





A INFLUÊNCIA DOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NA CLIMATOLOGIA DA PLANÍCIE LITORÂNEA PIAUIENSE

The influence of extreme weather events on the climatology of the Coastal Plain of Piauí

Influencia de los fenómenos meteorológicos extremos en la climatología de la llanura Costera de Piauí

Luanny Gabriele Cunha Ferreira  

Instituição: Doutorado em Ciências Ambientais-UFPA/PPGCA, Belém, Pará, Brasil
luanny.ferreira@ig.ufpa.br

Alexandre Kemenes  

Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias- EMBRAPA Meio-Norte, Parnaíba, Piauí, Brasil
alexandre.kemenes@embrapa.br

Resumo: A caracterização climática de uma região está associada às oscilações ambientais e à variação climática no decorrer do tempo. Tal conhecimento pode fornecer subsídios para a manutenção dos ecossistemas, conservação dos recursos hídricos, adequação das atividades produtivas, além de outros aspectos. Diante disso, o principal objetivo deste estudo foi avaliar o histórico das influências dos eventos climáticos extremos sobre os elementos climáticos incidentes em Parnaíba, na Planície Litorânea do Piauí. Buscando analisar e interpretar o comportamento climático dessa localidade nos últimos 30 anos (1991-2020), foram obtidos os dados dos parâmetros da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na UEP de Parnaíba-PI (Embrapa Meio-Norte), como precipitação, umidade relativa, evapotranspiração, temperatura do ar e velocidade do vento. Os dados referentes às anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial (localidades Niño 1+2, 3, 3.4 e 4) e no Oceano Atlântico Tropical Norte (TNAI) e Sul (TSAI) foram obtidos por meio do site da National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). Foi utilizada a correlação simples de Pearson para avaliar a influência das anomalias de TSM sobre os elementos climáticos. Foi constatado que ocorreu uma mudança no comportamento do clima de Parnaíba, Piauí, nos últimos 30 anos (1991-2020), com a diminuição da velocidade do vento e da precipitação, bem como com o aumento da temperatura média do ar e da taxa de evapotranspiração. Essas mudanças podem estar repercutindo sobre um delicado equilíbrio ambiental, que precisa ser mais bem compreendido.

Palavras-chave: Balanço Hídrico. Normal Climatológica. Anomalias de TSM.

Abstract: The climatic characterization of a region is associated with environmental oscillations and its variation over time. Such knowledge can provide subsidies for the maintenance of ecosystems, conservation of water resources, adequacy of productive activities, among other aspects. In view of this, the main objective of this study was to evaluate the historical influences of extreme weather events on the climatic elements occurring in Parnaíba, on the Coastal Plain of Piauí. In an attempt to analyze and interpret the climatic behavior of this locality in the last 30 years (1991-2020), the data of climatic parameters were obtained from the meteorological station of the National Institute of Meteorology (INMET), located in the UEP of Parnaíba-PI (Embrapa Meio-Norte), such as precipitation, relative humidity, evapotranspiration, air temperature and wind speed. Data regarding Sea Surface Temperature (SST) anomalies in the Equatorial Pacific Ocean (Niño 1+2, 3, 3.4 and 4 locations) and in the North (TNAI) and South (TSAI) Tropical Atlantic Ocean were obtained from the National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) website. Pearson's simple correlation was used to evaluate the influence of the SST anomalies on the climate parameters. It was found that there has been a change in the climatic behavior in Parnaíba, Piauí, in the last 30 years (1991-2020), with a decrease in wind speed and precipitation, as well as an increase in average air temperature and evapotranspiration rate. These changes may be impacting a delicate environmental balance, which needs to be better understood.

Keywords: Water balance. Climatological Normal. SST anomalies.

Resumen: La caracterización climática de una región está asociada a las oscilaciones ambientales y a la variación climática a lo largo del tiempo. Tal conocimiento puede proporcionar subsidios para el mantenimiento de ecosistemas, conservación de recursos hídricos, adecuación de actividades productivas, entre otros aspectos. En vista de ello, el objetivo principal de este estudio fue evaluar las influencias históricas de los eventos climáticos extremos sobre los elementos climáticos ocurridos en Parnaíba, en la Planicie Costera de Piauí. Para analizar e interpretar el comportamiento climático de esta localidad en los últimos 30 años (1991-2020), se obtuvieron los datos de parámetros climáticos de la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología (INMET), ubicada en la UEP de Parnaíba-PI (Embrapa Meio-Norte), tales como precipitación, humedad relativa, evapotranspiración, temperatura del aire y velocidad del viento. Los datos relativos a las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Océano Pacífico Ecuatorial (localidades Niño 1+2, 3, 3.4 y 4) y en el Océano Atlántico Tropical Norte (TNAI) y Sur (TSAI) se obtuvieron a través del sitio web de la National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). Se utilizó la correlación simple de Pearson para evaluar la influencia de las anomalías de la TSM en los parámetros climáticos. Se constató que en los últimos 30 años (1991-2020) se produjo un cambio en el comportamiento climático en Parnaíba, Piauí, con una disminución de la velocidad del viento y de las precipitaciones, así como un aumento de la temperatura media del aire y de la tasa de evapotranspiración. Estos cambios pueden estar afectando a un delicado equilibrio medioambiental, que es necesario comprender mejor.

Palabras clave: Balance hídrico. Climatología normal. Anomalías de la TSM.

Submetido em: 23/09/2022

Aceito para publicação em: 11/05/2023

Publicado em: 24/05/2023

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos estudos voltados ao conhecimento da normal climatológica fica restrito, na maioria dos casos, a uma determinada localidade, indicando as condições médias da atmosfera num determinado intervalo de tempo. Com isso, pode fornecer subsídios para que o agricultor busque soluções para auxiliar no sistema de produção, permitindo planejar as épocas de plantio, práticas de manejo e períodos de colheita. Além disso, tal conhecimento poderá ser utilizado para auxiliar na manutenção dos ecossistemas, preservação dos recursos hídricos e outros trabalhos e estudos ambientais (ATAIDES; FURTADO, 2014).

O dinamismo da circulação atmosférica que rege o clima do litoral do Piauí está sob a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Anticiclone do Atlântico associado aos ventos alísios de Nordeste. De janeiro a maio, ele recobre todo o litoral e parte da porção continental, trazendo chuva abundante. A partir de maio, inicia o retorno ao Hemisfério Norte, quando as precipitações diminuem, marcando o final do período chuvoso e o início do seco (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Em outubro, chega na sua posição máxima ao norte, momento em que a força dos ventos se intensifica e o período de seca atinge o pico. A grande variabilidade climática e ambiental dessa localidade brasileira pode estar sendo regida por fatores de circulação atmosférica convencionais, mas incrementados pelas anomalias de temperatura da superfície do mar (KEMENES; FERREIRA, 2018). Esses eventos extremos podem afetar os ecossistemas naturais e a distribuição de água nos sistemas produtivos, trazendo dificuldades na produção de alimentos e abastecimento da população (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; KEMENES et al., 2012). As anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) contribuem diretamente para a determinação do regime pluviométrico de uma região, considerando que, quando as águas do Atlântico Norte (TNAI) estão mais quentes e o clima mais úmido e as águas do Atlântico Sul (TSAI) mais frias e o clima mais seco, ocorrem movimentos descendentes de ar, com menor temperatura para as regiões setentrional, central e no sertão do Nordeste, podendo inibir a formação de nuvens e diminuir a ocorrência de precipitação (NÓBREGA e SANTIAGO, 2014). A Oscilação Sul (variação da pressão atmosférica sobre o Oceano Pacífico Sul) e o El Niño (aquecimento acima da média das águas superficiais desse oceano) sofrem uma interação conhecida como Enos, que está associada às condições climáticas da região Nordeste. Quando as águas da superfície do Oceano Pacífico



estão mais quentes, os ventos alísios enfraquecem na faixa equatorial, inibem a formação de nuvens e diminuem a ocorrência de precipitação no continente, normalmente, trazendo estiagem para toda a região (LOPEZ et al., 2022).

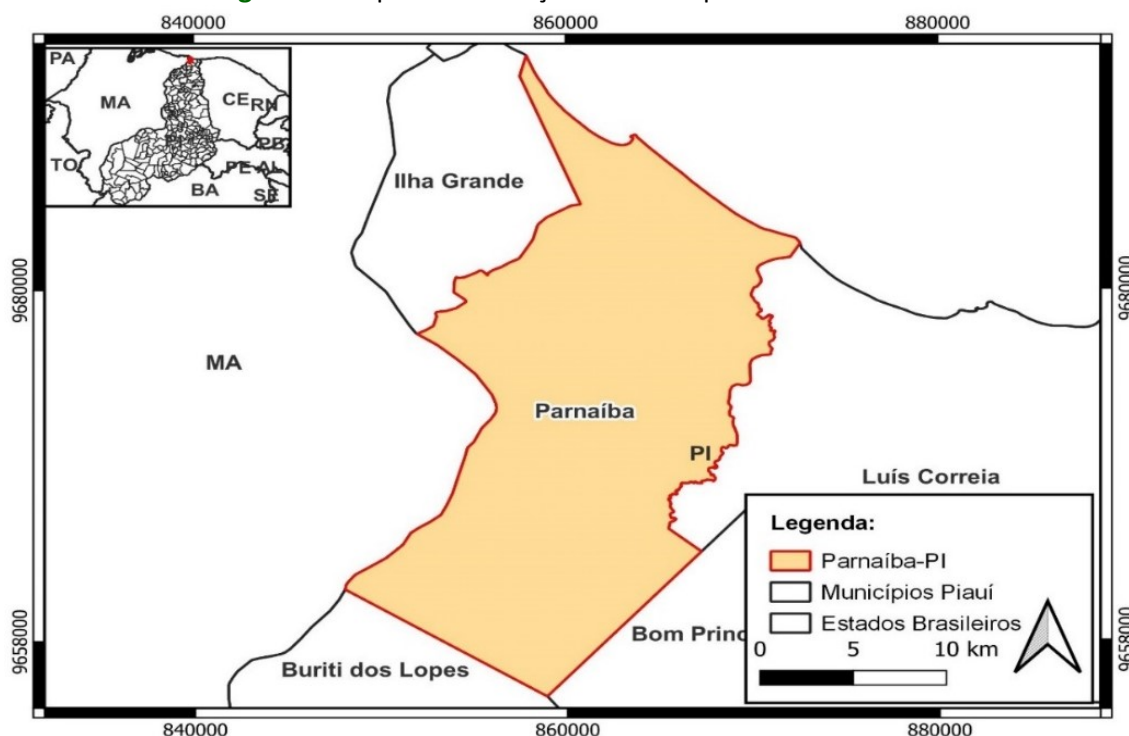
O conhecimento do comportamento atmosférico, bem como das oscilações ambientais e da variabilidade climática, trará subsídios para conscientizar a população e gerar políticas públicas, buscando alertar da necessidade da prevenção dos riscos ligados aos danos climático-ambientais, trazendo melhoria das condições sociais e econômicas da região. Peneiro e Orlando (2013) afirmaram que o conhecimento das condições climáticas do passado deve possibilitar melhor compreensão do presente e subsidiar os elementos para prever um comportamento futuro. Nesse contexto, o principal objetivo deste estudo é detalhar o histórico dos elementos climáticos e avaliar as influências dos eventos climáticos extremos sobre Parnaíba, Piauí, localizada na Planície Litorânea do Piauí.

2. METODOLOGIA

2.1. Procedimentos Metodológicos

O município de Parnaíba (Figura 1) está inserido na microrregião litoral piauiense, mesorregião Baixo Parnaíba (NASCIMENTO et al., 2019). O clima, segundo a classificação de Köppen, é “Aw”, caracterizado como megatérmico, com verão chuvoso e inverno quente e temperatura média de 27,5 °C (SANTOS FILHO et al., 2013).

Figura 1 - Mapa de localização do município de Parnaíba-PI.



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2. Informações meteorológicas

Os parâmetros climáticos foram obtidos junto à estação meteorológica 82287 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na unidade experimental da Embrapa Meio-Norte (UEP-Parnaíba), município de Parnaíba, Piauí (03°05' S; 41°46' W; altitude de 65 m) (KEMENES; FERREIRA, 2018). A estação registra temperatura do ar (média, máxima e mínima), velocidade, direção e rajada do vento, precipitação, evaporação, radiação solar, pressão atmosférica, temperatura do ponto de orvalho e umidade relativa do ar. Os valores de evapotranspiração foram determinados pelo método de Penman-Monteith (PEREIRA et al., 1997). Foram interpretados e avaliados os valores médios, máximos e mínimos de precipitação, de umidade relativa, de evapotranspiração, de temperatura do ar e de velocidade do vento, na normal climatológica (30 anos), período de janeiro de 1991 a dezembro de 2020. Os dados de evapotranspiração não foram contabilizados de janeiro de 2010 a maio de 2015 e de junho de 2018 a dezembro de 2020 devido a problemas no funcionamento de um equipamento da estação.



2.3. Balanço hídrico

O balanço hídrico climatológico local foi realizado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), numa escala mensal, elaborado a partir das normais climatológicas de temperatura média e de precipitação fornecidos da estação meteorológica INMET 82287. Essa técnica é utilizada para avaliar a disponibilidade de água no solo em decorrência da liberação de umidade pelo processo de evapotranspiração. A contabilização do suprimento natural de água no solo foi efetivada por meio da pluviosidade (P) e da demanda atmosférica pela evapotranspiração potencial (ETP), considerando-se um nível máximo possível de armazenamento (CAD) de 125 mm, de acordo com Kemenes e Ferreira (2018). O balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF) e do excedente hídrico (EXC) (CAMARGO, 1971). Porém, o balanço hídrico da normal climatológica de 1961-1990 foi comparado à de 1991-2020 no intuito de avaliar a influência das mudanças climáticas globais, como o aumento da temperatura, sobre a dinâmica do ciclo da água nessa localidade.

2.4. Eventos climáticos extremos

As informações das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico Equatorial (localidades: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4) e dos índices de temperatura da superfície do Oceano Atlântico Tropical [Atlântico Norte Tropical (TNAI) e Atlântico Sul Tropical (TSAI)] foram adquiridas por meio do site da National Oceanic and Atmospheric Administration (2005). Os valores colocados nos gráficos são referências das anomalias, correspondem às diferenças entre as temperaturas normal e alterada e podem apresentar valores positivos ou negativos. No caso do fenômeno El Niño, as diferenças são positivas, pois é o aquecimento da superfície do mar; quando são negativas, trata do resfriamento, ou seja, de um possível fenômeno La Niña.

Os valores totais acumulados de precipitação (mm) foram relacionados às anomalias de TSMs dos Oceanos Atlântico e Pacífico, por meio do índice de correlação simples de *Pearson*. Essa análise foi realizada para avaliar o grau de influência estatística sobre o clima local. O coeficiente de *Pearson* (ρ) assume valores entre -1 e +1, em que $\rho = 1$ é uma correlação positiva perfeita entre as duas variáveis e $\rho = -1$ é uma correlação negativa

perfeita, ou seja, se uma variável aumenta, a outra diminui (SNEATH; SOKAL, 1973). Se $\rho = 0$ ou muito pequeno, significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. Assim, $\rho > 0,5$ ou $\rho < -0,5$ indica uma forte correlação; para $-0,5 < \rho < -0,3$ ou $0,5 > \rho > 0,3$, a correlação é considerada moderada; e para $\rho < 0,3$ e $\rho > -0,3$, a correlação é fraca ou nula. Buscando avaliar se as correlações são estatisticamente significativas ao nível de 5% ($p < 0,05$), foi realizado o teste t (SNEATH; SOKAL, 1973).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Precipitação e umidade relativa do ar

A normal climatológica de precipitação para o período de 1991-2020 apresentou uma média anual acumulada de cerca de 1.016 mm, e o período chuvoso (entre janeiro e maio) teve um valor médio mensal pouco superior a 120 mm (Figura 2a e Tabela 1). De acordo com Lima et al. (2017), a distribuição do regime de chuvas no litoral do Piauí está diretamente correlacionada a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Os anos de 1996, 2009 e 2020 foram os mais chuvosos de toda a série histórica de 1991-2020, justificado pelo acentuado deslocamento da ZCIT para o sul, além da forte influência das brisas marítimas (DINIZ et al., 2014; KEMENES; FERREIRA, 2018) (Figura 2b). Os menores índices pluviométricos registrados no litoral piauiense foram entre junho e dezembro (período seco), com o maior déficit hídrico registrado nos anos de 1992, 1997, 1998, 2010 e 2012 (Figura 2a e Tabela 1). Segundo Nascimento et al. (2019), a mudança das correntes marítimas no litoral piauiense, nos anos mais recentes, vem gerando um decréscimo da precipitação. Para o ano de 2010, Medeiros (2016) avaliou o município de Luís Correia, a cerca de 35 km da UEP-Parnaíba, o qual registrou um regime de chuvas anuais abaixo da média histórica.

Os eventos climáticos extremos também estão trazendo influências significativas sobre o regime pluviométrico da região (KEMENES; FERREIRA, 2018). O período de 2015-2016 foi considerado o ano com um dos mais fortes eventos de El Niño, classificado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) como de intensidade extraforte, justificando a intensa seca desses anos (INMET, 2021). Os eventos climáticos extremos de 2010-2016, conectados ao baixo índice pluviométrico, causaram a seca mais severa dos últimos 100 anos em toda a região Nordeste brasileira (LIMA et al., 2017).



De acordo com Duarte, Baratto e Wollman (2016), a primeira normal climatológica registrada pelo INMET, na época chamado de Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, do período de 1961-1990, tem sido a principal referência para os estudos climáticos no Brasil. Assim, quando comparada à realizada neste estudo (1991-2020), é possível identificar que nos meses mais chuvosos (janeiro a maio) o total de precipitação acumulada reduziu em cerca de 40%, passando de 1.430 mm (1961-1990) para 852 mm (1991-2020) (Figura 3). Durante o período de seca (junho a dezembro), o regime pluviométrico total acumulado passou de 167 mm (1961-1990) para 131 mm (1991-2020). Em contrapartida, entre os períodos de 1961-1990 e de 1991-2020, os meses de julho, agosto e novembro apresentaram, respectivamente, um aumento de 11%, 76%, e 10% na precipitação média mensal. Esse comportamento, talvez, possa ser justificado pela intensa irregularidade das chuvas no interior do Nordeste brasileiro (MARENGO, 2011).

O aumento da temperatura global, provavelmente, trará uma alteração significativa no regime pluviométrico, que já foi previsto no novo relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021). O lento aumento da temperatura trará mais água para a atmosfera e, com isso, chuvas mais intensas, entretanto, a distribuição da precipitação é irregular e pouco previsível. Essas previsões climáticas, apesar de importantes para organizar as práticas necessárias para mitigar os impactos sobre o ambiente, devem ser mais bem avaliadas e compreendidas. É preciso ter a consciência de que o planeta é um organismo vivo, dinâmico e resiliente e que as respostas adaptativas dos ecossistemas às alterações climáticas e ambientais ainda necessitam ser mais bem compreendidas (LOVELOCK, 1997).

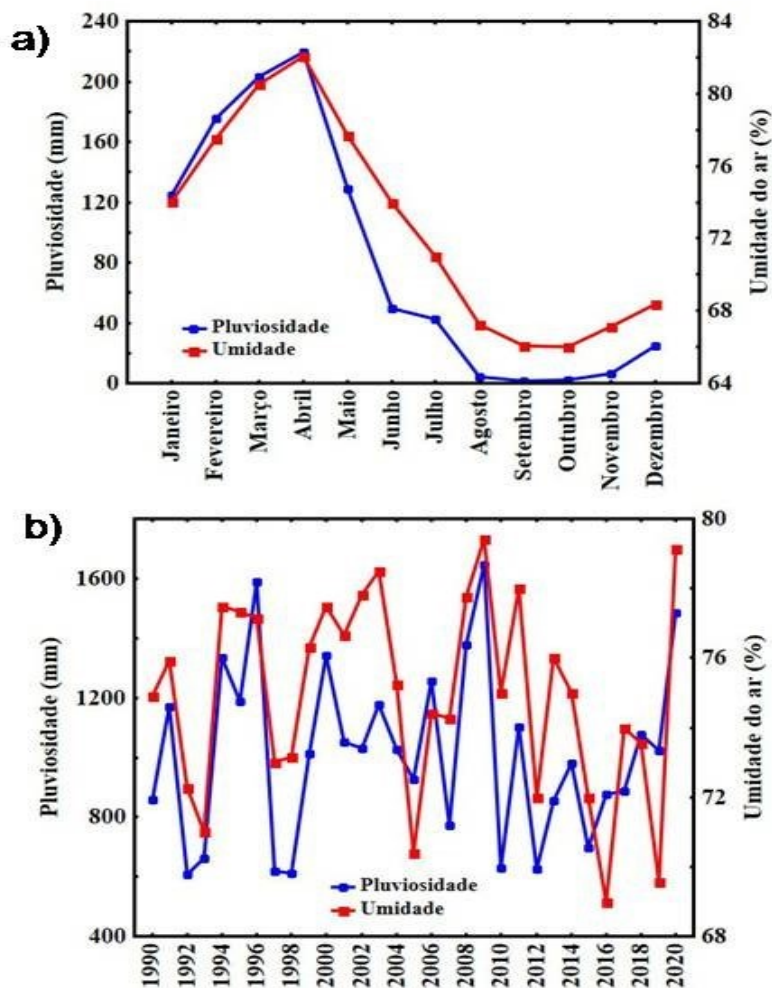
A umidade relativa do ar é um importante elemento climático que influi diretamente sobre o regime das chuvas, influenciando a temperatura e a sensação térmica. Segundo Silva et al. (2007), a utilização dessa variável em análises climáticas do setor agropecuário é de grande relevância para as tomadas de decisões dos processos que envolvem a conservação de grãos armazenados, a sanidade vegetal, o crescimento e a fenologia de plantas. A normal climatológica mensal de 1991-2020 apontou o valor máximo de umidade no mês de abril de 82% e o mínimo em outubro de 66% (Figura 2b). Em todo o período avaliado (1991-2020), o valor médio mensal de umidade relativa foi de 75%, tendo como valor mínimo 55% em maio de 2019 e máximo de 89% em abril de 1995 (Figura 2a e Tabela 1).

Tabela 1 - Elementos climáticos obtidos pela estação meteorológica INMET 82287 (valores da média mensal de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação; valores mensais acumulados de evaporação, evapotranspiração e precipitação).

Parâmetro regional	Número de meses	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
Temperatura (°C)	360	27,96	19,6	30,2	1,12
Umidade Relativa (%)	360	75,00	55,3	89,00	7,13
Velocidade do Vento (m s ⁻¹)	360	2,7	0,50	19,5	1,89
Insolação (h)	360	7,8	3,7	10,7	1,66
Evaporação de Piche (mm)	360	173,28	9,7	555,93	88,79
Evapotranspiração de P.Mont (mm)	360	149,75	19,77	239,48	34,00
Precipitação (mm)	360	86,06	0,00	455,0	104,66
Pressão atmosférica (mb)	360	1006,9	992,3	1018,5	2,25

Fonte: Estação meteorológica do INMET na Embrapa Meio-Norte/UEP-Parnaíba.

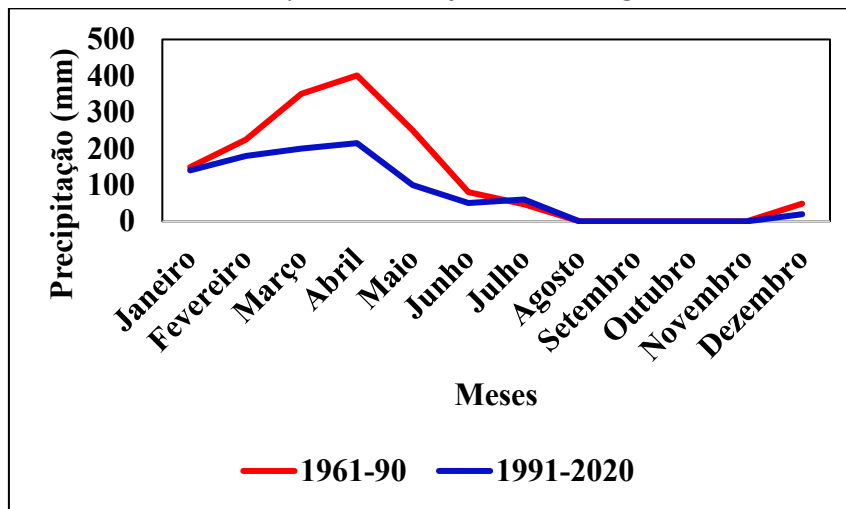
Figura 2 - a) Normal climatológica de 1991 a 2020 da precipitação e umidade (valores médios mensais); b) Precipitação (valores acumulados) e umidade interanual de 1991 a 2020 obtidas a partir da estação meteorológica INMET 82287.



Fonte: KEMENES; FERREIRA (2021).



Figura 3 - Comparação das normais climatológicas de precipitação entre os anos de 1961-1990 e de 1991-2020, obtidas a partir da estação meteorológica INMET 82287.

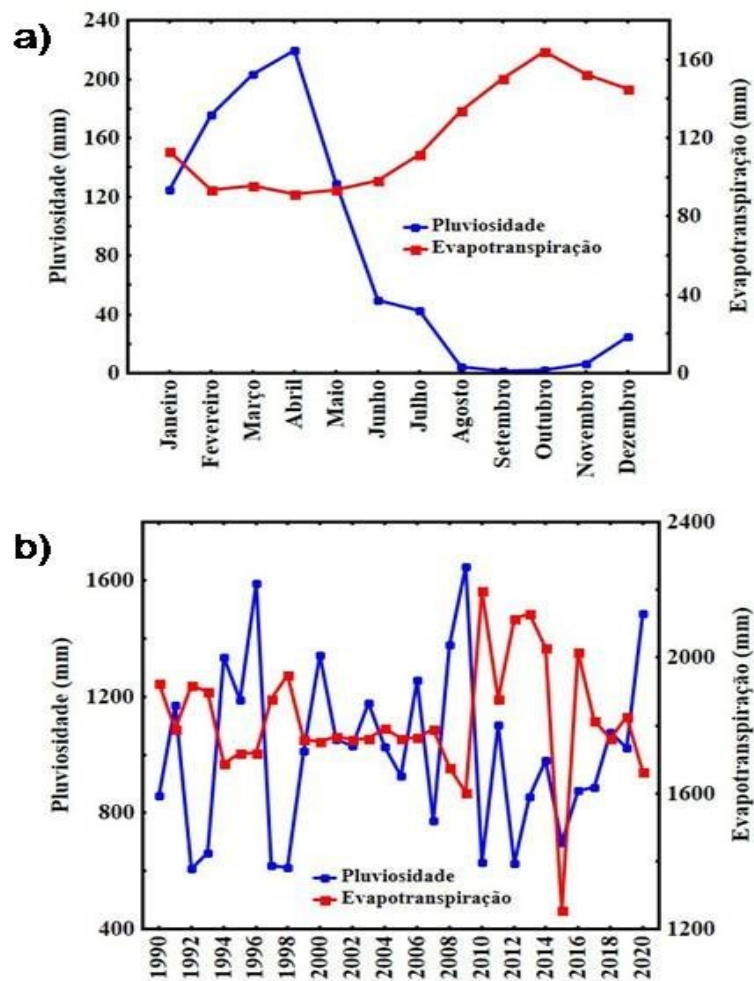


Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2. Evapotranspiração

Para o local em estudo, a normal climatológica apresentou a menor taxa de evapotranspiração em abril com 108 mm e maior em outubro com 199 mm (Figura 4a). Ao avaliar todo o período (1991-2020), a média mensal de evapotranspiração foi de 150 mm, o valor mínimo foi de 81 mm em março de 1994 e o máximo foi de 239 mm em outubro de 2016 (Figura 4b e Tabela 1). Vale ressaltar que o ano de 2010 apresentou os maiores valores de evapotranspiração; em contrapartida, os anos de 1994 e 2009, as menores taxas.

Figura 4 - a) Gráfico da normal climatológica de precipitação e de evapotranspiração da estação em Parnaíba-PI, médias dos meses de 1991 a 2020; b) Precipitação e evapotranspiração interanual de 1991 a 2020.



Fonte: Elaborado pelos autores.

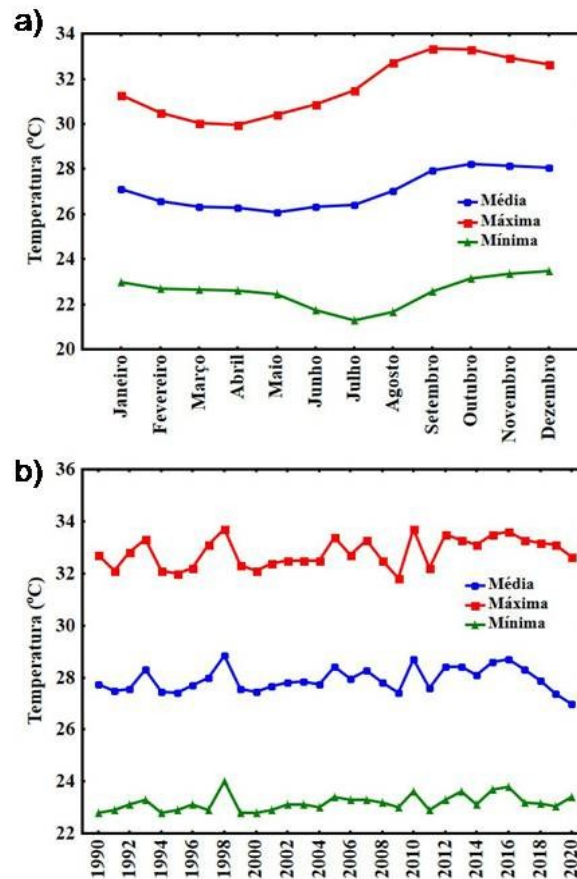
3.3. Temperatura do ar

A normal climatológica mensal apresentou valores mais elevados de temperatura média em outubro, de 28,2 °C; de temperatura máxima em setembro, de 33,3 °C; e de temperatura mínima em dezembro, de 23,4 °C. Já os menores valores de temperatura média foram registrados em maio, de 26,0 °C; de temperatura máxima em abril, de 29,9 °C; e de temperatura mínima em julho, de 21,3 °C (Figura 5a e Tabela 1). A normal climatológica classificou 1998 como o ano mais quente, com uma temperatura média de 28,8 °C, e 2020 o mais frio com 27,0 °C (Figura 5b). De acordo com Kemenes e Ferreira (2018), Parnaíba mostrou mudanças amenas de temperatura do ar nos últimos anos, provavelmente, pela sua localização próxima ao oceano e influência da maritimidade. A comparação da normal



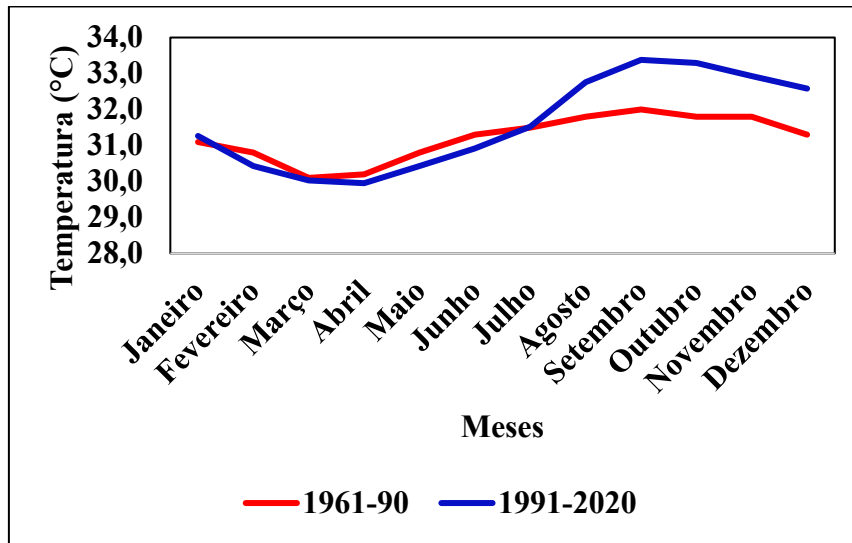
climatológica da temperatura do ar de 1961-1990 com a de 1991-2020 apresentou aumento da temperatura máxima e diminuição da mínima, de 31,3 °C e 23,1 °C para 31,6 °C e 22,5 °C, respectivamente (Figura 6 e Figura 7). De acordo com Simões e Almeida Junior (2019), o aumento da temperatura na cidade de Parnaíba pode ser justificado pela intensidade das ações antrópicas como o desmatamento da vegetação nativa e o crescimento da mancha urbana, mas, também pelo aumento da temperatura global.

Figura 5 - a) Normal climatológica de temperatura, médias mensais de 1991 a 2020; b) Temperatura interanual de 1991 a 2020.



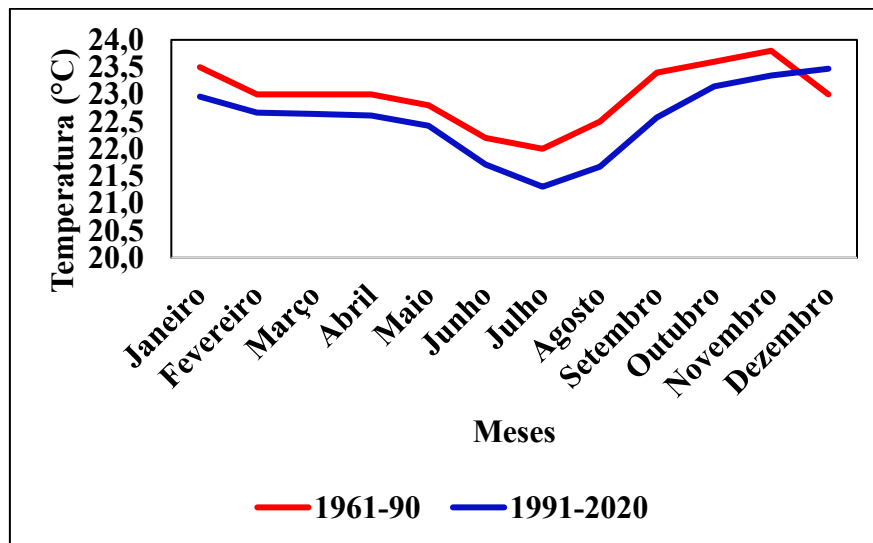
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 6 - Comparação da normal climatológica da temperatura máxima mensal entre os anos de 1961-1990 e de 1991-2020.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 7 - Comparação da normal climatológica da temperatura mínima mensal entre os anos de 1961-1990 e de 1991-2020.



Fonte: Elaborado pelos autores.

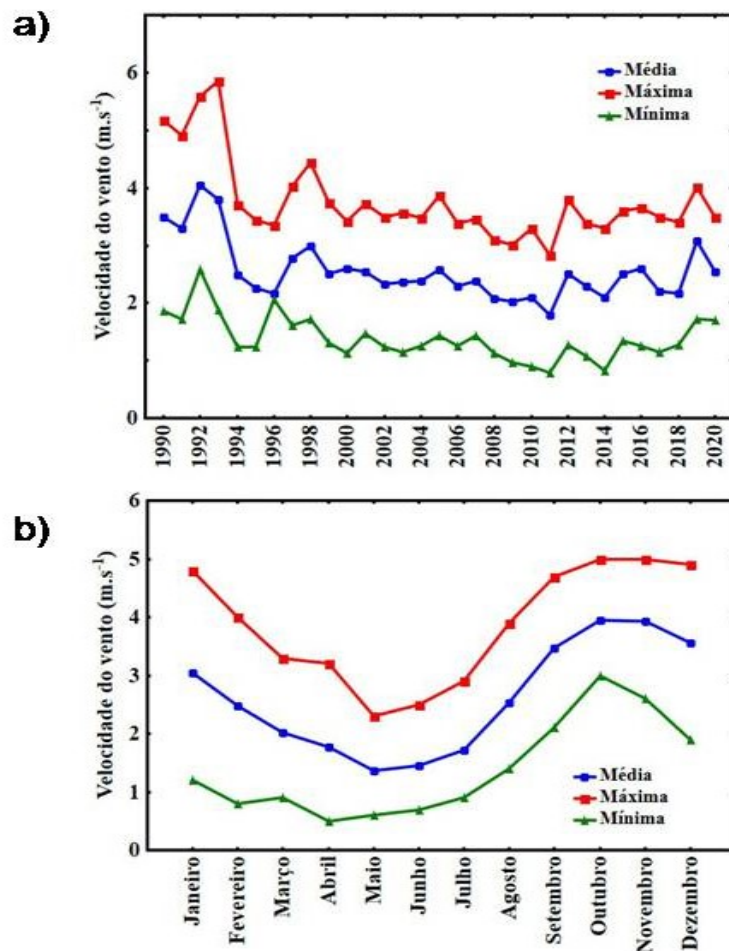
3.4. Velocidade do vento

Para o município de Parnaíba-PI, a normal climatológica mostrou que, de abril a julho, foram apresentados os menores índices de velocidade do vento, chegando a $1,36 \text{ m.s}^{-1}$ em maio. Já de setembro a janeiro, foram apresentados valores médios acima de 3 m.s^{-1} (Figura 8a e Tabela 1). Em todo o período avaliado, 2011 teve a menor velocidade média do vento, de $1,8 \text{ m.s}^{-1}$; em contrapartida, 2019 apresentou a maior velocidade média registrada até o



momento, de $7,1 \text{ m.s}^{-1}$ (Figura 8b), corroborando os estudos de Carneiro (2015), que encontrou de agosto a julho, entre 2012 e 2019, velocidade média do vento superior de 7 m.s^{-1} , mas os maiores valores foram registrados em outubro no litoral paraibano, 11 m.s^{-1} . Nos estudos de Kemenes e Ferreira (2018), no primeiro semestre, foi encontrada diminuição de 30% na frequência e intensidade dos ventos. No período seco, a constância e a intensidade dos ventos Nordeste se intensificam, atingindo seu predomínio em novembro, quando mais de 75% dos ventos ocorreram nessa direção (Figura 8a). Segundo Lima et al. (2014), as anomalias de TSM interferem diretamente na velocidade do vento no Nordeste do Brasil. Foi constatado que em anos de El Niño como 1992, 1993, 1997, 1998, 2011, 2012 e 2016, quando o mês de setembro apresentou valores menores de velocidade do vento que em outros anos.

Figura 8 - a) Gráfico da normal climatológica da velocidade do vento no litoral do Piauí, média, mínima e máxima dos meses de 1991 a 2020; b) Velocidade do vento interanual de 1991 a 2020 [Fonte: INMET (2021); Estação meteorológica do INMET na Embrapa Meio-Norte/UEP-Parnaíba].



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.5. Balanço hídrico

O regime hídrico da cidade de Parnaíba apresentou os meses mais chuvosos entre fevereiro e abril, que variou de 219,5 mm a 175,3 mm. O processo foi regulado pelo equilíbrio entre a evapotranspiração real (ETR) e potencial (ETP) devido à ausência de deficiência hídrica. Nesse período, as chuvas excederam a ETR, gerando excedentes hídricos de 85,1 mm (abril) a 2,6 mm (maio) (Figura 9 e Tabela 2). Os menores índices pluviométricos foram registrados entre os meses de agosto e novembro, gerando um déficit hídrico anual de 856,9 mm, que variou entre 121,2 mm (agosto) e 171,0 mm (outubro) (Figura 10 e Tabela 2). Na comparação entre as normais climatológicas de 1961-1990 e de 1991-2020, foi constatado decréscimo do regime de chuvas de cerca de 60% e aumento de 2% da taxa de evapotranspiração real, desencadeando mudanças como o aumento do déficit hídrico de cerca de 3 mm e redução do excedente hídrico de cerca de 40 mm.

Tabela 2 - Valores do balanço hídrico no período de 1991-2020 na cidade de Parnaíba-PI, estação meteorológica INMET 82287.

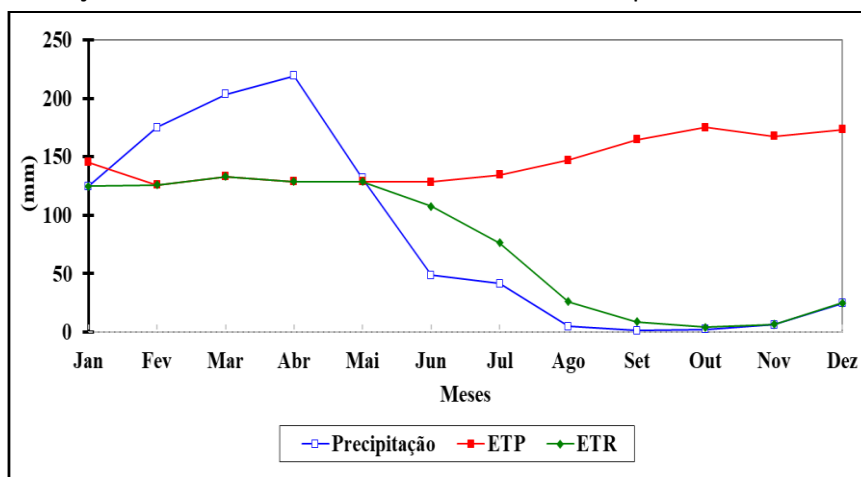
Mês	T	P	ETP	ARM	ETR	DEF	EXC
Janeiro	27,1	124,9	145,41	0,05	124,9	20,5	0,0
Fevereiro	26,6	175,3	126,06	49,29	126,1	0,0	0,0
Março	26,3	203,4	133,32	119,37	133,3	0,0	0,0
Abril	26,3	219,5	128,82	125,00	128,8	0,0	85,1
Mai	26,1	131,6	129,00	125,00	129,0	0,0	2,6
Junho	26,3	48,7	128,50	66,01	107,7	20,8	0,0
Julho	26,4	41,7	134,76	31,36	76,4	58,4	0,0
Agosto	27,0	4,8	147,29	10,03	26,1	121,2	0,0
Setembro	28,0	1,4	164,64	2,72	8,7	155,9	0,0
Outubro	28,2	2,2	175,22	0,68	4,2	171,0	0,0
Novembro	28,1	6,2	167,46	0,19	6,7	160,8	0,0
Dezembro	28,1	24,8	173,21	0,06	24,9	148,3	0,0
TOTAL	-	984,5	1753,69	529,76	896,8	856,9	87,7
MÉDIA	27,4	82,0	146,1	44,1	74,7	71,4	7,3

T- Temperatura (C°); P- Precipitação (mm); ETP- Evapotranspiração potencial (mm); ARM- Armazenamento de água no solo (mm); ETR- Evapotranspiração real (mm); DEF- Deficiência hídrica (mm); EXC- Excedente hídrico (mm).

Fonte: Estação meteorológica do INMET na Embrapa Meio-Norte/UEP-Parnaíba.

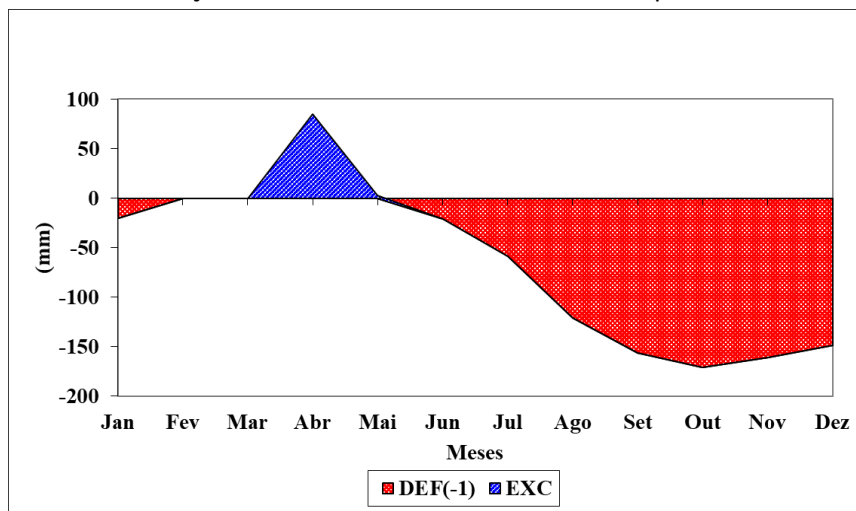


Figura 9 - Balanço hídrico normal da cidade de Parnaíba-PI no período de 1991 a 2020.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 10 - Extrato do balanço hídrico da cidade de Parnaíba-PI no período de 1991 a 2020.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.6. Eventos climáticos extremos

Foram realizadas correlações estatísticas em cada ano, dentro da normal climatológica (1991-2020), buscando avaliar a influência dos eventos climáticos extremos na região litorânea do Piauí, sendo encontrados resultados significativos, mostrando a forte variabilidade climática do local em estudo (Tabela 3).

Tabela 3 - Coeficiente de correlação de *Pearson* para o valor acumulado mensal de precipitação e as anomalias de TSM (TNAI, TSAI, Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 e Niño 3.4) para cada ano em estudo (1991-2020).

	Niño 1+2	Niño 3	Niño 4	Niño 3.4	TNAI	TSAI
1991	-0,80*	-0,85*	-0,24	-0,69*	0,00	0,56
1992	0,37	0,75*	0,76*	0,83*	0,26	0,63*
1993	-0,02	0,17	0,44	0,15	-0,38	-0,29
1994	-0,61*	-0,48	-0,83*	-0,60*	-0,78*	0,62*
1995	0,18	-0,16	-0,65	-0,35	0,56	0,35
1996	-0,61*	-0,62*	-0,20	-0,62*	-0,52	-0,41
1997	-0,61*	-0,62*	-0,20	-0,62*	-0,52	-0,41
1998	0,69*	0,79*	0,72*	0,78*	0,15	0,40
1999	0,52	0,70*	-0,33	0,39	-0,73*	-0,05
2000	0,74*	0,13	-0,73*	-0,36	-0,04	0,82*
2001	0,78*	0,44	-0,73*	-0,48	-0,73*	0,41
2002	0,28	-0,80*	-0,75*	-0,90*	0,27	0,33
2003	-0,09	0,07	0,64*	0,44	-0,78*	0,30
2004	-0,04	-0,29	-0,58	-0,74*	-0,40	0,00
2005	0,10	0,08	0,67*	0,32	-0,16	0,74*
2006	-0,85*	-0,76*	-0,74*	-0,68*	-0,65*	0,11
2007	0,58	0,51	0,59	0,50	0,70*	-0,08
2008	0,11	-0,32	-0,58	-0,46	-0,61*	0,43
2009	-0,43	-0,75*	-0,66*	-0,71*	-0,87*	0,52
2010	0,43	0,42	0,46	0,46	0,48	0,49
2011	0,31	0,12	-0,33	-0,16	0,08	0,66*
2012	0,21	-0,19	-0,61*	-0,49	-0,73*	-0,44
2013	-0,10	-0,12	-0,63*	-0,24	0,25	0,76*
2014	-0,28	-0,32	0,05	-0,24	-0,68	0,51
2015	-0,53	-0,66*	-0,06	-0,60*	-0,64*	0,14
2016	0,54	0,63*	0,69*	0,66*	-0,20	0,51
2017	0,87*	0,70*	-0,11	0,42	-0,83*	-0,17
2018	-0,66*	-0,66*	-0,66*	-0,67*	-0,66*	-0,64*
2019	-0,74*	-0,74*	-0,49	-0,75*	-0,74*	-0,71*
2020	-0,74*	-0,74*	-0,74*	-0,74*	-0,68*	-0,74*

* Resultados significativos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

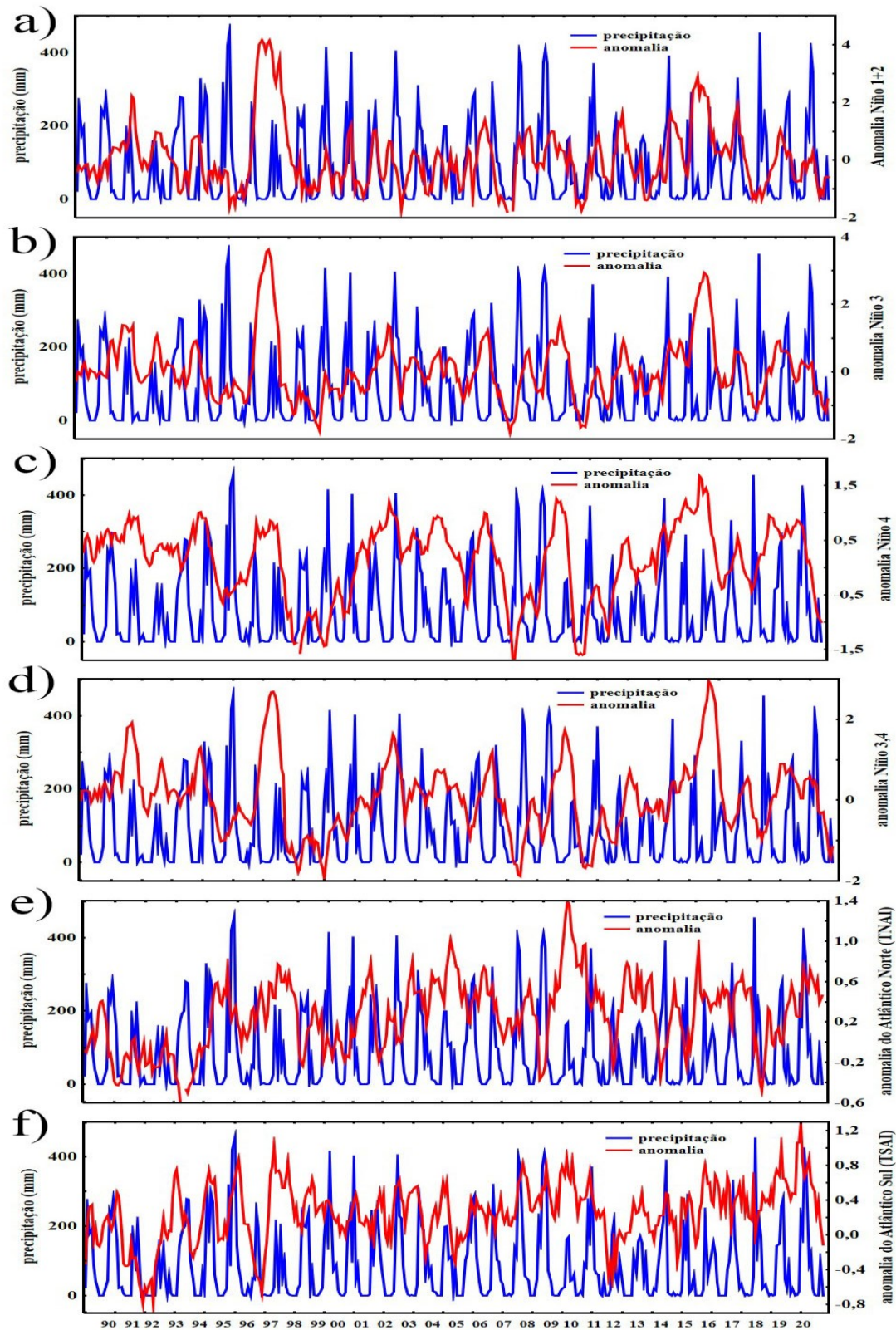
Nos últimos 30 anos, diversos parâmetros climáticos vêm recebendo influências cada vez mais acentuadas do fenômeno ENSO, que podem ser claramente visualizadas na Tabela 3. As relações entre a precipitação e as anomalias de Niño são, na maioria das vezes, opostas (Figura 11) e com a evapotranspiração diretas (Figura 12). Isso significa que o fenômeno El



Niño vem reduzindo a disponibilidade de água na localidade analisada. Dentro do período em estudo, foram identificados 14 períodos climáticos extremos [1991-1992 (El Niño forte); 1992-1993 (El Niño fraco); 1994-1996 (El Niño ausente); 1997-1998 (El Niño extraforte); 1999-2001 (El Niño ausente); 2002-2003 (El Niño moderado); 2004-2005 (El Niño ausente); 2006-2007 (El Niño moderado); 2008 (El Niño ausente); 2009-2010 (El Niño moderado); 2011-2014 (El Niño ausente); 2015-2016 (El Niño extraforte)]; 2017-2019 (El Niño fraco); e 2020 (El Niño ausente), de acordo com o INMET (2022). A ausência do fenômeno El Niño pode indicar a presença do fenômeno La Niña. Os fenômenos de aquecimento dos Atlânticos Norte e Sul (TNAI e TSAI) podem estar acontecendo em parceria ou não com os fenômenos El Niño ou La Niña (Figura 11 e Figura 12). Em 1992, segundo Alves et al. (2012), ocorreu simultaneamente a influência de dois fenômenos de TSM sobre as chuvas da região, o aquecimento do Atlântico Norte (Dipolo positivo) e o fenômeno do El Niño de intensidade forte, potencializando a seca em toda a Planície Litorânea do Piauí.

Apesar de a localidade Niño 4 ser bem distante do Nordeste do Brasil, foi encontrada boa correlação com a precipitação. Entretanto, o índice climático que apresentou a melhor correlação estatística com a precipitação foi o aquecimento superficial do Atlântico Norte Tropical (TNAI), mostrando que o aumento de temperatura do Oceano Atlântico Norte vem diminuindo a incidência das chuvas na Planície Litorânea do Piauí. Já o aumento da temperatura superficial do Atlântico Sul (TSAI) mostrou correlações diretas com o aumento da precipitação. De forma geral, os eventos climáticos extremos apresentaram influências significativas sobre os parâmetros avaliados (evaporação, evapotranspiração, temperatura, umidade e velocidade do vento) durante o período em estudo (Tabela 3).

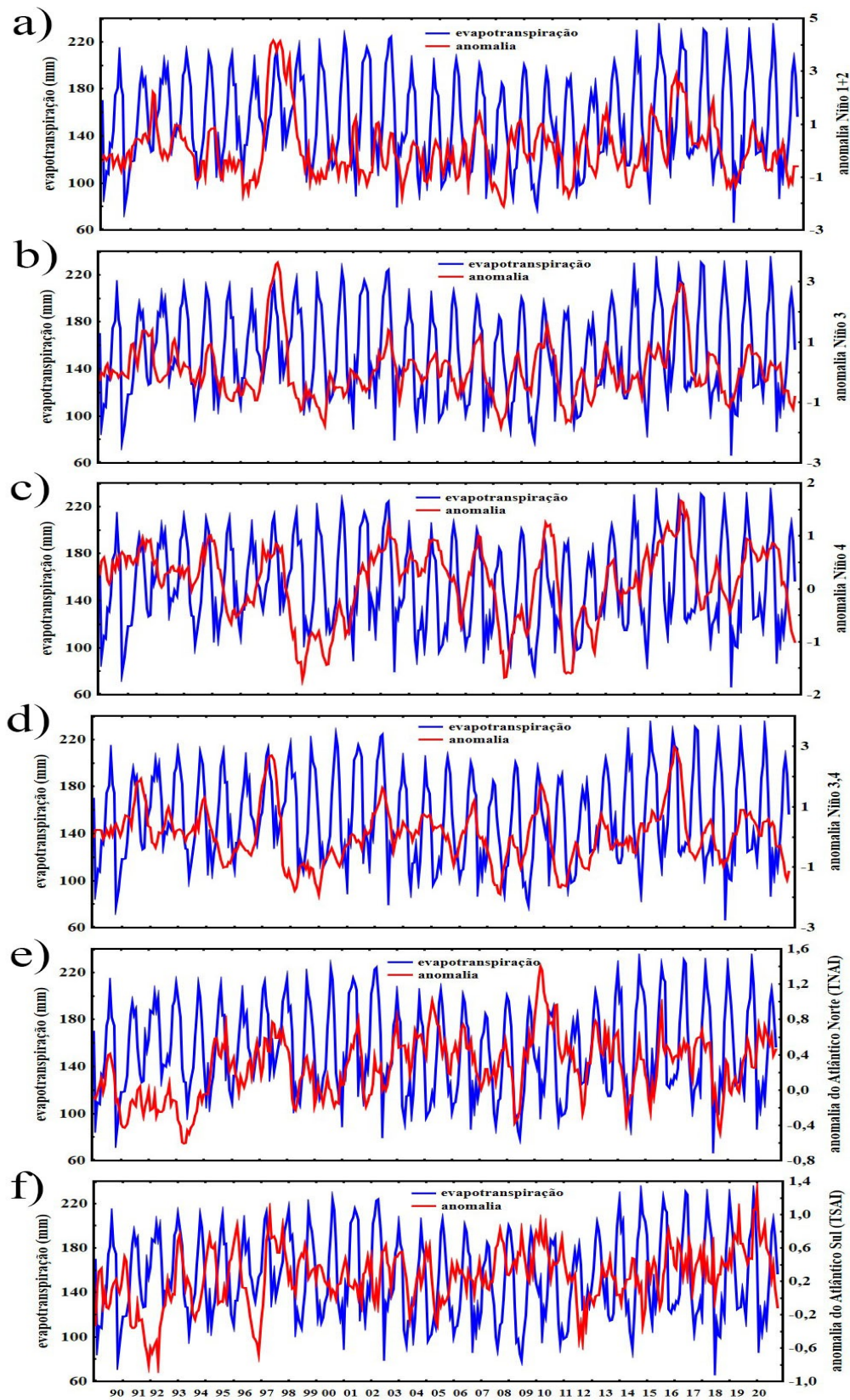
Figura 11 - Precipitação mensal acumulada (mm) e índices das anomalias de eventos climáticos extremos ao longo do período em estudo (1991-2020).



Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 12 - Evapotranspiração mensal acumulada (mm) e índices das anomalias dos eventos climáticos extremos ao longo do período em estudo (1991-2020).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Durante os anos de 1997 a 1998, houve forte decréscimo pluviométrico (cerca de 40%), justificado pelo INPE como anos de El Niño de intensidade extraforte. Os impactos das mudanças climáticas globais sobre a Planície Litorânea do Piauí são cada vez mais evidentes. Contudo, as comparações com a normal climatológica de 1961-1990 (Figura 11, Figura 12 e Tabela 3), permitem corroborar os estudos de Nascimento et al. (2019), que mostraram que os anos secos vêm sendo cada vez mais presentes e intensos. As projeções regionais do último relatório do IPCC (2021) mostraram que, apesar de o volume das chuvas ter aumentado em mais de 30% com as fortes tempestades, as secas agrícolas e ecológicas foram até quatro vezes mais presentes e intensas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos 30 anos, a constância na ocorrência de períodos climáticos e ambientais mais favoráveis e amenos, que possam garantir um planejamento racional e o bom desenvolvimento de um sistema produtivo, vem-se tornando menos presente. De forma geral, os ambientes vêm demonstrando intensa instabilidade climática, que parece estar diretamente correlacionada às mudanças climáticas globais. A cada ano, são mais constantes os fenômenos climáticos extremos, que trazem as secas e enchentes cada vez mais prolongadas, intensas e devastadoras. Com isso, vem-se tornando urgente e necessária a busca por soluções que tragam mudanças nos sistemas produtivos e que auxiliem na amenização do microclima e regularização no fornecimento de água.

Neste estudo, ficou constatada a diminuição da velocidade do vento e o aumento da taxa de evapotranspiração correlacionada à elevação da temperatura média do ar a partir de 2010. O regime pluviométrico foi reduzido em cerca de 40% entre os períodos de 1961-1990 e de 1991-2020. Com isso, uma mudança no comportamento climático dos últimos anos ficou comprovada, nesta localidade, que pode estar afetando os serviços ecossistêmicos e a vida das pessoas e pode ameaçar o desenvolvimento social e econômico. O planeta está passando por diversas transformações e a pressão pelo uso dos recursos naturais vem crescendo a cada dia, sendo hoje considerada insustentável. As pessoas devem buscar ter mais consciência nas suas escolhas e realizar mudanças no comportamento, buscando mais harmonia com a natureza e mais respeito com o meio ambiente e com as futuras gerações.



AGRADECIMENTOS

A Embrapa Meio Norte, pelo apoio para a realização deste estudo, em especial ao Francisco David Silva, pela minuciosa revisão gramatical.

REFERÊNCIAS

ALVES, José Maria Brabo *et al.* Sobre o sinal de um downscaling dinâmico às oscilações intrassazonais de precipitação no setor norte do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 219-228, jul. 2012.

ATAIDES, Rafaela Santos; FURTADO, Thales Vargas. **A importância da utilização das Normais Climatológicas para análise de variação climática**. 2014. 27 f. Trabalho de conclusão de curso (Meteorologia) - Instituto Federal em Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

CAMARGO, Ângelo Paes de. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1971. 28 p.

CARNEIRO, Tatiane Carolyne. Caracterização de Potencial Eólico: Estudo de caso para Maracanaú (CE), Petrolina (PE) e Parnaíba (PI). **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 6, n. 6, p. 1-10, 2015.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; MEDEIROS, Sebastião Carlos de; CUNHA, Cleidinson de Jesus. Sistemas atmosféricos atuantes e diversidade pluviométrica em Sergipe. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, p. 17-34, 2014.

DUARTE, Vagner Apollo; BARATTO, Jaqueline; WOLLMAN, Cassio Arthur. Análise e definição da Normal Climatológica de 1980 a 2010 da Bacia Hidrográfica do alto Jacuí-RS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 12., 2016, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: UFG, 2016. p. 82-91.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Condições Atuais do ENOS e La Nina**. Brasília. 2022. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil**. Brasília. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 10 nov. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021 - The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: University Press, 2021.

KEMENES, Alexandre; FERREIRA, Luanny Gabriele Cunha. **A influência das anomalias de temperatura da superfície do mar sobre o acúmulo de água em reservatórios do interior do Nordeste do Brasil, durante nove períodos de El Niño – 2021**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2021. 69 p. (Embrapa Meio Norte. Documentos, 276).

KEMENES, Alexandre; FERREIRA, Luanny Gabriele Cunha. **Variação climatológica e influência dos eventos climáticos extremos sobre a Planície Litorânea do Piauí** – 2018. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2018. 42 p. (Embrapa Meio Norte. Documentos, 252).

KEMENES, Alexandre; SANTOS, Carlos Antônio Costa dos; SATYAMURTY, Prakki. A influência de eventos climáticos extremos na atividade de hidrelétricas Amazônicas. **Ciência Hoje**, v. 50, p. 36-41, 2012.

LIMA, Carolina Nascimento Nogueira *et al.* Estimação do impacto do El Niño/La Niña na intensidade dos ventos do Nordeste brasileiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 232–240, 2014.

LIMA, Milcíades Gadelha de *et al.* Secas de 2010 a 2016 no Piauí: Impactos e respostas do estado em articulação com os programas nacionais. **Parc. Estrat.**, v. 22, n. 44, p. 155-180, 2017.

LOPEZ, Hosmay *et al.* Projections of faster onset and slower decay of El Niño in the 21st century. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, p. 1915, 2022.

LOVELOCK, James. **A Terra como um organismo vivo da biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 623 p.

MARENGO, José Alves. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, p. 410- 450, 2011.

MEDEIROS, Raimundo Mainar de *et al.* El Niño/La Niña e sua influência no número de dias com chuva em Bom Jesus – Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal-PB, v. 11, n. 2, p. 16-23, 2016.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

NASCIMENTO, Maria Gracelia Paiva *et al.* Climatological trends for the municipality of Parnaíba Piauí/Brazil. **Journal of hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, n. 1, p. 10-20, 2019.

NÓBREGA, Ranyere Silva; SANTIAGO, Gabriela Ayane Chagas Felipe. Tendência de Temperatura na Superfície do Mar nos Oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Revista Mercator**, Fortaleza-CE, v. 13, n. 1, p. 107-118, jan-abr 2014.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Dados das anomalias de temperatura da superfície do mar**. 2005. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/#Nina12>. Acesso em: 22 jan. 2022.

PENEIRO, Júlio César; ORLANDO, Diogo Vieira. Análise de tendências em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do rio Parnaíba entre os estados do Maranhão e Piauí/Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, p. 5-21, 2013.

PEREIRA, Antônio Roberto. R.; VILLA NOVA, Nilson Augusto; SEDIYAMA, Gilberto Chohaku. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.



SANTOS FILHO, Francisco Soares; ALMEIDA JUNIOR, Eduardo Bezerra; ZICKEL, Carmen Silvia. Do edaphic aspect salter vegetation structures in the Brazilian resting. **Acta Botânica**, v. 27, p. 613-623, 2013.

SILVA, Thieres George Freire da *et al.* Umidade Relativa do ar: Estimativa e espacialização para o estado de Pernambuco. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEREOLOGIA, 15., Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju, 2007. p. 1-7.

SIMÕES, Patrícia Priscila da Silva; ALMEIDA JUNIOR, Wodson da Fonseca. Análise comparativa da Temperatura de Superfícies do município de Parnaíba-PI nos anos de 2008 e 2018. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 10., 2019, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza, 2019. p. 1-5.

SNEATH, Peter; SOKAL, Robert. **Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification**. San Francisco: Freeman, 1973. 573 p.

THORNTHWAITE, Charles Warren; MATHER, John Russell. The water balance. 1. ed. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.