



Seasonal trend of climate variables in an area of the Caatinga phytogeographic domain

Tendência sazonal de variáveis climáticas em área de domínio fitogeográfico da Caatinga

Diego Antunes Campos^{1*}, Eunice Maia de Andrade²

Abstract: Wide variability in the rainfall regime and drought is characteristic of semi-arid regions. A better understanding of this variability can aid decision-making in the short, medium and long term. The aim of this study was to identify long-term patterns and trends in rainfall and temperature through the use of temporal patterns, in addition to assessing the duration of wet and dry periods. Daily historical series of rainfall and temperature for the district of Iguatu, Ceará were used. For rainfall, the annual and monthly climate normal (1974-2018) was calculated, in addition to the number of consecutive dry days (CDD) during the rainy season. The annual mean value for the maximum, mean, and minimum temperatures (1996-2017) was also calculated. Wide interannual variability in the rainfall was found, with very wet years (1985; 2009 and 2011) and very dry years (1979; 1983 and 1993) interspersed with periods of around average rainfall. When analysing the total occurrence of dry spells by class, it was found that events of from 5 to 10 days were the most frequent, and tended to reduce in number over the period under investigation. There was also an increase in the number of longer events, those over 16 days. Maximum annual temperatures show an increasing trend over the years, with minimum temperatures showing the smallest increases. It was concluded that extreme rainfall events are common, and alternate between rainy years and years of drought. The increase in maximum temperature and the reduction in rainfall express the extreme climate variability that may be a consequence of climate change.

Key words: Extremes of climate. Drought. Rainfall variability.

Resumo: A grande variabilidade do regime pluviométrico e a seca são características das regiões semiáridas. Um melhor entendimento dessa variabilidade ajudará nas tomadas de decisões de curto, médio e longo prazo. Objetivou-se identificar padrões de longo prazo e tendências da precipitação e temperatura por meio de padrões temporais, além de avaliar a duração de períodos úmidos e secos. Empregou-se séries históricas diárias de precipitação e temperatura do município de Iguatu-CE. Para a variável pluviométrica foi calculada a normal climatológica anual e mensal (1974-2018), além dos dias secos consecutivos (DSC) dentro da quadra chuvosa (veranico). Para a variável temperatura foi calculada a média anual das máximas, médias e mínimas (1996-2017). Constatou-se grande variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, com anos muito úmidos (1985; 2009 e 2011) e muito secos (1979; 1983 e 1993) intercalados por períodos com precipitação em torno da média. Ao analisar a ocorrência total de veranicos por classe, observou-se que os eventos de veranicos de 5 a 10 dias foram os de maior frequência e uma tendência à redução da ocorrência ao longo do tempo investigado. Também foi observado aumento dos veranicos mais longos, aqueles superiores a 16 dias. As temperaturas máximas anuais apresentaram tendências crescentes ao longo dos anos; e as temperaturas mínimas obtiveram os menores aumentos. Concluiu-se que os eventos extremos pluviométricos são comuns e apresentam alternância entre anos de seca e anos chuvosos. O aumento da temperatura máxima e a redução das chuvas expressam a variabilidade climática extrema que pode ser consequência das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Extremos climáticos. Secas. Variabilidade das chuvas.

*Corresponding author

Submitted for publication on 05/11/2020, approved on 13/11/2020 and published on 25/02/2021

¹Department of Agricultural Engineering, Federal University of Ceará, Campus Pici, Fortaleza 60455-760, CE, Brazil. E-mail: antunes.diego@gmail.com

²Department of Soil and Water Conservation, Federal University of the Semi-Arid Region. Endereço: Rua Francisco Mota, 572, Mossoró CEP 59625-900, RN, Brazil. E-mail: eandrade@ufc.br

INTRODUCTION

The semi-arid regions of the world are characterised by a large water deficit (SILVA *et al.*, 2011) due to the high incident solar radiation (MOURA *et al.*, 2007) and high spatial and temporal variability of the rainfall (FERNANDES, 2014; ANDRADE, 2017). In Brazil, the semi-arid region corresponds to 53% of the territory of the northeast of the country (FERREIRA *et al.*, 2018), and has been marked by the occurrence of drought events that are becoming more and more frequent (MOURA *et al.*, 2007; MARENGO *et al.*, 2017).

Droughts in this region are mainly caused by the high temperatures of the waters of the Atlantic, and variability in the sources that induce the rainfall regime (GUERREIRO *et al.* 2013) and which determine the climate conditions (PEREIRA, 2014). The rainfall regime is not limited to only spatial or temporal variability, but also to high intra- and interannual variability. The rainfall is concentrated over 3 to 4 months, with mean values that vary throughout the region (ANDRADE *et al.*, 2017).

Another important factor are the dry spells, defined as consecutive dry days during the rainy season, which increase the vulnerability of agricultural production (FERNANDES *et al.*, 2015), as well as affecting areas of forest (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016; FEITOSA, 2017). Dry spells of more than five consecutive days during the rainy season can hinder germination and the establishment of new individuals. (FERNANDES, 2014).

The semi-arid region of Brazil is also highly vulnerable to drought due to land degradation and desertification resulting from human intervention for both cultural and economic reasons (DANTAS *et al.*, 2015; MARENGO *et al.*, 2017). This may become worse according to forecasts related to climate change, which predict rainfall deficits together with an increase in temperature, making droughts more frequent (MENEZES *et al.*, 2008; ANDRADE, 2011; DANTAS *et al.*, 2015; MARENGO *et al.*, 2016; FERREIRA *et al.*, 2018).

The rainfall regime has been studied in various regions of the world in view of its importance to the hydrological cycle and to ecosystems (MOURA *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2011; BEGUERÍA *et al.*, 2014; DANTAS *et al.*, 2015; SINGH *et al.*, 2015). However, studies related to long-term trends deserve attention, due to their importance in strategies to mitigate the effects of drought in semi-arid regions (LIMA *et al.*, 2012; DANTAS *et al.*, 2015), which are constant and alternate with years of flooding (MARENGO *et al.*, 2011; BRITO *et al.*, 2017).

INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas do globo terrestre são caracterizadas por um elevado déficit hídrico (SILVA *et al.*, 2011) devido à elevada radiação solar incidente (MOURA *et al.*, 2007) e à alta variabilidade espaço-temporal das precipitações pluviométricas (FERNANDES, 2014; ANDRADE, 2017). No Brasil, a região semiárida corresponde a 53% do território do Nordeste brasileiro (FERREIRA *et al.*, 2018) e vem sendo marcada pela ocorrência dos eventos de secas que estão ficando cada vez mais recorrentes (MOURA *et al.*, 2007; MARENGO *et al.*, 2017).

As secas nesta região são causadas, principalmente, pelas altas temperaturas das águas do atlântico e pela variabilidade das fontes indutoras do regime pluviométrico (GUERREIRO *et al.* 2013), que determinam as condições do clima (PEREIRA, 2014). O regime pluviométrico não é limitado apenas à variabilidade espacial e temporal, mas também à alta variabilidade intra e interanual. As chuvas se concentram em poucos meses, 3 a 4 meses, com as médias precipitadas variando ao longo de toda a região (ANDRADE *et al.*, 2017).

Outro fator importante são os veranicos, definidos como dias secos consecutivos durante a estação chuvosa, que aumentam a vulnerabilidade da produção agrícola (FERNANDES *et al.*, 2015), assim como também afetam áreas florestais (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016; FEITOSA, 2017). Os veranicos podem comprometer a germinação e o estabelecimento de indivíduos novos por apresentarem mais de 5 dias de seca consecutiva dentro da estação chuvosa. (FERNANDES, 2014).

A região semiárida brasileira apresenta, também, grande vulnerabilidade às secas em razão da degradação da terra e da desertificação oriundas de intervenções antrópicas, por motivos culturais e econômicos (DANTAS *et al.*, 2015; MARENGO *et al.*, 2017). Fato este que pode piorar devido às previsões relacionadas às mudanças climáticas, que preveem déficits de precipitação, juntamente com aumento da temperatura, tornando as secas mais frequentes (MENEZES *et al.*, 2008; ANDRADE, 2011; DANTAS *et al.*, 2015; MARENGO *et al.*, 2016; FERREIRA *et al.*, 2018).

Diferentes regiões do mundo vêm estudando o regime pluviométrico em face de sua importância no ciclo hidrológico e nos ecossistemas (MOURA *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2011; BEGUERÍA *et al.*, 2014; DANTAS *et al.*, 2015; SINGH *et al.*, 2015). Todavia, estudos relacionados as tendências em longo prazo merecem atenção devido à sua importância nas estratégias de mitigação dos efeitos da seca no semiárido (LIMA *et al.*, 2012; DANTAS *et al.*, 2015), que são constantes e alternam-se com anos de cheias (MARENGO *et al.*, 2011; BRITO *et al.*, 2017).

Monitoring drought and the seasonality of the rainfall regime can help in decision-making in terms of the measures taken to adapt to short, medium and long-term climate variability, and result in strategies that mitigate the effects of drought in the semi-arid region. The aim of this study, therefore, was to identify long-term patterns and trends in rainfall and temperature by means of temporal patterns, in addition to assessing the duration of wet and dry periods.

MATERIAL AND METHODS

The district of Iguatu is located in the tropical semi-arid region, in the mid-south of the state of Ceará, and has an area of 1,029 km², whose central coordinates are 6°21'34" S and 39°17'55" W (Figure 1). The region is inserted in the Sertaneja Depression at an altitude of 217.8 m, and presents a smooth, flat relief, with slight weathering. The predominant soils are Entisols, Ultisols and Vertisols. The vegetation is deciduous Caatinga, small in size, with an average height of 5 m; tree density is highly variable due to human action (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016).

Desta forma, o monitoramento da seca e da sazonalidade do regime pluviométrico pode ajudar na tomada de decisões em termos de medidas e adaptação à variabilidade climática de curto, médio e longo prazo, permitindo estratégias de mitigação dos efeitos da seca no semiárido. Portanto, objetivou-se identificar padrões de longo prazo e tendências na precipitação e temperatura por meio de padrões temporais, além de avaliar a duração de períodos úmidos e secos.

MATERIAL E MÉTODOS

O município de Iguatu está inserido na região semiárida tropical, no Centro-Sul do estado do Ceará, com área de 1.029 km², tendo como coordenadas centrais 6°21'34" S e 39°17'55" O (Figura 1). A região está inserida na Depressão Sertaneja, apresentando relevo plano suave, com formas ligeiramente entalhadas e altitudes de 217,8 m. Os solos predominantes são da classe dos Neossolos, Argissolos e Vertissolos. A vegetação é do tipo Caatinga caducifólia, de porte baixo, com média de 5 m de altura, com densidade arbórea bem variável devido à ação antrópica (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016).

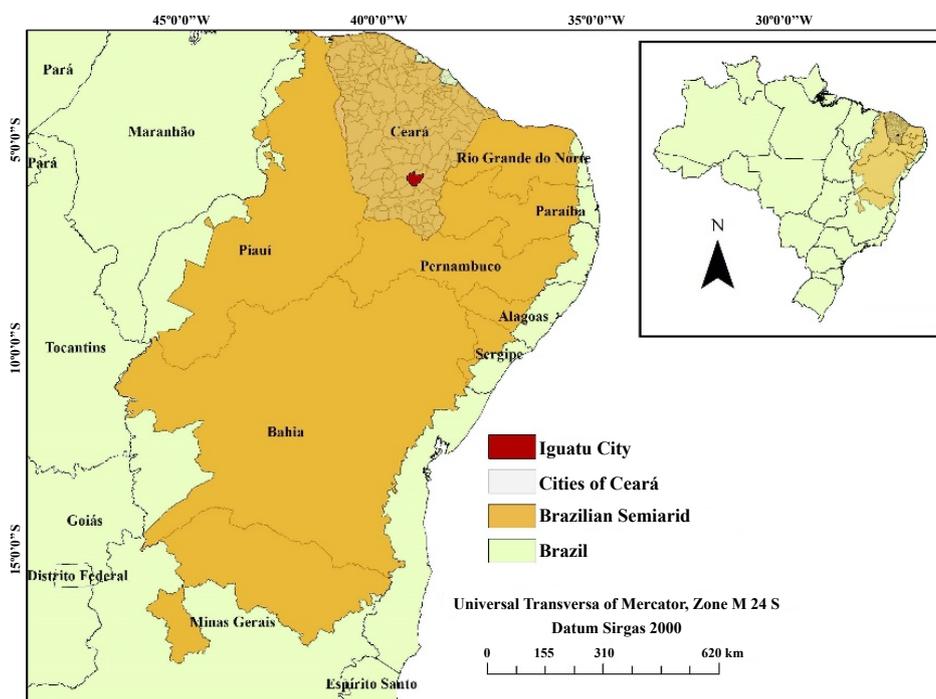


Figure 1 - Map showing the location of the district of Iguatu, Ceará, Brazil.

Figura 1 - Mapa de localização do município de Iguatu, Ceará, Brasil.

According to the Köppen classification, the climate in the region's is type BSh' (hot semi-arid); the mean temperature is 28 °C, with a minimum of 22.4 °C and maximum of 33.5 °C. The potential evapotranspiration (PET) exceeds the rainfall, with a mean PET of $1,902.5 \pm 117.8 \text{ mm yr}^{-1}$, with the highest rates between August and January (INMET, 2019). The historical average rainfall is $996.6 \pm 300.0 \text{ mm yr}^{-1}$, concentrated between December and May, with 43% of the rainfall concentrated between March and April (INMET, 2019).

Daily historical series of rainfall and temperature were used in this study. A period of 22 years (1996-2017) was used for both series due to a lack of temperature data prior to 1996. The data were obtained through the Meteorological Database for Education and Research (BDMEP/INMET) (INMET, 2019). For rainfall, the annual and monthly climate normal (1974-2018) was calculated, in addition to the number of consecutive dry days (CDD) during the rainy season (dry spells). A dry spell was considered as any interval of CDD, or of rainfall of less than 2 mm, with a minimum of five days duration during the rainy season (December to May). These were then separated by class: I (5-10 days), II (11-15 days), III (16-20 days) and IV (>20 days) (FEITOSA, 2017). The annual mean value for the maximum, mean and minimum temperatures was also calculated.

The Standardised Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) was also employed. The SPEI is able to identify processes of climate change related to changes in precipitation and/or temperature, and can be used to assess the possible influence of warming. Positive SPEI values indicate a positive anomaly (greater water availability), while negative values indicate a negative anomaly (less water availability), both in relation to a reference period (Table 1) (VICENTE-SERRANO *et al.*, 2010).

The SPEI is multi-scale, and can be calculated for intervals of 1 to 24 months (VICENTE-SERRANO *et al.*, 2010). The one-month interval reflects a short-term condition, three months gives a seasonal estimate of the rainfall, and 12 months gives the medium-term trend in rainfall patterns and provides an annual estimate of the available water (BOHN; PICCOLO, 2018). The SPEI is obtained by means of a simple climatic water balance between the difference in total monthly precipitation (P) and monthly potential evapotranspiration (PET). The PET was calculated using the Thornthwaite method, which requires only the monthly temperature and the geographic coordinates of the region. To normalise the index, 1996 to 2017 was used as the reference period. The SPEI was calculated with the R software, using the SPEI package.

O clima da região é classificado como BSh' (semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen, a temperatura média é de 28 °C, variando entre 22,4 °C para as mínimas e 33,5 °C para as máximas. A evapotranspiração potencial (ETP) excede a precipitação, a média da ETP é de $1.902,5 \pm 117,8 \text{ mm ano}^{-1}$, com as maiores taxas entre agosto e janeiro (INMET, 2019). A pluviosidade média histórica é de $996,6 \pm 300,0 \text{ mm ano}^{-1}$, com as chuvas concentradas entre dezembro e maio, tendo 43% das chuvas concentradas entre março e abril (INMET, 2019).

Empregou-se neste estudo séries históricas diárias de precipitação e temperatura. Tanto para a série da precipitação pluviométrica quanto para a de temperatura, utilizou-se um período de 22 anos (1996-2017) devido à falta de dados de temperatura anterior a 1996. Os dados foram obtidos através do Banco de Dados Meteorológicos para o Ensino e Pesquisa (BDMEP/INMET) (INMET, 2019). Para a variável pluviométrica foi calculada a normal climatológica anual e mensal (1974-2018), além dos dias secos consecutivos (DSC) dentro da quadra chuvosa (veranico). Atribui-se como veranicos intervalos de DSC ou com chuva < 2 mm com no mínimo cinco dias, para a quadra chuvosa (dezembro a maio). Posteriormente foram separados em classes: I (5-10 dias), II (11-15 dias), III (16-20 dias) e IV (>20 dias) (FEITOSA, 2017). Para a variável temperatura foi calculada a média anual das máximas, médias e mínimas.

Utilizou-se também o Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado – *Standard Precipitation and Evapotranspiration Index* (SPEI). O SPEI é capaz de identificar processos de mudança climática relacionados a mudanças na precipitação e/ou temperatura, e pode ser usado para avaliar as possíveis influências do aquecimento. Valores positivos de SPEI indicam uma anomalia positiva (maior disponibilidade hídrica), enquanto valores negativos indicam uma anomalia negativa (menor disponibilidade hídrica), ambos relativos a um período de referência (Tabela 1) (VICENTE-SERRANO *et al.*, 2010).

O SPEI tem caráter multiescalar, podendo ser calculado em intervalos de tempo de 1 a 24 meses (VICENTE-SERRANO *et al.*, 2010). O intervalo de 1 mês reflete condição de curto prazo; de 3 meses fornece uma estimativa sazonal da precipitação e de 12 meses dá tendência de médio prazo nos padrões de precipitação e fornece uma estimativa anual do estado da água (BOHN; PICCOLO, 2018). O SPEI é obtido por meio do balanço hídrico climático simples entre a diferença da precipitação total mensal (P) e da evapotranspiração potencial mensal (PET). O PET foi calculado pelo método de Thornthwaite, que necessita apenas da temperatura mensal e da coordenada geográfica da região. Para a normalização do índice, utilizou-se o período de referência 1996 a 2017. O SPEI foi calculado utilizando o software R, empregando o pacote SPEI.

Table 1 - Categories for anomalies in the Standardised Precipitation and Evapotranspiration Index

Tabela 1 - Categorias de anomalias do Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado

SPEI	Category
≥ 2	Extremely humid
1.5 a 1.99	Very humid
1 a 1.49	Moderately humid
-0.99 a 0.99	Normal
-1 a -1.49	Moderately dry
-1.5 a -1.99	Very dry
≤ -2	Extremely dry

RESULTS AND DISCUSSION

Rainfall regime

Considering the 45-year historical series (1974-2018), the climate normal for the area under investigation was $996.6 \pm 300.1 \text{ mm yr}^{-1}$, within the range of $\pm s$ for the Brazilian semi-arid region of 750.0 mm yr^{-1} (ANDRADE, 2017). Wide interannual variability in the rainfall was found, with very wet years (1985; 2009 and 2011) and very dry years (1979; 1983 and 1993) interspersed with periods of around average rainfall (Figure 2a). The two extreme events, one in 1983 with the lowest total annual rainfall (433.1 mm), and the other in 1985 with the highest total rainfall (2,076.0 mm), were separated by just one year. Such observations express the uncertainty of the rainfall regime in the region, as discussed by Andrade *et al.* (2017), where an extremely dry year can be followed by an extremely wet year.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Regime pluviométrico

Considerando-se a série histórica de 45 anos (1974-2018), a normal climatológica para a área investigada foi de $996,6 \pm 300,1 \text{ mm ano}^{-1}$, encontrando-se no intervalo da $\pm s$ para a região semiárida brasileira que é de $750,0 \text{ mm ano}^{-1}$ (ANDRADE, 2017). Constatou-se grande variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, com anos muito úmidos (1985; 2009 e 2011) e muito secos (1979; 1983 e 1993) intercalados por períodos com precipitação em torno da média (Figura 2a). Os dois eventos extremos, um com o menor total precipitado anual em 1983 (433,1 mm) e outro com o maior volume total precipitado em 1985 (2.076,0 mm), foram separados por apenas um ano. Tais observações expressam a incerteza do regime pluviométrico da região como já discutido por Andrade *et al.* (2017), onde um ano extremamente seco pode ser seguido por um ano extremamente úmido.

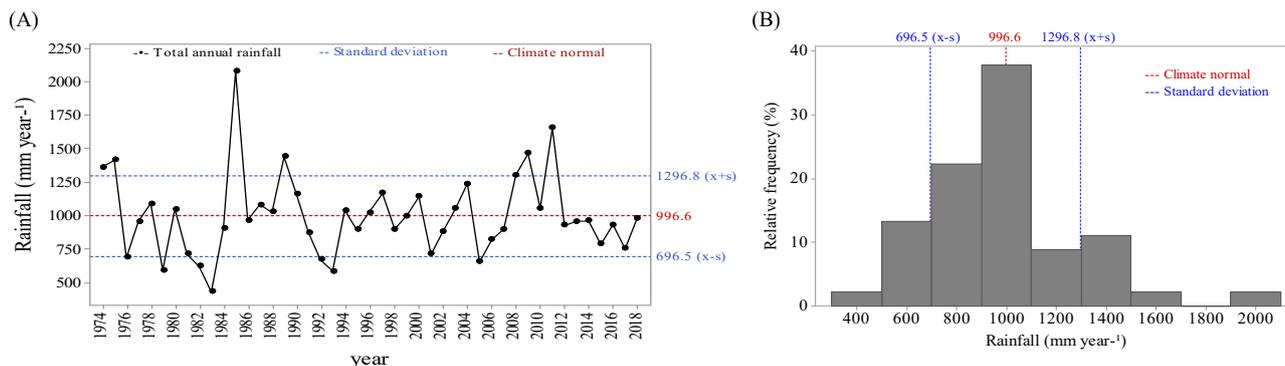


Figure 2 - Historical series and frequency distribution of annual rainfall in the district of Iguatu, Ceará.

Figura 2 - Série histórica e distribuição de frequência de precipitação pluviométrica anual do município de Iguatu, Ceará.

Of the 45 years of the series, 25 had rainfall below the historical average, of which seven were below the lower limit of 696.5 mm ($\bar{x}-s$); while there were 19 years with annual rainfall above the historical average, with seven above the upper limit of 1,296.8 mm ($\bar{x}+s$). Two extended periods with total annual rainfall below the climate normal can be seen in Figure 2. The first period was from 1981 to 1984, with an annual average of 668.3 mm yr⁻¹, expressing a sequence of years with 33% less rainfall than the annual average. The second period from, 2012 to 2018, comprises a sequence of seven years with an average of 898.6 mm yr⁻¹. It should be noted that the occurrence of two long periods of drought, and the constant alternation between very rainy and very dry years, results in temporal variability becoming a determining factor in the local water deficit, and, as such, being more important than the annual average rainfall (ANDRADE, 2017).

When observing the frequency of the annual rainfall (Figure 2b), it was found that most events were recorded in the 1,000.0 mm yr⁻¹ class, making up 37.8% of the years under observation, followed by the 800 and 600 mm yr⁻¹ classes, with 22.2% and 13.3% of the observations respectively. This shows that most of the annual rainfall totals are between 500 and 1,100 mm yr⁻¹, corresponding to 73.3% of the years. Whereas extreme events, which are events greater than ($\bar{x}\pm s$) 2.2%, are represented by the 400, 600, 1,600, 1,800 and 2,000 mm classes. Ferreira *et al.* (2018) correlated total annual rainfall with SST anomalies in the Atlantic and Pacific, and found that these have a great influence on the total annual rainfall. This explains the wide variability in total rainfall volume, since SST anomalies are seasonal, and influence the atmospheric systems.

The intra-annual rainfall distribution in the district of Iguatu is characterised by its monthly irregularity (Figure 3). There are two distinct periods for total monthly rainfall during the year, a rainy season and a dry season. The rainy season occurs from December to May, with 89% of the total annual rainfall. The dry season starts in June and ends in November, accounting for the remaining 11%. It should be noted that for the central-sertão region the hydrological year starts in December. Therefore, when carrying out hydrological studies in this region, attention should be paid to the beginning of the hydrological year.

Dos 45 anos da série, 25 anos apresentaram precipitações abaixo da média histórica, dos quais 7 foram abaixo do limite inferior de 696,5 mm ($\bar{x}-s$). Enquanto com precipitação anual acima da média histórica foram 19 anos, sendo 7 acima do limite superior de 1.296,8 mm ($\bar{x}+s$). Dois períodos de maior prolongamento dos totais precipitados anuais abaixo da normal climatológica podem ser observados na Figura 2. O primeiro período foi de 1981 a 1984, com uma média anual de 668,3 mm ano⁻¹, expressando uma sequência de anos com precipitação inferior à média anual em 33%. O segundo período de 2012 a 2018 compoendo uma sequência de 7 anos com uma média de 898,6 mm ano⁻¹. Um fato a ser considerado é que a ocorrência de dois períodos longos de secas e a constante alternância entre anos muito chuvosos e secos imprimem à região a característica de que a variabilidade temporal é um fator determinante no déficit hídrico da região, mais importante, portanto, do que a média pluviométrica anual (ANDRADE, 2017).

Ao observar as frequências de ocorrência das precipitações pluviométricas anuais (Figura 2b), constatou-se que a maioria dos eventos foram registrados na classe de 1.000,0 mm ano⁻¹, perfazendo 37,8% dos anos observados, seguida pelas classes 800 e 600 mm ano⁻¹ com 22,2% e 13,3% das observações, respectivamente. Tal fato expressa que a maioria dos totais das precipitações pluviométricas anuais ocorrem entre 500 e 1.100 mm ano⁻¹, que correspondem a 73,3% dos anos. Enquanto os eventos extremos, que são os eventos superiores a ($\bar{x}\pm s$) 2,2% cada, representados pelas classes 400, 600, 1.600, 1.800 e 2.000 mm. Ferreira *et al.* (2018) correlacionou a precipitação pluviométrica total anual com as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e constatou que há grande influência das mesmas sobre os totais anuais da precipitação. Tal fato explica a grande variabilidade do volume total precipitado de chuva, já que as anomalias de TSM são sazonais e influenciam os sistemas atmosféricos.

A distribuição intra-anual das chuvas no município de Iguatu é caracterizado por sua irregularidade mensal (Figura 3). Percebe-se dois períodos distintos na distribuição dos totais mensais de chuva durante o ano, uma estação chuvosa e outra seca. A estação úmida ocorre de dezembro a maio, detendo 89% do total precipitado no ano. A estação seca inicia em junho e termina em novembro, sendo, então, responsável pelos 11% restantes da precipitação pluviométrica anual. Nota-se que o ano hidrológico para a região sertão-central se inicia em dezembro, portanto, ao se fazer estudos hidrológicos sobre essa região deve-se ficar atento ao início do ano hidrológico.

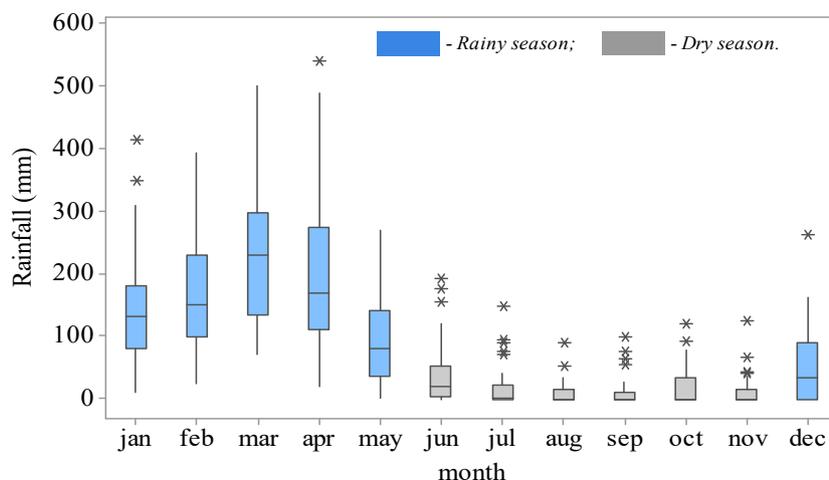


Figure 3 - Monthly rainfall distribution for the district of Iguatu, Ceará, from 1974 to 2018.

Figura 3 - Distribuição da precipitação pluviométrica mensal para o município de Iguatu, Ceará, para o período de 1974 a 2018.

The rainy season in the states of the northeast of Brazil reaches its peak during March, April and May (rainy quarter), when the Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ) is further to the south (6° S) (SILVA *et al.*, 2011). In the study area, this is demonstrated by the maximum rainfall, which occurs during March and April, corresponding to 43% of the total rainfall for the year. The ITCZ therefore proves to be the main atmospheric system responsible for the rainfall in this region, as previously discussed by various researchers (GUERREIRO *et al.*, 2013; ANDRADE *et al.*, 2017).

It can be seen that during the rainy season the months show a wide variability in data, evidenced by the distance between Q1 and Q4 in the boxplot (interquartile range) (Figure 3). Such behaviour expresses a wide range, with dispersion around the median, and divides the population into two equal parts in terms of number of events. The events show no symmetry in their distribution, as can be seen by the location of the median. For each month of the rainy season events tend to be closer to Q1, except for March, which tends to approach Q3. It can also be seen that in January the distribution tends to be symmetrical, since the median lies between Q2 and Q3 (Figure 3).

A estação chuvosa nos estados do Nordeste brasileiro atinge seu ápice nos meses de março, abril e maio (trimestre chuvoso), quando a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) está mais ao Sul (6° S) (SILVA *et al.*, 2011). Na área de estudo se evidencia tal fato pelas máximas precipitações pluviométricas que ocorrem nos meses de março e abril, correspondendo a 43% do volume total de chuvas do ano. Desta forma, a ZCIT se mostra como o principal sistema atmosférico responsável pelas chuvas nessa região como já discutido por distintos pesquisadores (GUERREIRO *et al.*, 2013; ANDRADE *et al.*, 2017).

Verifica-se que os meses do período chuvoso apresentam uma grande variabilidade dos dados, evidenciado pelo distanciamento entre Q1 e Q4 na caixa do boxplot (intervalo interquartil) (Figura 3). Tal comportamento expressa elevada amplitude e dispersão em torno da mediana, e divide a população em duas partes iguais quanto ao número de eventos. Os eventos não apresentam simetria em sua distribuição como pode ser visto pela localização da mediana. Para todos os meses da quadra chuvosa, os eventos apresentam tendência de estarem mais próximas do Q1, com exceção de março que apresenta tendência de se aproximar do Q3. Identifica-se, também, que no mês de janeiro a distribuição tende a ser simétrica, já que a mediana está centralizada entre Q2 e Q3 (Figura 3).

The rainfall events are therefore uncertain, as values alternate between very low and very high. This demonstrates the variability of the rainfall, and shows a tendency towards extreme monthly events, since monthly rainfall depths below the median are closer together and those above the median are more dispersed. In addition, in one month (march/2019), it rained more than the annual total of one dry year (1983) (Figure 2).

During the dry season (june to november), the rainfall has a smaller range compared to the rainy season, i.e. the smaller range between Q2 and Q3, in addition to the median, which is close to zero (Figure 3) and which characterises months where the total rainfall is equal to zero. Furthermore, during this period, the occurrence of a greater number of extreme events can be seen, i.e. throughout the period, there is a diversity of isolated events which are 1.5 times greater than for Q3. Due to the historical temperature series (1996-2017) being shorter than the historical rainfall series, the Standardised Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) and the dry spells were calculated based on data from the previous 22 years.

Dry spells

When analysing the total occurrence of dry spells by class, it was found that class I (Table 2) had the highest number of events, with a total of 127 observations, followed by class II with 35, and classes III and IV with 18 and 13 observations respectively. An annual average of nine events were seen during the study period, more than found by Fernandes (2014), and Soares and Nóbrega (2009). The above authors counted an average of five dry-spell events for the district of Quixeramobim, Ceará, and seven for the sertão of Pernambuco; this variation may be related to the period evaluated in each study.

The largest number of class IV dry spells was registered during 2012, with 48 consecutive days with no rain or with rainfall of less than 2 mm, more than found by Pereira (2014), with 20 to 36 days for the entire northeast of Brazil (between 1911 and 2006). This variation may be related to the limit of 1 mm that Pereira (2014) considered for the CDD, which may consequently have included fewer dry spells, this is in addition to the period under study, which may have included more dry spells, since this phenomenon is seen to be increasing. In fact, the occurrence of dry spells is a characteristic of the semi-arid region in Brazil, and their duration and quantity vary over time and space (FERNANDES, 2014).

Desta forma, observa-se que há incerteza nos eventos de chuva, pois os valores são muito baixos e muito altos alternadamente. O que evidencia a variabilidade dos eventos e demonstra tendência a eventos mensais extremos, já que as alturas pluviométricas mensais inferiores à mediana estão mais próximos e os superiores estão mais dispersos. Além disso, em um único mês (março/2019) choveu mais que o total anual em um ano seco (1983) (Figura 2).

No período de estiagem (junho a novembro), identifica-se menor amplitude das chuvas quando comparadas ao período chuvoso, demonstrado pela menor amplitude entre Q2 e Q3, além de apresentarem mediana próximo de zero (Figura 3), o que caracteriza meses com total precipitado igual a zero. Ademais, neste período, identifica-se a ocorrência de um maior número de eventos extremos, ou seja, apresenta diversidade de eventos isolados durante todo o período, que são superiores ao Q3 em 1,5 vezes. Devido à série histórica de temperatura (1996-2017) ser inferior à série histórica de precipitação, os cálculos do Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI) e dos veranicos se fundamentou nos dados dos últimos 22 anos.

Veranico

Ao analisar a ocorrência total de veranicos por classe, observou-se que a classe I (Tabela 2) foi a que apresentou maior quantidade de eventos, em um total de 127 observações, seguida pela classe II com 35 e pelas classes III e IV com 18 e 13 observações, respectivamente. O período estudado apresentou média anual de 9 eventos, resultado este superior ao encontrado por Fernandes (2014) e Soares e Nóbrega (2009). Os referidos autores quantificaram média de 5 eventos de veranicos para o município de Quixeramobim (CE) e 7 para o sertão pernambucano, respectivamente, essa variação pode estar relacionada ao período avaliado entre os trabalhos.

O maior número de veranicos da classe IV foi registrado no ano de 2012, com 48 dias consecutivos sem chuva ou com chuva abaixo de 2 mm, sendo superior ao encontrado por Pereira (2014), com 20 a 36 dias para todo o Nordeste brasileiro (entre 1911 e 2006). Tal variação pode estar relacionada ao limite atribuído para considerar como DSC que Pereira (2014) utilizou 1 mm, o que pode ter incluído menos veranicos, além do período estudado que pode influenciar a ocorrência de mais veranicos, já que vem sendo observado o aumento deste fenômeno. De fato, a ocorrência de veranicos é uma característica do semiárido brasileiro e sua duração e quantidade é variável ao longo do tempo e do espaço (FERNANDES, 2014).

Table 2 - Occurrence of dry spells of different classes for the district of Iguatu, Ceará*Tabela 2* - Ocorrência de veranicos para diversas classes para o município de Iguatu, Ceará

Hydrological year	Class (day)				Total
	I (5-10)	II (11-15)	III (16-20)	IV (>20)	
Dec/95 - May/96	5	0	0	2	7
Dec/96 - May/97	5	1	1	1	8
Dec/97 - May/98	11	1	0	1	13
Dec/98 - May/99	9	2	0	0	11
Dec/99 - May/00	4	1	1	0	6
Dec/00 - May/01	5	2	2	0	9
Dec/01 - May/02	8	2	0	0	10
Dec/02 - May/03	4	3	0	1	8
Dec/03 - May/04	5	2	0	0	7
Dec/04 - May/05	5	3	0	2	10
Dec/05 - May/06	8	2	0	0	10
Dec/06 - May/07	4	3	0	1	8
Dec/07 - May/08	7	2	0	0	9
Dec/08 - May/09	4	1	0	1	6
Dec/09 - May/10	9	1	1	1	12
Dec/10 - May/11	6	2	0	0	8
Dec/11 - May/12	2	0	1	3	6
Dec/12 - May/13	5	1	1	2	9
Dec/13 - May/14	7	2	2	0	11
Dec/14 - May/15	5	2	0	2	9
Dec/15 - May/16	3	1	3	1	8
Dec/16 - May/17	6	1	1	0	8
Total	127	35	13	18	193
Mean	6	2	1	1	9

It was found that the dry-spell events follow an inverse trend to the annual rainfall, i.e. years with high rainfall show a lower number of dry-spell events and vice versa (Figure 4). A similar result was found by Fernandes (2014), who separated the years into rainfall class, and identified that for the greatest total annual rainfall there are fewer dry spells. Soares and Nóbrega (2009) found not only a greater number of dry spells in years of low rainfall, but also a tendency towards longer dry spells.

Observou-se que os eventos de veranicos seguem uma tendência inversa à precipitação pluviométrica anual, ou seja, anos com precipitação elevada apresentam uma menor quantidade de eventos de veranicos e vice e versa (Figura 4). Resultado semelhante foi encontrado por Fernandes (2014), que separou os anos em classes de precipitação e identificou que nas maiores alturas pluviométricas totais anuais há menor ocorrência de veranicos. Soares e Nóbrega (2009) também observaram não só maior número de veranicos em anos com baixa precipitação pluviométrica, mas também tendência de ocorrência de veranicos mais longos.

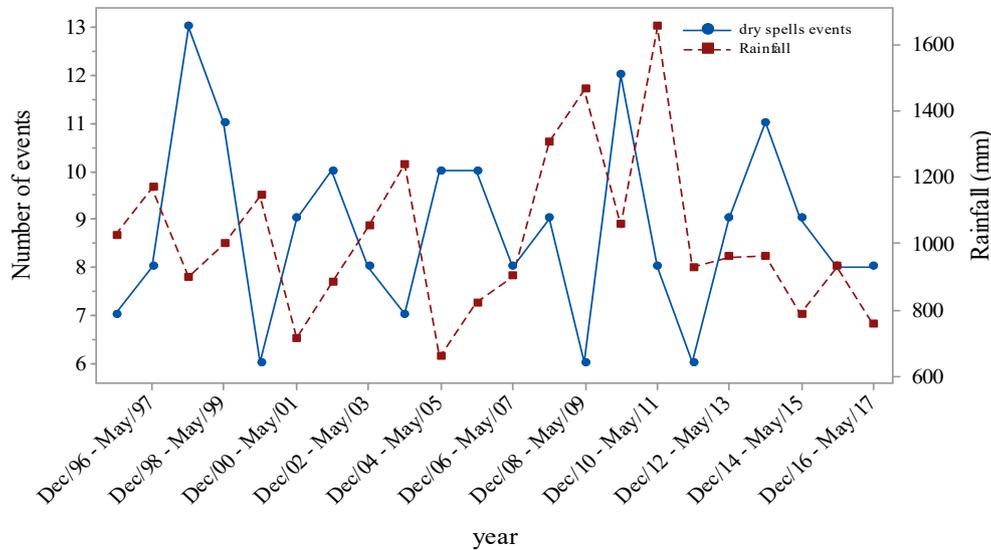


Figure 4 - Rainfall distribution and dry spells (1997-2017).

Figura 4 - Distribuição da precipitação pluviométrica e dos veranicos (1997-2017).

This variation in the occurrence of dry spells is mainly related to the Tropical Atlantic Dipole Pattern, which in turn, together with the SST anomalies in the Pacific, has a great influence on the rainfall regime in the northeast of Brazil (MENEZES *et al.*, 2008; MARENGO, *et al.*, 2011). Considering future projections for climate change that report an increase in temperature and a reduction in rainfall in addition to an increase in consecutive dry days (MARENGO *et al.*, 2016), the situation in semi-arid regions may become worse, as a reduction in the total rainfall depth is already being seen (BRITO *et al.*, 2017; MARENGO *et al.*, 2017). Dry spells can cause much damage to agricultural production and forest development, since the greater the number of consecutive dry days, the less moisture there is in the soil, resulting in a water deficit in the plants (MENEZES *et al.*, 2010).

In the present study, there was a reduction in short-term dry-spell events of 5 to 10 days duration (Figures 5a and 5b), which are responsible for 66% of all dry-spell events. When investigating the other classes, an increase was found in the longer dry spells, those greater than 16 days (Figures 5d and 5e). This confirms the reports of other researchers (MENEZES *et al.*, 2008; MENEZES *et al.*, 2010; FERNANDES, 2014) who found a reduction in the number of shorter dry spells and an increase in the number of longer dry spells (PEREIRA, 2014). Such a situation expresses a trend towards greater water scarcity and/or a greater occurrence of extreme events, which is a characteristic of climate change (GUERREIRO *et al.*, 2013).

Essa variação da ocorrência de veranicos está relacionada principalmente ao Padrão de Dipolo do Atlântico Tropical, que por sua vez tem grande influência sobre o regime pluviométrico do Nordeste brasileiro juntamente com as anomalias TSM no Pacífico (MENEZES *et al.*, 2008; MARENGO, *et al.*, 2011). Considerando as projeções futuras para as mudanças climáticas que relatam aumento da temperatura e redução das chuvas, além do aumento de dias secos consecutivos (MARENGO *et al.*, 2016), a situação nas regiões semiáridas pode se agravar, pois já se observa redução da altura total precipitada (BRITO *et al.*, 2017; MARENGO *et al.*, 2017). Assim, os veranicos podem trazer diversos prejuízos à produção agrícola e ao desenvolvimento das florestas, pois quanto maior o número de dias secos consecutivos menor será a umidade do solo, resultando em déficit hídrico na planta (MENEZES *et al.*, 2010).

Neste estudo, observou-se redução de veranicos relacionada a ocorrência de eventos curtos, de 5 a 10 dias (Figuras 5a e 5b), que são responsáveis por 66% de todos os eventos de veranicos. Ao investigar as outras classes, verificou-se aumento dos veranicos mais longos, superiores a 16 dias (Figuras 5d e 5e). Isso confirma os relatos de pesquisadores (MENEZES *et al.*, 2008; MENEZES *et al.*, 2010; FERNANDES, 2014), que observaram redução dos veranicos mais curtos e aumento dos veranicos mais longos (PEREIRA, 2014). Tal situação expressa tendência a maior escassez hídrica e/ou maior ocorrência de eventos extremos. A ocorrência de eventos extremos é uma característica das mudanças climáticas (GUERREIRO *et al.*, 2013).

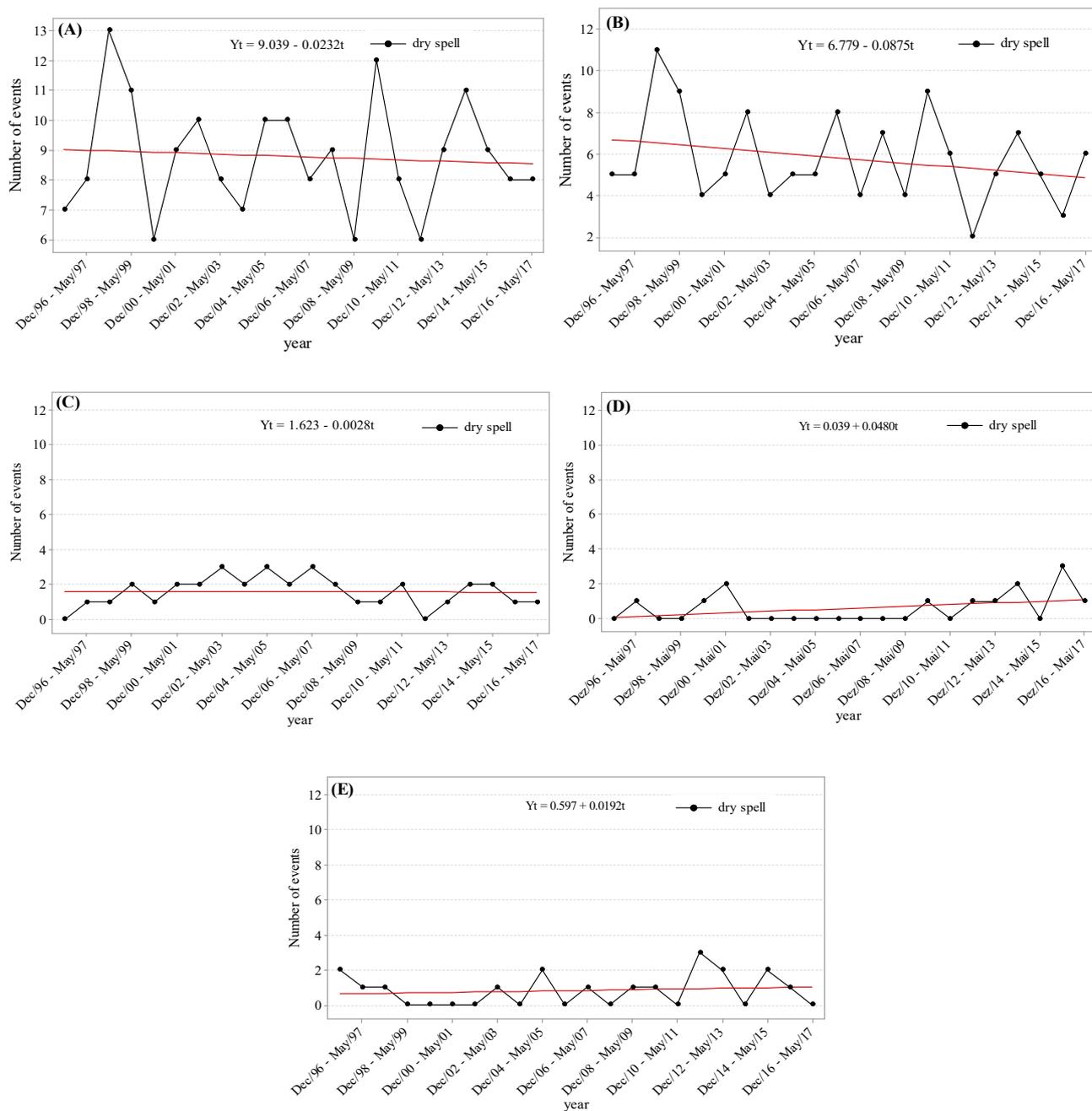


Figure 5 - Time series of the number of dry-spell events for the district of Iguatu, Ceará. A. Time series of the total number of dry-spell events; B Time series of the number of dry-spell events for the class of 5-10 CDD; C. Time series of the number of dry-spell events for the class of 11-15 CDD; D. Time series of the number of dry-spell events for the class of 16-20 CDD; E. Time series of the number of dry-spell events for the class of >21 CDD.

Figura 5 - Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para o município de Iguatu-Ce. a. Série temporal da quantidade total de eventos de veranicos; b. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (5-10 DSC); c. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (11-15 DSC); d. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (16-20 DSC); e. Série temporal da quantidade de eventos de veranicos para a classe (>21 DSC).

Temperature

The mean temperature recorded in the region was 27.9 ± 0.48 °C, with a maximum mean value of 33.5 ± 0.69 °C and a minimum of 22.4 ± 0.38 °C (Table 3). The lowest value for minimum temperature was 21.5 °C, recorded in 1999, and the highest was 23 °C, recorded in 2013, a range of 1.5 °C. The lowest value for maximum temperature (32.6 °C) was recorded in 1997; 1999 and 2000, and the highest (34.8 °C), in 2015, with a range of 2.25 °C.

Temperatura

A temperatura média registrada na região é de $27,9 \pm 0,48$ °C, com média máxima de $33,5 \pm 0,69$ °C e uma mínima com $22,4 \pm 0,38$ °C (Tabela 3). O menor valor da temperatura mínima foi de 21,5 °C em 1999 e o maior valor foi de 23 °C em 2013, com amplitude de 1,5 °C. Já para a temperatura máxima registrou-se os menores valores em 1997; 1999 e 2000, com 32,6 °C e o maior valor de 34,8 °C em 2015, com uma amplitude de 2,25 °C.

Table 3 - Temperature analysis for the district of Iguatu, Ceará

Tabela 3 - Análise da temperatura para o município de Iguatu, Ceará

Temperature	Value			sd	cv	Range
	minimum	mean	maximum			
Maximum	32.6	33.5	34.8	0.69	2.06	2.25
Mean	27.0	27.9	28.6	0.48	1.72	1.58
Minimum	21.5	22.4	23.0	0.38	1.68	1.50

sd = standard deviation, cv= coefficient of variation.

dp = desvio padrão, cv= coeficiente de variação.

During the last few decades there has been an increase in mean temperature in several areas of the northeast (ANDRADE, 2011; MARENGO *et al.*, 2016) and in other semi-arid regions (SINGH *et al.* 2015). In the present study, an annual increase of 0.03 and 0.05°C was seen in the mean and maximum temperature respectively at a significance level of 5%; this was not seen for the minimum temperature (Figure 6) (Table 2). Dantas *et al.* (2015) found the same increase of 0.05 °C in the maximum temperature (1975 to 2011) in Campina Grande, Paraíba. These values are within the range found by Singh *et al.* (2015), who showed an increase of 0.04-0.09 °C in semi-arid regions, with these increases occurring mainly over the last 5 to 10 years.

It was found that temperature trends in the northeast of Brazil are mainly related to increases seen in the maximum temperature, as reported by several authors (MOURA *et al.*, 2007; ANDRADE, 2011; LIMA *et al.*, 2012), in addition to occurrences in more recent decades (ANDRADE, 2011; SINGH *et al.*, 2015).

Nas últimas décadas vem-se observando aumento da temperatura média em diversas regiões do Nordeste (ANDRADE, 2011; MARENGO *et al.*, 2016) e em outras regiões semiáridas (SINGH *et al.* 2015). Nesse estudo, observou-se incremento anual de 0,03 e 0,05 °C na temperatura média e máxima, respectivamente, a um nível de significância de 5%, o que não foi observado para a temperatura mínima (Figura 6) (Tabela 2). Dantas *et al.* (2015) observaram o mesmo incremento de 0,05 °C na temperatura máxima (1975 a 2011), em Campina Grande-PB. Tais valores estão dentro do encontrado por Singh *et al.* (2015), que mostrou um aumento 0,04-0,09 °C em regiões semiáridas, com tais aumentos ocorrendo, principalmente, nos últimos 5 a 10 anos.

Verificou-se que as tendências de temperatura no Nordeste brasileiro estão relacionadas, principalmente, aos aumentos observados na temperatura máxima conforme vêm sendo relatado por diversos autores (MOURA *et al.*, 2007; ANDRADE, 2011; LIMA *et al.*, 2012), além da ocorrência nas décadas mais recentes (ANDRADE, 2011; SINGH *et al.*, 2015).

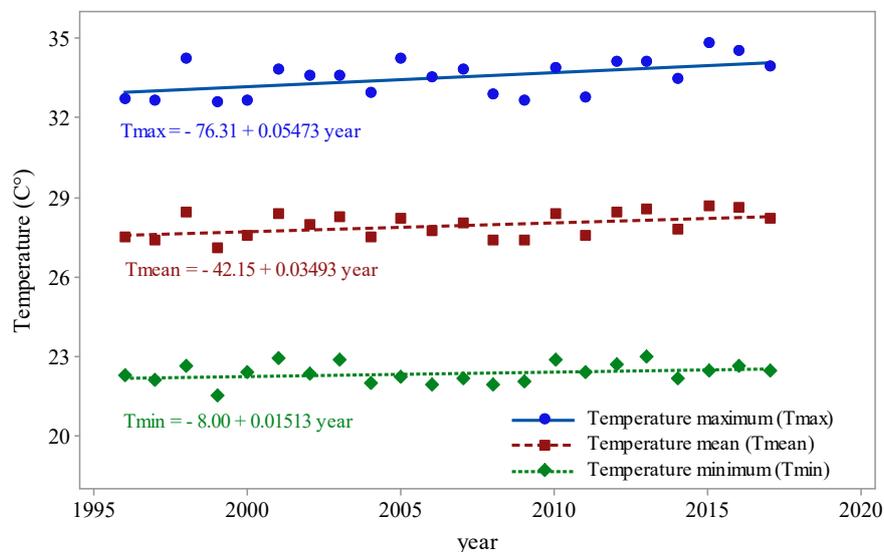


Figure 6 - Distribution of the annual minimum, mean and maximum temperature, Iguatu, Ceará.

Figura 6 - Distribuição da temperatura mínima, média e máxima anual, Iguatu, Ceará.

Variations in temperature are related to energy exchange with the atmosphere, while increases in temperature express the greater amount of energy available in the form of sensitive heat during the day (ANDRADE, 2011), and is a possible reflection of the expansion of urban areas and a reduction in areas of plant cover. The higher rate of increase in maximum temperature may reflect an increase in the release of long waves by the soil; this indicates that surfaces with a higher albedo, or which use solar energy in biological processes, are being replaced by surfaces with a greater capacity for energy absorption, and the release of that energy as long waves (ANDRADE, 2011; DANTAS, *et al.*, 2015).

Higher temperatures will result in higher rates of evapotranspiration and a consequent increase in water deficiency, which can cause areas of high climate risk to extend to most agricultural crops (LIMA *et al.*, 2012). Simulation models have predicted an increase in temperature and a possible impact on Brazilian agriculture (MARENGO *et al.*, 2016); as such, the climate situation in semi-arid regions may become worse, with more frequent drought situations.

A variação de temperatura está relacionada às trocas de energia com a atmosfera e esse aumento da temperatura expressa a maior quantidade de energia disponível na forma de calor sensível durante o dia (ANDRADE, 2011), sendo um possível reflexo da expansão das áreas urbanas e redução de áreas com cobertura vegetal. A maior taxa de aumento da temperatura máxima pode refletir aumento da liberação de ondas longas pela terra, indicando que superfícies de albedo mais alto ou que empregam energia solar em processos biológicos estão sendo substituídas por superfícies com maior capacidade de absorção de energia e liberação dessa energia em ondas longas (ANDRADE, 2011; DANTAS, *et al.*, 2015).

Temperaturas mais elevadas resultará em maiores taxas de evapotranspiração e consequente aumento da deficiência hídrica, o que pode provocar a expansão de áreas com alto risco climático para a maior parte das culturas agrícolas, (LIMA *et al.*, 2012). Modelos de simulação têm previsto aumento de temperatura e possível impacto na agricultura brasileira (MARENGO *et al.*, 2016); portanto, a situação climática das regiões semiáridas pode se agravar apresentando situações de seca mais frequentes.

Standardised Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI)

Drought is a complex phenomenon that is difficult to understand, given that some severe drought events may be masked by short rainfall events, with the actual water demand of an ecosystem not being met (BEGUERÍA *et al.*, 2014). A drought index is able to determine various characteristics of the drought, such as duration, intensity and severity.

Cycles were found that alternated wetter periods with periods of drought, and which varied between 4 and 21 months (Figure 7). In Figure 7, four wet periods and five dry periods were identified in the region of Iguatu, Ceará. The longest wet period was between april 2008 and february 2010, although march and april 2009 were considered normal; the most intense wet period was between april 2011 and april 2012, while the other wet periods included january to november 2000 and july to december 2004 (Figure 7).

The longest dry period was between april 2015 and december 2017, and the most intense from january to october 2013. The shortest dry periods included january to april 1999, september to december 2001, february 2005 and september 2006 (Figure 7). The highest and lowest SPEI values respectively, were found from April 2011 to march 2012 (SPEI = 1.90), a very wet period, and from january to october 2013 (SPEI = -1.97), a very dry period.

Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI)

A seca é um fenômeno complexo e de difícil entendimento, haja vista que alguns eventos de seca severa podem ser mascarados por curtos eventos de chuvas, causando o não atendimento da demanda real de água do ecossistema (BEGUERÍA *et al.*, 2014). Um índice de seca é capaz de determinar várias características da seca, como duração, intensidade e severidade.

Observou-se ciclos que intercalaram períodos mais úmidos com períodos de seca que variaram entre 4 e 21 meses (Figura 7). Nessa Figura foram identificados 4 períodos úmidos e 5 períodos secos na região de Iguatu-CE. Em relação aos períodos úmidos, o mais longo foi observado entre abril de 2008 e fevereiro de 2010, embora março e abril de 2009 tenham sido considerados normais, o mais intenso foi o ocorrido entre abril de 2011 a abril de 2012, enquanto os outros períodos úmidos foram entre janeiro e novembro de 2000 e julho a dezembro de 2004 (Figura 7).

Já para o período seco, o mais longo foi observado entre abril de 2015 e dezembro de 2017, e o mais intenso registrado de janeiro a outubro de 2013. Os períodos secos mais curtos compreenderam janeiro a abril de 1999, setembro a dezembro de 2001, fevereiro de 2005 e setembro de 2006 (Figura 7). O maior e o menor valor do SPEI, respectivamente, foram encontrados no período de abril de 2011 a março de 2012 (SPEI = 1,90), período muito úmido, e no período de janeiro a outubro de 2013 (SPEI = -1,97), período muito seco.

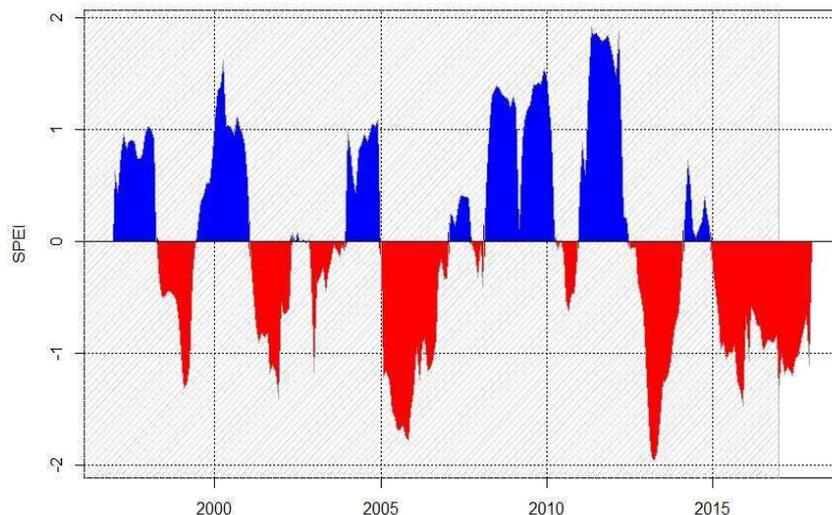


Figure 7 - Twelve-month SPEI applied to the study area to identify wet and dry periods.

Figura 7 - SPEI de 12 meses aplicado a área de estudo para identificação dos períodos secos e úmidos.

Longer and/or more-intense dry periods result in a higher rate of potential evapotranspiration (PET), shown in Figure 7 by means of the SPEI, which can affect the future occurrence, intensity and magnitude of droughts. In their projections, Vicente-Serrano *et al.* (2010) found that in regions with high average temperatures, the case of the Brazilian semi-arid region, an increase of 2 °C in the temperature would cause an increase in water loss due to greater demand by the PET. It is known that evaporation and transpiration can consume up to 80% of the rainfall (ABRAMOPOULOS *et al.*, 1988), aggravating the situation when drought is the result of temperature anomalies that generate a greater loss of moisture than the lack of rain.

Following the classification proposed by Vicente-Serrano *et al.* (2010), the Normal class was the most frequent for the area under analysis (Table 1). Over a period of twelve months, the SPEI index showed a frequency of 153 observations (61%) that were classified as Normal; the second predominant class was Moderately Dry with 40 observations (16%), while there were 35 observations (14%) for Moderately Humid (Figure 8). There were 13 (5%) and 11 (4%) observations respectively for the Extremely Dry and Extremely Humid classes (Figure 8).

Períodos secos mais longos e/ou intensos resultam em maior taxa de evapotranspiração potencial, (PET), exemplificado na Figura 7 por meio do SPEI, que pode afetar as futuras ocorrências, intensidades e magnitudes das secas. Vicente-Serrano *et al.* (2010), em suas projeções, observaram que em regiões de alta temperatura média, caso do semiárido brasileiro, o acréscimo de 2 °C na temperatura acarretaria aumento das perdas de água devido à maior demanda desta pela PET. Sabe-se que a evaporação e a transpiração podem consumir até 80% da chuva (ABRAMOPOULOS *et al.*, 1988), agravando a situação quando a seca é resultante das anomalias de temperatura, que geram mais perdas de umidade que a falta de chuvas.

Seguindo a classificação proposta por Vicente-Serrano *et al.* (2010), a classe normal foi a mais frequente para o local analisado (Tabela 1). Para um período de doze meses, o índice SPEI apresentou frequência de 153 observações (61%) classificadas como normal, a segunda classe predominante foi a moderadamente seco com 40 observações (16%), enquanto moderadamente úmido obtiveram 35 observações (14%). As classes extremamente seco e úmido ficaram com 13 (5%) e 11 (4%) observações, respectivamente. Não foram observados valores correspondentes a úmido (Figura 8).

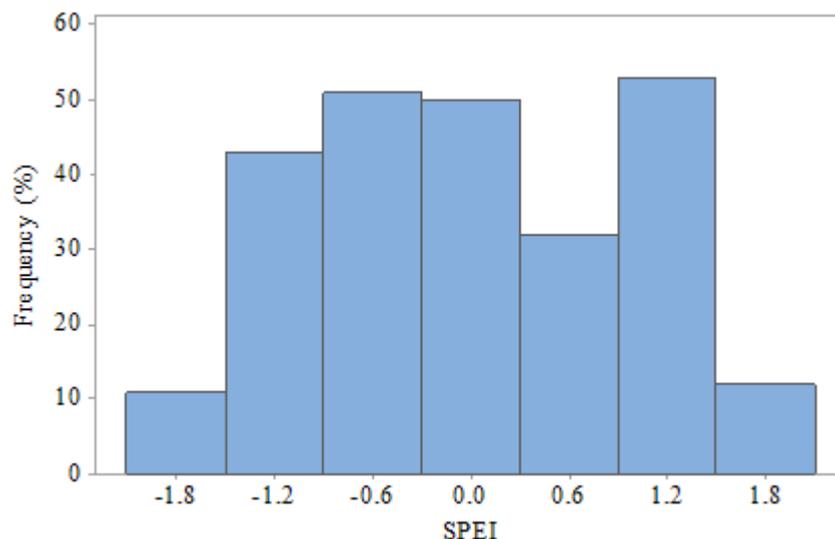


Figure 8 - Frequency of SPEI observations for the district of Iguatu, Ceará.

Figura 8 - Frequência de observação do SPEI para o município de Iguatu, Ceará.

CONCLUSIONS

Extreme rainfall events are common and alternate between rainy years and years of drought;

The last seven years show a total annual rainfall below the historical average; this, however, is not the most critical period;

There is a reduction in the number of shorter dry-spell events, with a consequent reduction in the total number of events; however, events of longer duration show an increasing trend;

The temperature displayed an increasing pattern throughout the study period, with higher maximum annual temperatures (0.05 °C) and lower annual minimums (0.01 °C);

The increase in maximum temperature and the reduction in rainfall is believed to be the consequence of climate change.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq (Scholarship for Young Talents, process 400079/2013-5), and the Postgraduate Program in Agricultural Engineering of the Federal University of Ceará-PPGEA/UFC. The authors also wish to thank the Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico-FUNCAP for their scientific and financial support.

CONCLUSÕES

Os eventos extremos pluviométricos são comuns e apresentam alternância entre anos de seca e anos chuvosos;

Os últimos sete anos apresentam precipitações totais anuais abaixo da média histórico, contudo, não é o mais crítico;

Há redução na quantidade de eventos de veranico de menor duração, por consequência, diminuiu a quantidade total de eventos, todavia, os eventos de maior duração apresentam tendência de aumento;

As temperaturas expressaram um padrão de aumento ao longo do período estudado, sendo maiores para as temperaturas máximas anuais (0,05 °C) e menores para as temperaturas mínimas anuais (0,01 °C);

Desta forma, acredita-se que o aumento da temperatura máxima e a redução das chuvas apontam para a consequência das mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq (Bolsa Jovens Talentos, processo 400079/2013-5), a Universidade Federal do Ceará - UFC, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola-PPGEA/UFC e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico-FUNCAP pelo apoio científico e financeiro.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- ABRAMOPOULOS, F.; ROSENZWEIG, C.; CHOUDHURY, B. Improved Ground Hydrology Calculations for Global Climate Models (GCMs): Soil Water Movement and Evapotranspiration. **Journal Climate**, v. 1, p. 921-941, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1988\)001<0921:IGHCFG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1988)001<0921:IGHCFG>2.0.CO;2)
- ANDRADE, E. M. A. Floresta Tropical Seca, Caatinga: as Certezas e Incertezas das Águas. TRIM: **Revista de Investigación Multidisciplinar**, n. 12, p. 11-20, 2017.
- ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CHAVES, L. C. G.; LOPES, F. B. Water as Capital and Its Uses in the Caatinga. In: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America. [s.l.], Spring, 2017. Cap. 10, p. 281-302. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3>
- ANDRADE, E. M.; RODRIGUES, M. M. A.; MENDONÇA, M. A. B.; CHAVES, L. C. G.; FEITOZA, R. M. Investigation of the maximum and minimum temperatures in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 5, n. 2, p. 82-87, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v5i2.514>
- BEGUERÍA, S.; VICENTE-SERRANO, S. M.; REIG, F.; LATORRE, B. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 3001-3023, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.3887>
- BOHN, V. Y.; PICCOLO, M. C. Índice padronizado de precipitação e evapotranspiração como uma ferramenta para determinar a dinâmica hidrológica de regiões planas (Argentina). **Revista Geociências**, v. 37, n. 3, 2018.
- BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CUNNINGHAM, C. C.; ALVALÁ, R. C.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517-529, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5225>
- DANTAS, L. G.; SANTOS, C. A. C.; OLINDA, R. A. Tendências anuais e sazonais nos extremos de temperatura do ar e precipitação em Campina Grande-PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 423-434, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130088>
- FEITOSA, R. C. **Estoque de carbono em Floresta Tropical Sazonalmente Seca no nordeste do Brasil: Uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 96f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- FERNANDES, F. B. P. **Disponibilidade hídrica para a cultura do feijão-de-corda em função do manejo de solo no semiárido cearense**. Fortaleza, Ceará. 2014. 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- FERNANDES, F. B. P.; LACERDA, C. F.; ANDRADE, E. M.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 506-515, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150032>
- FERREIRA, P. S.; SOUZA, W. M.; SILVA, J. F.; GOMES, V. P. Variabilidade Espaço-Temporal das Tendências de Precipitação na Mesorregião Sul Cearense e sua Relação com as Anomalias de TSM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 141-152, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786331006>
- GUERREIRO, M. J. S.; ANDRADE, E. M.; LAJINHA, I. A. T. Long-term variation of precipitation indices in Ceará State, northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 14, p. 2929-2939, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.3645>
- Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET/BDMEP). 2019. Available online: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-hist%C3%B3ricos>
- LIMA, J. G. A.; VIANA, P. C.; WANDERLEY, J. A. C.; MANIÇOSA, R. M.; LIMA, R. M. S. Análise de tendências na temperatura e precipitação em Caicó, Rio Grande do Norte. **Revista ACSA**, v. 8, n. 1, p. 34-38, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v8i1.209>

- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R. C. S.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973-1985, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. DA S. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. [s.l.], Campina Grande, INSA. 2011. Cap. 13, p.383-422.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil-past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 181-186, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000200009>
- MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; SANTOS, C. A. C.; SILVA, L. L. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 152-161, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862008000200004>
- MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. Clima e a água de chuva no Semi-Árido. In: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina, Embrapa Semi-Árido. 2007. Cap. 2, p. 37-58.
- PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; RAYMER, P. C. L.; RIBEIRO FILHO, J. C.; PEREIRA, F. J. S. Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 32-40. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160004>
- PEREIRA, E. R. R. **Índices pluviométricos na análise da intensidade e variabilidade regional das chuvas no nordeste do Brasil**. **Campina Grande, Paraíba**. 2014. 100f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina, Campina Grande.
- SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000200004>
- SINGH, A.; BILLA, L.; SOKOTO, M. B.; LADO, A.; ABDOUL-AZIZ, M. I.; SINGH, S. Temperature and Precipitation Changes and Possible Threats to Crop Production in Arid, Semi-Arid and Tropical Forest Environment. **Procedia Environmental Sciences**, v. 29, p. 26-27, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.137>
- SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Detecção de tendências na ocorrência de veranicos na microrregião do Pajeú-PE. **Revista de Geografia**, v. 26, n. 3, 2009.
- VICENTE-SERRANO, S. M. A.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. Multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. **Journal Climate**, v. 23, p. 1696-1718, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>