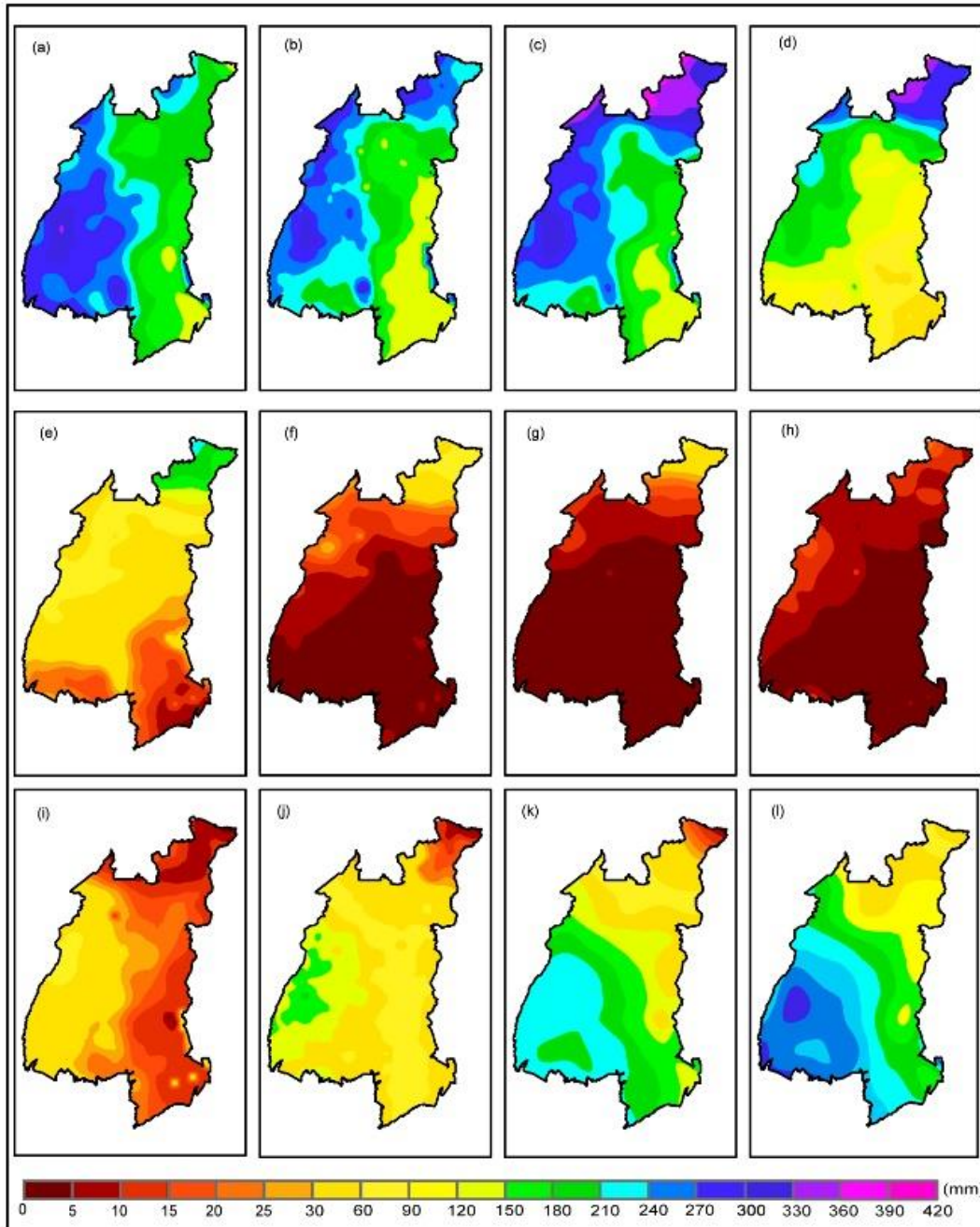


Figura 2. Acumulado mensal da precipitação na região MATOPIBA do período de 1980-2013, no cenário climatologia, (a) Janeiro, (b) Fevereiro, (c) Março, (d) Abril, (e) Maio, (f) Junho, (g) Julho, (h) Agosto (i) Setembro (j) Outubro (k) Novembro e (l) Dezembro.

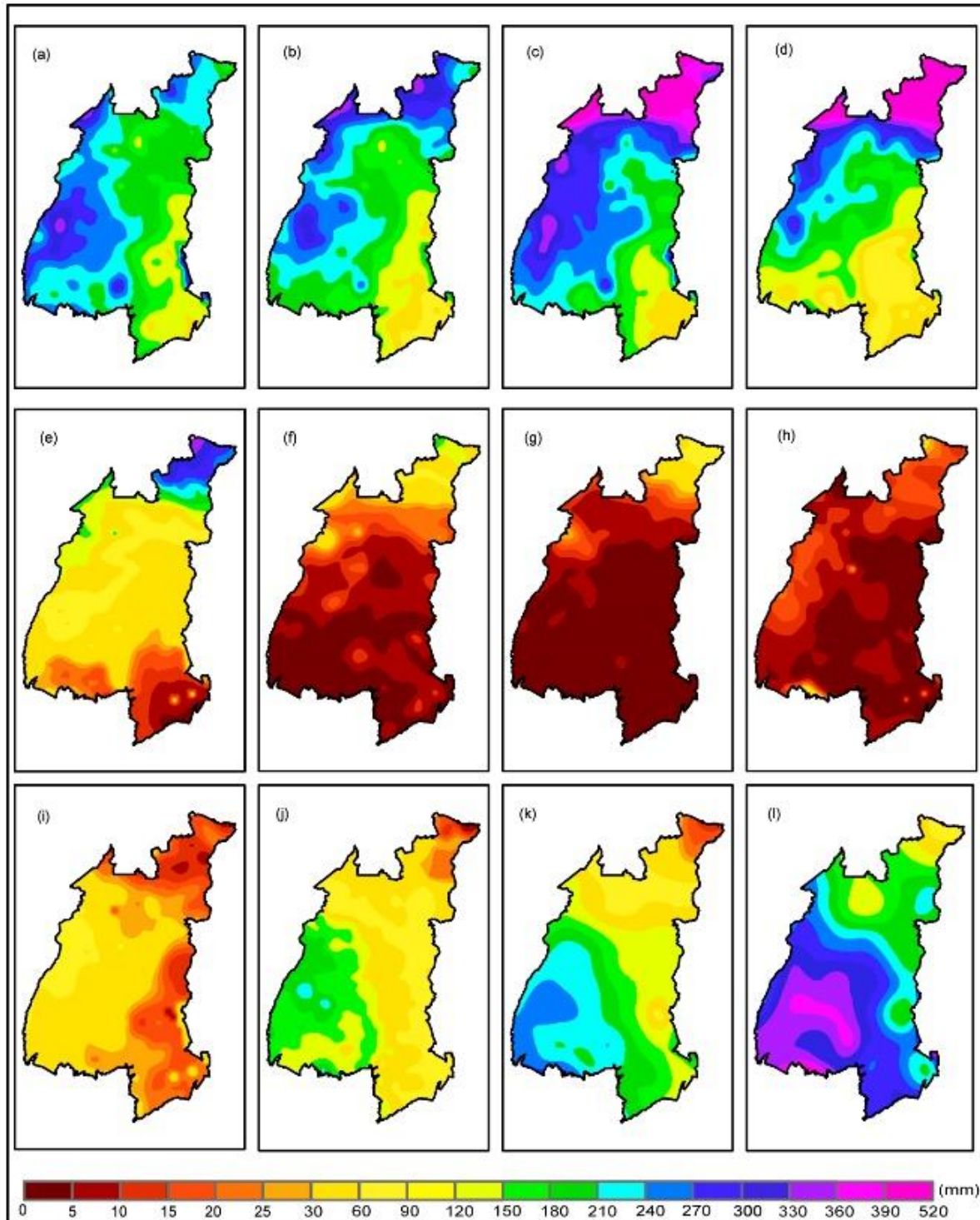


Figura 3. Acumulado mensal da precipitação na região MATOPIBA do período de 1980-2013, no cenário wet, (a) Janeiro, (b) Fevereiro, (c) Março, (d) Abril, (e) Maio, (f) Junho, (g) Julho, (h) Agosto (i) Setembro (j) Outubro (k) Novembro e (l) Dezembro.

No cenário dry (Figura 4) os totais pluviométricos mensais registraram valores menores durante todo o período chuvoso, em comparação com o cenário wet e o cenário climatológico, com exceção nos meses de Janeiro (Figura 4a) e Fevereiro (Figura 4b) (237 e 227 mm, respectivamente), mostrando

um maior índice em Janeiro. Além disso, observou-se durante esses meses os maiores máximos acumulados (412 e 408 mm), em referência aos valores dos cenários wet e climatológico. Dessa forma, constatou-se que as médias maiores verificadas nos referidos meses no cenário dry

estão relacionadas a eventos extremos de precipitação, como mencionado anteriormente. Estes eventos ocorrem muitas das vezes associados com a variabilidade das características da circulação atmosférica e são comumente recorrentes no período chuvoso (de Oliveira et al., 2014; 2017). Ainda notou que a frequência de aumento registrada nestes meses ocorreu na porção centro-oeste e sudeste da região MATOPIBA (grande parte do Tocantins e extremo oeste da Bahia), ou seja, em anos desfavoráveis, fica evidente que essa área não sofre efeitos negativos da variabilidade climática de grande escala sobre a precipitação.

Em comparação com os cenários climatológico e wet, a porção Norte da região é a mais afetada negativamente pela combinação dos sistemas atmosféricos-ocênicos de grande escala,

onde as anomalias negativas podem ser claramente notadas durante os meses da estação chuvoso (Out-Abr), principalmente no trimestre (Fev-Mar-Abr) em que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) deveria estar mais ao Sul (Figura 4b, c, d). Tal ocorrência encontra-se de acordo com o estudo de Aceituno (1988) e Rao e Hada (1990), ao analisar padrões de correlação entre a fase quente do ENSO e o regime sazonal de chuvas na América do Sul, que verificou correlações significativas principalmente na porção norte do NEB durante Março-Abril. Além disso, notou-se uma maior severidade da seca no período seco, onde no início da estação (Maio) os índices não chegam a 90 mm da região Norte. Pode-se notar ainda um alongamento da estação seca no extremo Norte da região, registrando baixa pluviosidade até meados do mês de Novembro (Figura 4k).

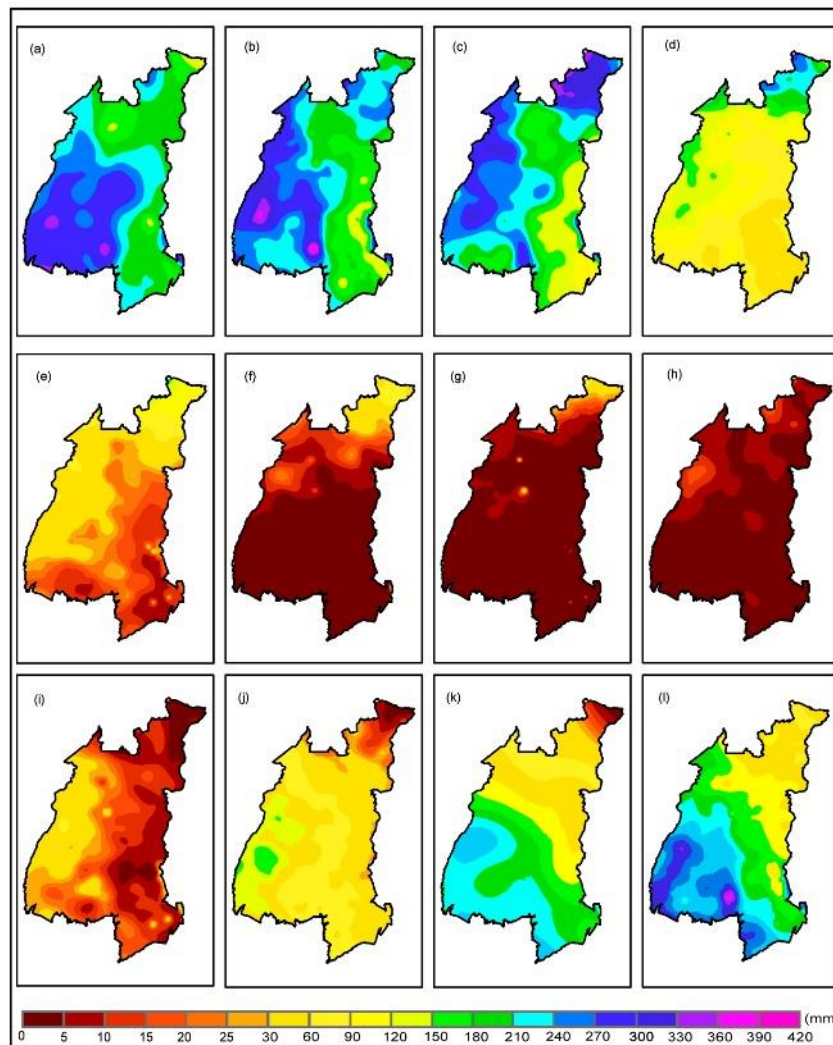


Figura 4. Acumulado mensal da precipitação na região MATOPIBA do período de 1980-2013, no cenário dry, (a) Janeiro, (b) Fevereiro, (c) Março, (d) Abril, (e) Maio, (f) Junho, (g) Julho, (h) Agosto (i) Setembro (j) Outubro (k) Novembro e (l) Dezembro.

Tendência linear da precipitação

A Figura 5 apresenta a climatologia mensal da precipitação entre os anos de 1980 a 2013 da região do MATOPIBA, em razão dos três cenários estudados: climatologia, favorável-wet e desfavorável-dry. A precipitação apresenta um comportamento sazonal semelhante em ambas as condições, com duas estações bem definidas, um período chuvoso entre os meses de Outubro a Abril, cuja média climatológica é acima de 250 mm, e o outro seco entre os meses de Maio a Setembro, com médias próximo a zero em Julho e Agosto. Essa sazonalidade apresentada na precipitação é uma característica importante identificada na região NEB, onde meses da estação seca registram a completa ausência de chuvas, como mostrado no estudo de de Oliveira et al. (2017). Nos anos dry, a precipitação é superior as médias climatológicas e dos anos wet nos meses de Janeiro e Fevereiro, com máximo de 237 mm (Janeiro). Por outro lado, no cenário dry a estação

chuvosa é mais curta e as médias mensais dos demais meses que compõem a estação chuvosa é predominantemente inferior as médias mensais climatológica e dos anos wet. Nos anos wet, a precipitação é melhor distribuída com intensidades iguais ou superiores à climatologia no período de Outubro a Maio. Portanto, pode-se afirmar que nos anos secos as taxas de precipitação são muito elevadas (> 250 mm em Janeiro); porém, concentradas em um período mais curto quando comparamos à climatologia dos anos wet. Os máximos observados nos referidos meses nos anos dry são possivelmente associados a eventos extremos de precipitação no Nordeste do Brasil, que tem sido documentado em estudos recentes (de Oliveira et al., 2017; da Silva et al., 2019a, b; dos Reis et al., 2020). Quanto à média acumulada anual o cenário favorável-wet mostra o maior índice, registrando um valor de 1.540 mm, seguido da climatologia (1370 mm) e do cenário desfavorável-dry (1280 mm).

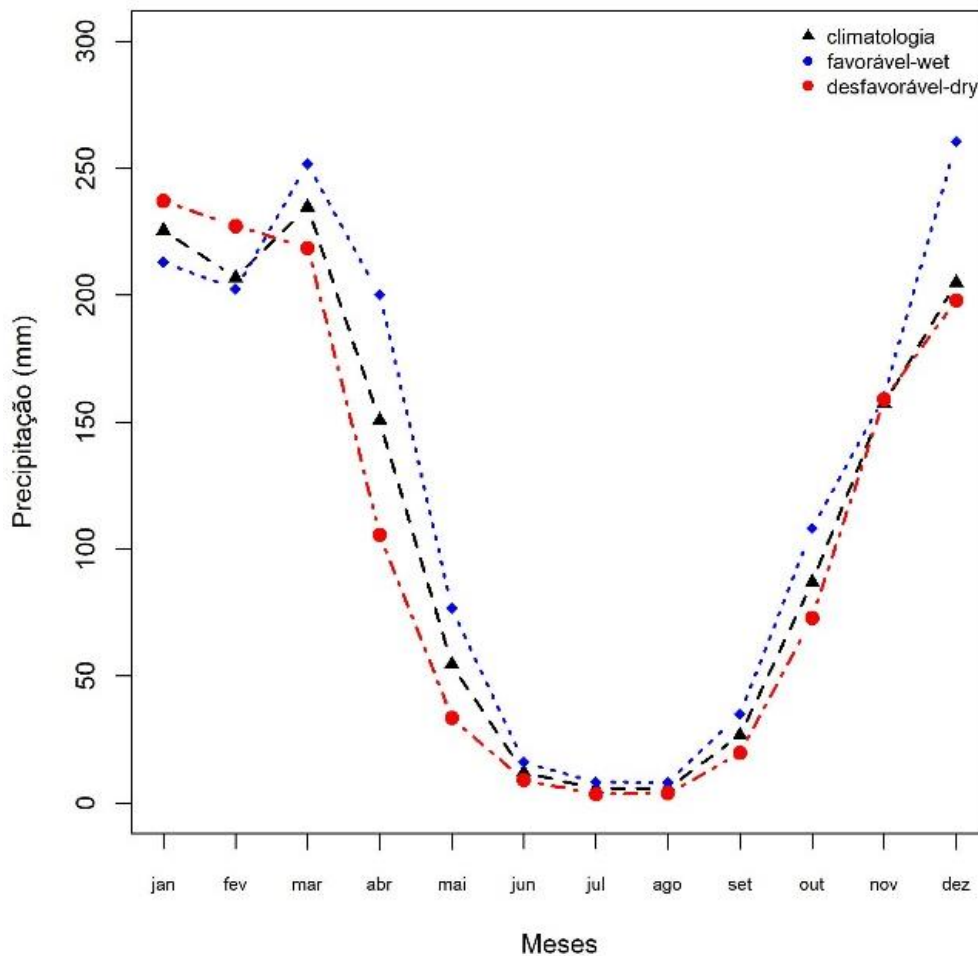


Figura 5. Acumulado mensal da precipitação do período de 1980 a 2013 para a região do MATOPIBA, em razão da climatologia do período, do cenário favorável-wet e do cenário desfavorável-dry.

Na Figura 6 mostra os boxplots da variação dos valores acumulados mensais da precipitação no período de 1980 a 2013, considerando os três cenários meteorológicos. Quanto ao padrão das médias observa-se que apresentam um mesmo comportamento na distribuição mensal da precipitação, previamente com duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca, como descrito anteriormente. A maior variabilidade da

precipitação concentra-se nos meses da estação chuvosa, principalmente no trimestre de jan-fev-mar no cenário desfavorável (dry) conforme Figura 6c. No cenário favorável (wet), Figura 6b, a maior amplitude dos valores encontra-se nos meses de novembro e dezembro e na climatologia nos meses de novembro, dezembro e janeiro. Enquanto que os meses com menor variabilidade concentra-se no período seco, para todos os cenários.

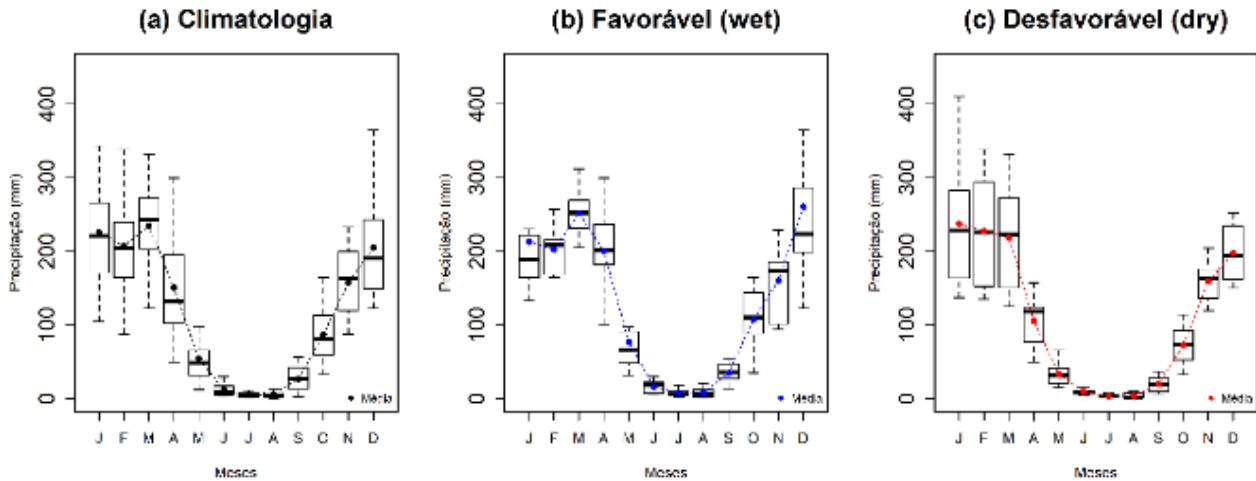


Figura 6. Boxplots mensais dos totais pluviométricos no período de 1980-2013, considerando os três cenários meteorológicos (sem outliers)

A Tabela 1 mostra os resultados da análise de tendências para os valores acumulados mensais e anual da precipitação, para cada cenário meteorológico. A análise em geral mostrou alterações positivas e negativas, com significância estatística, apenas nos cenários das condições climatológicas e desfavoráveis (dry).

Na climatologia a tendência foi de aumento durante o mês de maio (início do período seco), com significância estatística ao nível de 5%, enquanto que nos meses de agosto e setembro (final do período seco) o teste apontou uma redução estatisticamente significativa ao nível de 5% e 10%, respectivamente. Isso indica, indícios de alterações nos padrões do clima da região, demonstrado pelo aumento do período chuvoso e possivelmente um atraso na retomada das chuvas. No cenário desfavorável (dry) foi possível notar tendências de acréscimo nos volumes pluviométricos nos meses de abril, maio e julho, com significância estatística ao nível de 5%, 10% e 10%, respectivamente. Para a escala anual o teste não apresentou tendências estatisticamente significativas.

Tabela 1. Tendências ao nível de significância de 1%, 5% e 10% dos valores acumulados de

precipitação (mensal e anual), referente ao período de 1980-2013, para os três cenários de variabilidade climática do MATOPIBA.

Meses	Cenários meteorológicos		
	Climatologia	Favorável (wet)	Desfavorável (dry)
	Z-test	Z-test	Z-test
Jan	-0,326	0,006	-0,742
Fev	0,103	0,834	0,748
Mar	-0,548	-1,251	-0,494
Abr	0,429	-0,417	1,979**
Mai	2,112**	0,417	1,732*
Jun	0,859	0,003	1,237
Jul	1,022	-0,208	1,731*
Ago	-2,179**	-1,251	-1,484
Set	-1,853*	-0,836	-1,484
Out	-0,904	-0,834	-0,247
Nov	0,252	0,417	-1,237
Dez	-0,489	-0,208	-0,989
Anual	-0,370	-1,042	-0,742

Nível de significância: ***1%; **5% e *10%

Os resultados foram consistentes com o estudo de de Oliveira et al. (2014), que mostrou um aumento na sazonalidade da precipitação sobre o Nordeste do Brasil, além disso as tendências

detectadas corroboram com estudos desenvolvidos no Nordeste do Brasil (de Oliveira et al., 2017; Lacerda et al., 2015; Bezerra et al., 2018). Sob o aspecto agrometeorológico, os resultados são relevantes em razão de que poderão conduzir estratégias para o planejamento agrícola, correlacionando o potencial hídrico mensal com o atendimento da necessidade de cada estágio da cultura da soja.

Conclusão

Estudos sobre o comportamento espaço-temporal da precipitação em áreas com um grande potencial agrícola ocupam um espaço importante nas discussões científicas, em razão de que esse elemento meteorológico é um dos principais fatores limitantes da produtividade, principalmente para a sojicultura desenvolvida em sistema de sequeiro, notadamente na região MATOPIBA.

O estudo mostrou que o fenômeno El Niño Oscilação Sul e a variabilidade das temperaturas do Atlântico Tropical têm papel fundamental na alternância entre anos secos e chuvosos, bem como na abrangência espacial dos volumes de chuvas sobre a região estudada. Além desses fenômenos destaca-se que a precipitação da região sofre influência de sistemas como: posicionamento mais ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) modulada pela Temperatura da Superfície do Mar no Atlântico Tropical, quando o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é mais forte, Complexos Convectivos de Mesoescala, formação e deslocamento para o norte da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e sistemas frontais.

Tendo em vista uma análise sobre os diferentes cenários meteorológicos, verificou que nos anos em que o ENSO (gradiente inter-hemisférico apontando para o Atlântico Sul) estava

em sua fase positiva (negativa) compreendendo o cenário wet, houve uma maior probabilidade de meses com ocorrência de chuvas (ampliação da estação chuvosa), favorecendo o cultivo da soja, enquanto o oposto também era verdadeiro. Embora, verificou-se em algumas áreas (centro-oeste e sudeste do MATOPIBA) uma anomalia positiva quanto ao regime pluviométrico nos meses de janeiro e fevereiro nas condições dry.

De acordo com a análise das tendências os resultados foram consistentes com estudos anteriores realizados no Nordeste brasileiro, assim como em outras regiões com alto potencial agrícola no Brasil. Para o presente estudo a análise revelou que há indícios de alterações nos padrões climatológicos da precipitação a partir dos anos de 1980. Os resultados das tendências em relação à precipitação indicaram uma mudança sazonal no período chuvoso e a redução na precipitação durante a estação de transição seca-chuvosa, o que significa um aumento na duração da estação seca e o conseqüente atraso no início da estação chuvosa.

Portanto os resultados abordados podem orientar os produtores na tomada de decisões quanto ao local e a época favorável para o plantio da soja, adotando medidas agronômicas mensais para obter melhores correlações dos estágios da cultura com o fator hídrico, nas quais auxiliam na redução dos riscos associados à perda do rendimento, bem como, para o planejamento de uma estação de cultivo em conformidade com o prognóstico da ocorrência do ENSO combinado com o gradiente inter-hemisférico, possibilitando um melhor gerenciamento dos cultivos em prol de se obter alta produtividade. Dessa forma, contribuindo para o controle da expansão das áreas cultivadas, preservando os serviços ecossistêmicos de regulação climática.

Referências

- Aceituno, P., 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. *Surface climate, Monthly Weather Review* 116, 505–524.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., de Moraes, G., Leonardo, J., Sparovek, G., 2014. Köppens climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6), 711–728.
- Anderson, M.C., Zolin, C.A., Sentelhas, P.C., Hain, C.R., Semmens, K., Yilmaz, M.T., Gao, F., Otkin, J.A., Tetrault, R., 2016. The Evaporative Stress Index as an indicator of

agricultural drought in Brazil: An assessment based on crop yield impacts. *Remote Sensing of Environment* 174, 82–99.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.034>.

Araújo, M.L.S., Sano, E.E., Bolfe, É.L., Santos, J.R.N., Santos, J.L., Silva, F.B., 2019. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). *Land Use Policy* 80, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.040>

Assad, E.D., Marin, F.R., Evangelista, S.R., Pilau, F.G., Farias, J.R.B., Pinto, H.S., Zullo Júnior, J. 2007. Sistema de previsão da safra de soja para o Brasil. *Pesquisa*

- Agropecuária Brasileira 42(5), 615-625.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000500002>
- Balbinot Junior, A.A., Hirakuri, M.H., Franchini, J.C., Debiassi, H., Ribeiro, R.H., 2017. Análise da área, produção e produtividade da soja no Brasil em duas décadas (1997-2016) [recurso eletrônico]. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 21 p. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1065512/analise-da-area-producao-e-produtividade-da-soja-no-brasil-em-duas-decadas-1997-2016>. Acesso: 20 jul. 2019.
- Battisti, R., Sentelhas, P.C., 2019. Characterizing Brazilian soybean-growing regions by water deficit patterns. *Field Crops Research* 240, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.06.007>.
- Battisti, R., Sentelhas, P.C., Pascoalino, J.A.L., Sako, H., de Sá Dantas, J.P., Moraes, M.F., 2018. Soybean yield gap in the areas of yield contest in Brazil. *International Journal of Plant Production*. <https://doi.org/10.1007/s42106-018-0016-0>.
- Berlato, M.A., Fontana D.C., 2003. El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. UFRGS, Porto Alegre, 110 p.
- Bezerra, B.G., Silva, L.L., Santos e Silva, C.M., Carvalho, G.G., 2018. Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012. *Theoretical and Applied Climatology* 135, 565–576. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2396-6>.
- Bhatia, V.S., Singh, P., Wani, S.P., Chauhan, G.S., Kesava Rao, A.V.R. Mishra, A.K, Srinivas, K., 2008. Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. *Agricultural and Forest Meteorology* 148, 1252–1265.
- Blain, G.C., 2010. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: Variações e tendências climáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25(1), 114 - 124.
- Butt, N., De Oliveira, P.A., Costa, M.H., 2011. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondonia. *Brazil. Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 116, 2–9, <http://dx.doi.org/10.1029/2010JD015174>.
- Carleton, T.A, Hsiang, S.M., 2016. Social and economic impacts of climate. *Science* 353, aad9837. <https://doi.org/10.1126/science.aad9837>.
- Castanheira, E.G., Grisoli, R., Coelho, S., Silva, G.A., Freire, F., 2015. Life-cycle assessment of soybean-based biodiesel in Europe: comparing grain, oil and biodiesel import from Brazil. *Journal of Cleaner Production* 102, 188-201. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.036>
- Chaves, R.R., Cavalcanti, I.F.A., 2001. Atmospheric Circulation Features Associated with Rainfall Variability over Southern Northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 129, 2614 – 2626.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2019. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Safra 2018/19 - Oitavo Levantamento, p. 1-135, <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso: 25 out. 2019.
- Costa, M.H., Pires, G.F., 2010). Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. *International Journal of Climatology* 30, 1970–1979, <http://dx.doi.org/10.1002/joc.2048>.
- da Rocha, R.P., Reboita, M.S., Dutra, L.M.M., Llopart, M.P., Coppola, E., 2014. Variability associated with ENSO: present and future climate projections of RegCM4 for South America-CORDEX domain. *Nature Climate Change* 125, 95–109. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1119-y>.
- da Silva, R.M., Santos, C.A.G., Moreira, M., Corte-Real, J., Silva, V.C.L., Medeiros, I.C., 2015. Rainfall and river flow trends using Mann –Kendall and Sen’s slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. *Nat Hazards*, 77, 1205–1221. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1644-7>.
- da Silva, L.L., Costa, R.F., Campos, J.H.B., Dantas, R.T., 2009. Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de*

- Engenharia Agrícola e Ambiental 13(4): 454–461.
- da Silva, P.E., Santos e Silva, C.M., Spyrides, M.H.C., Andrade, L.M.B., 2019a. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. *International Journal of Climatology*, 1-17. <https://doi.org/10.1002/joc.5829>.
- da Silva, P.E., Santos e Silva, C.M., Spyrides, M.H.C., Andrade, L.M.B., 2019b. Análise de Índices de Extremos Climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o Período entre 1980 a 2013. *Anuário do Instituto de Geociências* 42(2), 137-148. http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_137_148.
- de Oliveira, P.T., Santos e Silva, C.M., Lima, K.C. 2014. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters* 15, 172-177. <https://doi.org/10.1002/asl2.484>.
- de Oliveira, P.T., Santos e Silva, C.M., Lima, K.C. 2017. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 130, 77-90. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1865-z>.
- Del Ponte, E.M., Esker, P.D., 2008. Meteorological factors and Asian Soybean Rust epidemics - a systems approach and implications for risk assessment. *Scientia Agrícola* 65, 88-97. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000700014>.
- dos Reis, L.C., Silva, C.M.S.e., Bezerra, B.G., Mutti, P.R., Spyrides, M.H.C., da Silva, P.E., 2020. Analysis of Climate Extreme Indices in the MATOPIBA Region, Brazil. *Pure and Applied Geophysics*. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02474-4>.
- dos Reis, L.C., Santos e Silva, C.M., Spyrides, M.H.C., Bezerra, B.G., 2017. Climate Trends in Bom Jesus, soybean production region in Piauí. *Revista Geama*, 196-200.
- Erasmí, S., Schucknecht, A., Barbosa, M., Matschullat, J., 2014. Vegetation greenness in Northeastern Brazil and its relation to ENSO warm events. *Remote Sensing* 6, 3041–3058. <https://doi.org/10.3390/rs6043041>.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025, especial focus: Sub-Saharan Africa*. [s.l.] OECD-FAO.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S. M.A., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 185–212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>.
- Ferreira, D.B., Rao, V.B., 2011. Recent climate variability and its impacts on yields in Southern Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 105, <https://doi.org/83-97>. [10.1007/s00704-010-0358-8](https://doi.org/10.1007/s00704-010-0358-8).
- Ferreira, N.J., Sanches, M., Silva Dias, M.A.F., 2004. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Períodos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Meteorologia* 19(1), 89–98.
- Fu, R., Yin, L., Li, W., Arias, P., Dickinson, R.E., Huang, L., Chakraborty, S., Fernandes, K., Liebmann, B., Fisher, R., Myneni, R.B., 2013. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, 18110–18115, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1302584110>.
- Gelcer, E., Fraisse, C.W., Dzotsi, K., Hu, Z., Mendes, R., Zotarelli, L., 2013. Effects of El Niño Southern Oscillation on the space-time variability of Agricultural Reference Index for Drought in midlatitudes. *Agricultural and Forest Meteorology* 174(175), 110–128.
- Gelcer, E., Fraisse, C.W., Zotarelli, L., Stevens, F.R., Perondi, D., Barreto, D.D., Malia, H.A., Ecole, C.C., Montone, V., Southworth, J., 2018. Influence of El Niño-Southern oscillation (ENSO) on agroclimatic zoning for tomato in Mozambique. *Agricultural and Forest Meteorology* 248, 316–328. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.002>.
- Goossens, C., Berger, A., 1986. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*, Berlin 4(B-4), 385-400.
- Grimm, A.M., 2011. Interannual climate variability in South America: impacts on

- seasonal precipitation, extreme events and possible effects of climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25(4), 537–554.
- Hastenrath, S., 1984. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. *Monthly Weather Review* 112, 1097-1107.
- Hastenrath, S., 2012. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. *Climatic Change* 112(2), 243-251.
- Hu, M., Wiatrak, P. 2012. Effect of planting date on soybean growth, yield, and grain quality: review. *Agronomy Journal* 104, 785–790.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. 3º Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA). <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html>. Acesso: 7 mai. 2019.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Central and South America. In: Barros, V. (ed) *Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. Part B: Regional aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 1499–1566.
- Karmeshu, N., 2012. Trend Detection in Annual Temperature & Precipitation using the Mann Kendall Test - A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States. Master of Environmental Studies Capstone Projects. University of Pennsylvania. Department of Earth and Environmental Science.
- Kayano, M.T., Andreoli, R.V., 2006. Relationships between rainfall anomalies over northeastern Brazil and the El Niño–Southern Oscillation, *Journal of Geophysical Research* 111, D13101.
- Kendall, M.G., 1975. *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin, London.
- Kousky, V.E., 1979. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 107, 1140–1153.
- Lacerda, F.F., Nobre, P., Sobral, M.C., Lopes, G.M.B., Chou, S.C., Assad, E.D., Brito, E., 2015. Long-term temperature and rainfall trends over Northeast Brazil and Cape Verde. *Journal of Earth Science and Climatic Change* 6(8), 1–8. <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000296>.
- Li, D., Li, H., Qiao, Y., Wang, Y., Cai, Z., Dong, B., Shi, C., Liu, Y., Li, X., Liu, M., 2013. Effects of elevated CO₂ on the growth, seed yield, and water use efficiency of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought stress. *Agricultural Water Management* 129, 105–112
- Liang, X.Z., Wu, Y., Chambers, R.G., Schmoltdt, D.L., Gao, W., Liu, C., Liu, Y. A., Sun, C., Kennedy, J.A., 2017. Determining climate effects on US total agricultural productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114, E2285–E2292. <https://doi.org/10.1073/pnas.1615922114>.
- Magalhães, L.A., Miranda, E.E., 2014. MATOPIBA: Quadro Natural. Nota técnica 5. EMBRAPA. Available at: Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE). https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT5_Matopiba_Quadro_Natural.pdf. Acesso: 12 fev. 2019.
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13(3), 245–259.
- Marengo, J.A., Alves, L.M., Alvares, R.C.S., Cunha, A.P., Brito, S., Moraes, O.L.L., 2018. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 90, 1973-1985.
- Marengo, J.A., Bernasconi, M., 2015. Regional differences in aridity / drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Nature Climate Change* 129, 103–115. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>.
- Minuzzi, R.B., Caramori, P.H., 2011. Variabilidade climática sazonal e anual da chuva e veranicos no Estado do Paraná. *Revista Ceres* 58(5), 593 – 602.
- Miranda, E.E., Magalhães, L.A., Carvalho, C.A., 2014. Proposta de delimitação territorial do Matopiba. Nota técnica 1. EMBRAPA. Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE) Available at: https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1_DelimitacaoMatopiba.pdf. Acesso: 12 mar. 2019.

- Moura, M.M., dos Santos, A.R., Pezzopane, J.E.M., Alexandre, R.S., da Silva, S.F., Pimentel, S.M., de Andrade, M.S.S., Silva, F.G.R., Branco, E.R.F., Moreira, T.R., da Silva, R.G., de Carvalho, J.R., 2019. Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. *Science of the Total Environment* 651, 1639-1651. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.242>.
- Mutti, P.R., Abreu, L.P., Andrade, L.M.B., Spyrides, M.H.C., Lima, C.K., de Oliveira, C.P., Dubreuil, V., Bezerra, B. G., 2019. A detailed framework for the characterization of rainfall climatology in semiarid watersheds. *Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02963-0>.
- Nóia Junior, R.D.S., Sentelhas, P.C., 2019. Soybean-maize off-season double crop system in Brazil as affected by El Niño Southern Oscillation phases. *Agricultural Systems* 173, 254–267. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.012>
- Obregón Párraga, G.O., 2003. Dinâmica da variabilidade climática da precipitação sobre a América do Sul. Tese (Doutorado). São José dos Campos, INPE.
- Penalba, O.C., Rivera, J.A., 2016. Precipitation response to El Niño/La Niña events in southern South America – emphasis in regional drought occurrences. *Advances Geosciences* 42, 1-14. <https://doi.org/10.5194/adgeo-42-1-2016>.
- Pierozan Junior, C., Kawakami, J., Schwarz, K., Umburanas, R.C., Del Conte, M.V., Müller, M.M.L., 2017. Sowing dates and soybean cultivars influence seed yield, oil and protein contents in subtropical environment. *Journal of Agricultural Science* 9, 188. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n6p188>.
- Pinheiro, A., Graciano, R.L.G., Severo, D.L., 2013. Tendência das séries temporais de precipitação da região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 28(3), 281 - 290.
- Pinto, H.S., Assad, E.D., 2008. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Embrapa Informática Agropecuária, 84 p. https://www.agritempo.gov.br/climaagricultura/CLIMA_E_AGRICULTURA_BRASIL_300908_FINAL.pdf.
- Pires, G.F., Abrahão, G.M., Brumatti, L.M., Oliveira, L.J.C., Costa, M.H., Liddicoat, S., Kato, E., Ladle, R.J, 2016. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: implications for land use in Northern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology* 228 (229), 286–298. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.005>.
- Ramirez-Rodrigues, M., Asseng, S., Fraise, C., Stefanova, L., Eisenkolbi, A., 2014. Tailoring wheat management to ENSO phases for increased wheat production in Paraguay. *Climate Risk Management*, 1–15.
- Rao, V.B., Hada, K., 1990. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual and variations and connections with the Southern Oscillation, *Theoretical and Applied Climatology* 42, 81–91.
- Rigo, A.A., Dahmer, A.M., Steffens, C., Steffens, J., Carrão-Panizzi, M.C., 2015. Characterization of soybean cultivars genetically improved for human consumption. *International Journal of Food Engineering* 1, 1-7. <https://doi.org/10.18178/ijfe.1.1.1-7>.
- Rodrigues R.Á., Pedrini, J.E., Fraise, C.W., Fernandes, J.M.C., Justino, F.B., Heinemann, A.B., Costa, L.C., Vale, F.X.R., 2012. Utilization of the cropgro-soybean model to estimate yield loss caused by Asian rust in cultivars with different cycle. *Bragantia* 71(2), 308-317.
- Saath, K.C.O., Fachinello, A.L., 2018. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*. 56: 2. <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>.
- Salvador, M.A., Brito, J.I.B., 2017. Trend of annual temperature and frequency of extreme events in the MATOPIBA region of Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-017-2179-5>.
- Schoffel, E.R., Saccol, A.V., Manfron, P.A., Medeiros, S.L.P., 2001. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. *Ciência Rural* 31, 7-12.

- Sentelhas, P. C., Battisti, R., 2015. Clima e produtividade da soja: efeitos nas produtividades potencial, atingível e real. In: Fundação MT (Org.). Boletim de pesquisa 2015/2016, 17. ed. Rondonópolis: Fundação MT, 18-43.
- Sentelhas, P.C., Battisti, R., Câmara, G.M.S., Farias, J.R.B., Hampf, A., Nendel, C., 2015. The soybean yield gap in Brazil - magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production. *Journal of Agricultural Science* 153, 1394–1411. <https://doi.org/10.1017/S0021859615000313>.
- Sentelhas, P.C., Battisti, R., Sako, H., Zeni, R., Rodrigues, L.A., 2018. Clima e produtividade da soja: variabilidade climática como fator controlador da produtividade. *Boletim de Pesquisa*, 2017/2018. <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=2221718>. Acesso: 24 nov. 2017
- Sneyers, R. 1975. Sur l'analyse statistique des series d' observations. Genève: Organisation Météorologique Mondial, 1975. p 192. (OMM Note Technique, 143).
- Souza, E.B., Kayano, M.T., Ambrizzi, T., 2005. Intraseasonal and submonthly variability over the Eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. *Theoretical and Applied Climatology* 81, 177–191.
- Spera, S.A., Galford, G.L., Coe, M.T., Macedo, M.N., Mustard, J.F., 2016. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. *Global Change Biology* 22, 3405–3413. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13298>.
- St-Marseille, A-F.G., Bourgeois, G., Brodeur, J., Mimee, B., 2019. Simulating the impacts of climate change on soybean cyst nemotod and dristribution of soybean. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 264, p. 178-187. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.10.008>.
- Taherzadeh, O., Caro, D., 2019. Drivers of water and land use embodied in international soybean trade. *Journal of Cleaner Production* 223, 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.068>.
- Tedeschi, R.G., Grimm, M., Cavalcanti, I.F.A., 2016. Influence of Central and East ENSO on precipitation and its extreme events in South America during austral autumn and winter. *International Journal of Climatology* 36, 4797–4814. <https://doi.org/10.1002/joc.4670>.
- Timmermann, A., AN, S.I., Kug, J.S., Jin, F.F., Cai, W., Capotondi, A., Cobb, K.M., Lengaigne, M., Mcphaden, M.J., Stuecker, M.F., Stein, K., Wittenberg, A.T., Yun, K.S., Bayr, T., Chen, H.C., Chikamoto, Y., Dewitte, B., Dommenges, D., Grothe, P., Guilyardi, E., Ham, Y. G., Hayashi, M., Ineson, S., Kang, D., Kim, S., Kim, W.M., Lee, J.Y., Li, T., Luo, J.J., McGregor, S., Planton, Y., Power, S., Rashid, H., Ren, H.L., Santoso, A., Takahashi, K., Todd, A., Wang, G., Wang, G., Xie, R., Yang, W.H., Yeh, S.W., Yoon, J., Zeller, E., Zhang X., 2018. El Niño – Southern Oscillation complexity. *Nature Springer* 559, 535–545. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>.
- Woli, P., Ortiz, B.V., Johnson, J., Hoogenboom, G., 2015. El Niño-Southern Oscillation effects on winter wheat in the Southeastern United States. *Agronomy Journal* 107. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0651>.
- Wu, H., Qian, H., 2017. Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s. *International Journal of Climatology* 37, 2582–2592. <https://doi.org/10.1002/joc.4866>.
- Xavier, A.C., King, C.W., Scanlon, B.R., 2015. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *International Journal of Climatology* 36, 2644–2659. <https://doi.org/10.1002/joc.4518>.
- Yu, P.S., Tao, T.C., Chou, C.C., 2002. Effects of climate change on evapotranspiration from paddy fields in Southern Taiwan. *Climatic Change* 54, 165-179. <https://doi.org/10.1023/A:1015764831165>
- Zhu, X., Troy, T.J., 2018. Agriculturally Relevant Climate Extremes and Their Trends in the World's Major Growing Regions. *Earth's Future* 6, 656–672. <https://doi.org/10.1002/2017EF000687>.