

## **AVALIAÇÃO DE TENDÊNCIA DO INÍCIO, FIM, DURAÇÃO E TOTAL DE PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO CHUVOSA DE PALMAS - TO**

*TREND EVALUATION OF THE BEGINNING, END, DURATION AND TOTAL PRECIPITATION OF THE RAINY SEASON OF PALMAS – TO*

*EVALUACIÓN DE TENDENCIA DEL INICIO, FIN, DURACIÓN Y PRECIPITACIÓN TOTAL DE LA TEMPORADA DE LLUVIA DE PALMAS – TO*

Vinicius Cirqueira dos Santos <sup>\*1</sup>, Roberta Araújo e Silva<sup>2</sup>, Girlene Figueredo Maciel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Discente do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas - Tocantins, Brasil.

<sup>2</sup>Meteorologista, Doutora em Meteorologia, Universidade Federal do Tocantins, Palmas - Tocantins, Brasil.

<sup>3</sup>Docente, Doutor em Recursos Naturais, Universidade Federal do Tocantins, Palmas - Tocantins, Brasil.

Artigo recebido em 15/12/2022 aprovado em 23/03/2023 publicado em 28/04/2023.

### **RESUMO**

A precipitação destaca-se como a principal variável meteorológica no ciclo hidrológico, caracterizando a dinâmica dos ecossistemas terrestres e possuindo singular influência sobre ações e aspectos socioeconômicos. Dentro desse contexto, o objetivo deste estudo é investigar a ocorrência de possíveis tendências anuais dos dias de início, fim, duração e acumulado de precipitação, a partir de análises estatísticas, na estação chuvosa de Palmas – TO, para o período de 1995 a 2021. A análise de tendência foi obtida através de quatro testes estatísticos, um paramétrico (Regressão Linear) e três não-paramétricos (teste de Mann-Kendall, método de Sen's e teste de Pettitt. Os resultados indicaram que a estação chuvosa de Palmas-TO está se encurtando (-1 dia/ano) - iniciando mais tarde (1,1 dias/ano) e finalizando mais cedo (-0,3 dias/ano), apresentando decréscimo no acumulado de precipitação (-14,5 mm/ano). As tendências anuais encontradas nesse estudo evidenciam as mudanças no comportamento da estação chuvosa de Palmas-TO, a qual está sob domínio do bioma Cerrado – considerado o berço de águas do Brasil.

**Palavras-chave:** Estação chuvosa; Variabilidade interanual; Análise de tendência.

### **ABSTRACT**

*Precipitation stands out as the main meteorological variable in the hydrological cycle, characterizing the dynamics of terrestrial ecosystems and having a singular influence on actions and socioeconomic aspects. Within this context, the objective of this study is to investigate the occurrence of possible annual trends of the days of beginning, end, duration and accumulated precipitation, based on statistical analysis, in the rainy season of Palmas - TO, for the period from 1995 to 2021. Trend analysis was*

obtained through four statistical tests, one parametric (Linear Regression) and three non-parametric (Mann-Kendall test, Sen's method and Pettitt test). The results indicated that the rainy season in Palmas-TO is shortening (-1 day/year) - starting later (1.1 days/year) and ending earlier (-0.3 days/year), showing a decrease in accumulated precipitation (-14.5 mm/year) The annual trends found in this study show changes in the behavior of the rainy season in Palmas-TO, which is under the control of the Cerrado biome – considered the cradle of waters in Brazil.

**Keywords:** Rainy season; Interannual variability; Trend analysis.

### RESUMEN

La precipitación se destaca como la principal variable meteorológica en el ciclo hidrológico, caracterizando la dinámica de los ecosistemas terrestres y teniendo una singular influencia en las actuaciones y aspectos socioeconómicos. En ese contexto, el objetivo de este estudio es investigar la ocurrencia de posibles tendencias anuales de los días de inicio, fin, duración y precipitación acumulada, con base en análisis estadísticos, en la estación lluviosa de Palmas - TO, para el período de 1995 al 2021 Se obtuvo análisis de Tendencia a través de cuatro pruebas estadísticas, una paramétrica (Regresión Lineal) y tres no paramétricas (Prueba de Mann-Kendall, Método de Sen y Prueba de Pettitt). Los resultados indicaron que la temporada de lluvias en Palmas-TO se está acortando (- 1 día/año) - comenzando más tarde (1,1 días/año) y terminando antes (-0,3 días/año), mostrando una disminución en la precipitación acumulada (-14,5 mm/año) Las tendencias anuales encontradas en este estudio muestran cambios en el comportamiento de la temporada de lluvias en Palmas-TO, que está bajo el control del bioma del Cerrado, considerada la cuna de las aguas en Brasil.

**Descriptores:** Temporada de lluvias; Variabilidad interanual; Análisis de tendencia.

### INTRODUÇÃO

A precipitação é o principal controle do ciclo hidrológico, determinando a dinâmica dos ecossistemas terrestres e desempenhando ímpar importância para o âmbito socioeconômico (ROCHA et al., 2005). O excesso ou a escassez de precipitação, por exemplo, afeta: o abastecimento hídrico; o saneamento urbano; o planejamento de obras hidráulicas; e a segurança energética de uma região. O déficit prolongado de chuvas também pode aumentar o risco de incêndios nas regiões de bioma cerrado, impactando os seres humanos e a biodiversidade local. Palmas, a cidade que apareceu no meio do cerrado para a capital do Tocantins, passou por grandes alterações em seus padrões biofísicos e socioeconômicos desde o seu surgimento.

As secas meteorológicas provavelmente aumentarão suas frequências e severidades no futuro, e os principais motivos são uma diminuição nas chuvas ou um aumento da demanda evaporativa devido ao aumento das temperaturas, ou uma combinação de ambos (SPINONI et al., 2020). As secas, aliadas à alta temperatura, afetam o funcionamento hidroclimatológico de uma região, aumentam o risco de incêndios, diminuem os níveis dos rios, impactando os seres humanos e a biodiversidade (MARENGO et al., 2021).

Nesse contexto, informações antecipadas sobre o comportamento temporal da estação chuvosa de Palmas – TO, com inferência minuciosa sobre atraso ou antecipação, é um conhecimento que pode ajudar na gestão da ocorrência de crises hídricas e queimadas subsequentes, observados no município.

## MATERIAIS E MÉTODOS

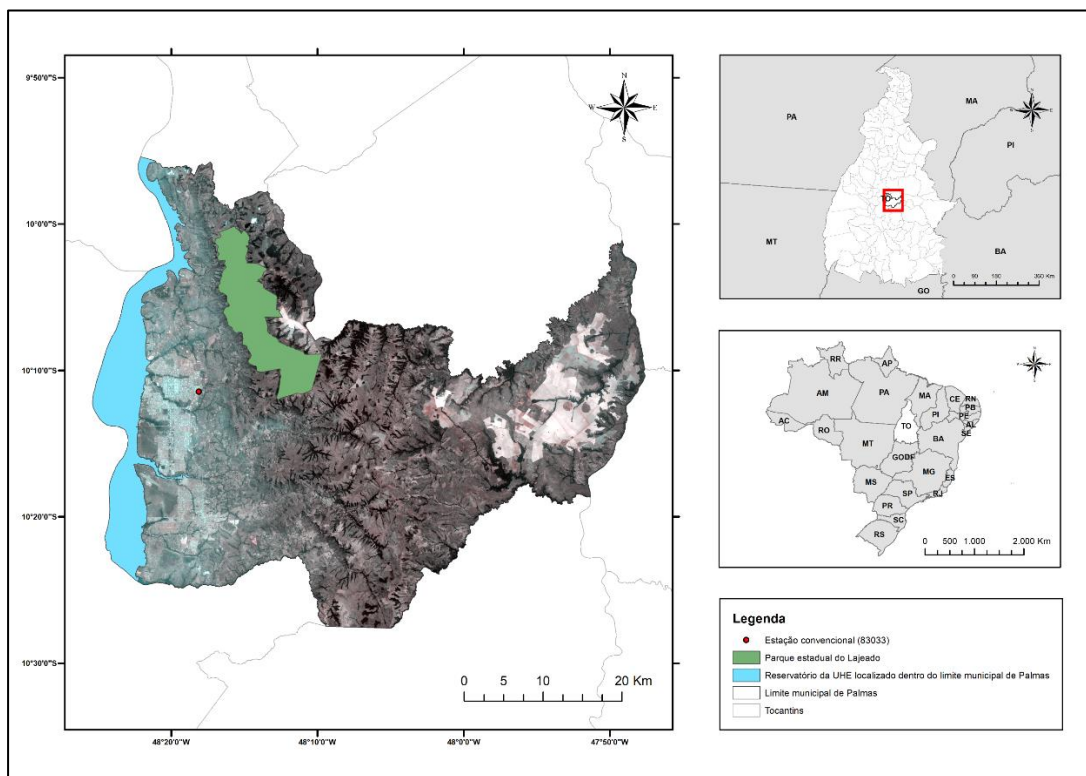
### Caracterização da Área de Estudo e Dados Utilizados

O município de Palmas, capital do Estado do Tocantins, abrange uma área de 2.227,329 km<sup>2</sup> e possui uma população estimada de 313.349 habitantes (IBGE, 2022). Apresenta Plano Diretor bem definido, situando-se entre o lago formado pelo reservatório da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães e a Serra do Lajeado. Possui uma altitude média de 260 metros acima do nível do mar e apresenta todo o seu território inserido no Domínio Cerrado.

De acordo com classificação climática de koppen-Geiger, o clima na área de estudo é tropical úmido com estação seca (Aw), apresentando temperaturas elevadas e distribuição sazonal das precipitações pluviiais bem caracterizada com dois períodos bem definidos: a estação chuvosa e a estação seca (TULLIO, 2019).

Para a realização do presente trabalho foram utilizados dados de precipitação diários da estação meteorológica convencional pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada no município de Palmas (Cód. 83033), estando localizada nas coordenadas geográficas 10°11'27,23'' de latitude sul e 48°18'6,56'' de longitude oeste de Greenwich (Figura 1), possuindo uma altitude de 290.7 metros acima do nível do mar.

**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo e estação meteorológica utilizada.



Fonte: Elaboração dos próprios autores (2022).

Os dados obtidos foram posteriormente organizados e tratados em planilhas utilizando o *software* Microsoft Office Excel. Para realização dos cálculos de caracterização da estação chuvosa e de cálculos via aplicação de testes estatísticos - paramétricos e não-paramétricos - utilizou-se o mesmo *software*, objetivando a identificação do Início da Estação Chuvosa, Final da Estação Chuvosa, Duração da Estação Chuvosa, detecção de tendência significativamente estatística, magnitude da tendência e identificação do ponto de mudança brusca da série temporal.

### Caracterização da Estação Chuvosa

A definição da data do início da estação chuvosa (IEC) foi obtida através do critério proposto por Sansigolo (1989), que considera que o início das chuvas ocorre no primeiro dia, após o período de referência, em que ocorreu 20 mm de chuva totalizado em até dois dias consecutivos, desde que não ocorra mais de 10 dias secos durante os 30 dias subsequentes. Sendo considerado dia seco nessa pesquisa, dia com precipitação inferior a 1 mm. No caso de Palmas – TO, situada dentro do bioma Cerrado, o período de referência será o primeiro dia dos meses de setembro ou outubro. A altura de 20 mm de chuva foi adotada, porque sob essas condições a água pode ser armazenada no solo por períodos de até 10 dias atendendo as necessidades hídricas das plantas (MACHADO et al., 1996).

A data do fim da estação chuvosa (FEC) considera o primeiro dia após a data de 1<sup>a</sup> de março, de uma sequência igual a 15 dias sem chuva, sendo considerado dia seco aquele que apresenta precipitação inferior a 1,0 mm (ASSAD e SANO, 1988). A data de 1<sup>a</sup> de março foi escolhida por ser a mais provável para regiões em que a estação chuvosa se concentra no verão.

Após o cálculo das datas inicial e final da estação chuvosa foi calculada a duração da estação chuvosa (DEC), determinada para cada ano da série histórica, e em dias. A DEC é obtida pela diferença entre a data do FEC e o IEC, como mostra a equação 1. Também foram calculados os totais de precipitação durante a estação chuvosa (TP), obtendo-se assim uma análise climatológica da distribuição da precipitação no município de Palmas - TO.

$$DEC = \begin{cases} (365 + (FEC - IEC), \text{ano não bissexto}) \\ (366 + (FEC - IEC), \text{ano bissexto}) \end{cases} \quad (1)$$

### Testes Estatísticos Utilizados

Nessa pesquisa serão utilizados quatro métodos para análise de tendências da estação chuvosa: um paramétrico, análise de regressão (mínimo quadrados); e três não-paramétricos, o teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), curvatura de Sen (SEN, 1968) e o teste de Pettitt (PETTITT, 1979). A comparação entre os resultados desses quatro métodos estatísticos permitirá a obtenção de resultados mais robustos.

### Análise de Regressão

A análise de regressão exige que os dados empíricos/observados se ajustem à uma distribuição teórica conhecida. Essa técnica se baseia no método dos mínimos quadrados, que consiste no ajuste de uma reta a um conjunto de pontos. A caracterização da tendência temporal será alcançada traçando uma reta de regressão linear. A regressão linear é um modelo adequado para representar matematicamente o comportamento de uma variável dependente (y) (a precipitação), em função de uma variável independente (x) (anos), se a relação entre elas é aproximadamente linear. (TRIOLA, 2005).

$$y = a + bx \quad (2)$$

O coeficiente angular (*b*) define o grau de inclinação da reta. Onde  $b > 0$  significa que a reta tem uma inclinação positiva e quando  $b < 0$ , a inclinação da reta é negativa.

Assim, em uma série temporal histórica, esse coeficiente indicará se a tendência é crescente (positiva) ou decrescente (negativa) no decorrer do tempo.

### Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall (MK) é uma ferramenta estatística recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) na avaliação de possíveis tendências em séries temporais de dados ambientais, no intuito de analisar possíveis mudanças climáticas (SILVA et al., 2010; COSTA et al., 2015).

O teste de Mann-Kendall é calculado pelas Equações (3) e (4)

$$S = \sum_{i < j} a_{ij} \quad (3)$$

de modo que:

$$a_{ij} = \text{sinal}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } x_i < x_j \\ 0 & \text{se } x_i = x_j \\ -1 & \text{se } x_i > x_j \end{cases} \quad (4)$$

em que: considerando a estatística S, é o somatório dos sinais (sinal) da diferença, par a par, de todos os valores da série ( $x_i$ ) em relação aos valores em que a ele são futuros ( $x_j$ ).

Quando  $n \geq 10$ , a variável S pode ser comparada com uma distribuição normal ( $\mu = 0$  e  $\sigma^2 = 1$ ), na qual a sua variância ( $\text{Var}(S)$ ), pode ser obtida através da Equação (5):

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^q (t_p - 1)(2t_p + 5)}{18} \quad (5)$$

em que: em que  $t_p$  representa a quantidade de repetições de uma extensão  $i$  e  $q$  é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados em um grupo  $p$ . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico não parametrizado de Mann-Kendall (ZMK) é computado pela Equação (6). A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor de ZMK. Um valor positivo de ZMK indica um aumento da tendência, quando negativa indica uma tendência decrescente.

Para testar a significância da tendência crescente ou decrescente no nível de significância de  $p$ , a hipótese nula é rejeitada se o valor absoluto de  $Z$  for maior que  $Z_{(1-p/2)}$ , obtida da tabela da distribuição normal cumulativa padrão. Será adotado o nível de significância de  $\alpha = 0,05$ , que corresponde respectivamente a 5%, quando a hipótese nula de não tendência é rejeitada se  $|Z| > 1,96$ .

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{se } S > 0 \\ 0; & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

### Método de Sen's

O método não-paramétrico de Sen's é usado para estimar a magnitude da inclinação de uma tendência existente (mudança por unidade de tempo) (TAO et al., 2014). Este método calcula as inclinações para todos os pares ordenados de dados e, em seguida calcula a mediana dessas inclinações como estimativa da inclinação geral (SALMI, et al., 2002).

As estimativas da inclinação de  $N$  pares de dados é obtida por  $Q_i$ , (Equação 7), conforme (KAHYA e KALAYC, 2004):

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j - k} \quad (7)$$

Para  $i = 1, 2, \dots, N$ . Onde  $x_j$  e  $x_k$  são os valores nos períodos  $j$  e  $k$  ( $j > k$ ), respectivamente.

Se houver  $n$  valores  $x_j$  na série temporal, obtemos  $N$  estimativas de inclinação  $Q_i$ . O número de estimativas de inclinação ( $N$ ) é dado pela equação (8).

$$N = \left[ \frac{n(n-1)}{2} \right] \quad (8)$$

Onde:  $n$  é o tamanho da série.

O estimador de inclinação de Sen's é a mediana desses  $N$  valores de  $Q_i$ . Os valores  $N$  de  $Q_i$  são classificados em ordem crescente e o estimador de Sen's ( $Q$ ) é dado por:



1) Se N for ímpar

$$Q_{mediana} = \left[ \frac{(N+1)}{2} \right] \quad (9)$$

2) Se N for par,

$$Q_{mediana} = \frac{\left\{ Q_{\left(\frac{N}{2}\right)} + Q_{\left[\frac{(N+2)}{2}\right]} \right\}}{2} \quad (10)$$

Para determinar se a inclinação média é estatisticamente diferente de zero, deve-se calcular o intervalo de confiança de  $Q_{mediana}$ , sendo calculado pela equação (11), conforme utilizado por Lira *et al.* (2020) e Tao *et al.* (2014):

$$C_{\alpha} = Z_{1-\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \sqrt{\text{Var}(S)} \quad (11)$$

Onde:

$\text{Var}(S)$  é a mesma definida pela equação (5);

$Z_{1-\alpha/2}$  é obtido através da tabela de distribuição normal padrão. O intervalo de confiança será, como mencionado anteriormente, para o nível de significância  $\alpha=0,05$ .

Os limites, inferior e superior, do intervalo de confiança  $Q_{min}$  ( $M_1$ ) e  $Q_{max}$  ( $M_2$ ) são dados pelas equações (12) e (13):

$$M_1 = \frac{(N - C_{\alpha})}{2} \quad (12)$$

$$M_2 = \frac{(N + C_{\alpha})}{2} \quad (13)$$

Desta forma, a inclinação  $Q_{med}$  é dita como estatisticamente diferente de zero se os dois limites ( $Q_{min}$  e  $Q_{max}$ ) apresentarem o mesmo sinal.

### Teste de Pettitt



Para localizar o ponto onde houve uma mudança brusca na média de uma série temporal utilizaremos o teste de Pettitt (PETTITT, 1979), adotando-se o nível de significância de 5% para aplicação. A estatística  $U_{i,T}$ , segundo Penereiro e Meschiatti (2018), pode ser calculada pelas equações (14) e (15).

$$U_{(i,T)} = U_{(i-1,T)} + V_i \quad (14)$$

$$V_i = \sum_{j=1}^T \text{sinal}(X_i - X_j) \quad (15)$$

$$U_1 = V_1$$

Onde:

$U_{i,T}$  representa uma das etapas da análise estatística de Pettitt da série temporal em análise;

$U_{i-1,T}$  indica a segunda etapa da análise estatística de Pettitt, da mesma série temporal em análise;

$j$  representa o número do termo específico em análise, porém diferente do valor de “ $i$ ”;

$X_i - X_j$  representam os valores da série em estudo, para averiguar se o valor do termo precedente “ $j$ ” é menor do que o termo em análise “ $i$ ”;

$t$  representa a soma do número de termos da série de um termo da primeira amostra; e

$T$  representa a soma do número de termos da mesma série, mas de um segundo termo da segunda amostra.

Na qual:

$\text{sinal}(x)=1$  para  $x>0$ ;  $\text{sinal}(x)=0$  para  $x=0$ ;  $\text{sinal}(x)=-1$  para  $x<0$ .

A hipótese nula do teste de Pettitt admite ausência de um ponto de mudança na série. A estatística do teste de Pettitt é  $K(t)$  (Equação 16), representa o ponto de mudança brusca na média da série temporal e seu nível de significância ( $p$ ) é calculado pela Equação (17).

$$K_{(t)} = \max_{1 \leq t \leq T} |U_{(t,T)}| \quad (16)$$

$$p \cong 2e^{\left\{ \frac{-6K(t)^2}{(T^3+T^2)} \right\}} \quad (17)$$

Onde:

$p$  representa a estatística para localizar o ponto em que ocorreu a eventual ruptura da série temporal;  
 $K$  é o valor que indica a possibilidade de localizar o ponto em que ocorreu a ruptura na série; e  
 $T$  é a soma do número de termos da mesma série, porém de um membro da segunda amostra.

Nesse teste o nível de significância da mudança adotado foi de 0,05.

O ponto de mudança brusca, sendo o ponto na qual o valor de  $t$  ocorre para o máximo, ou mínimo, valor de  $K_{(t)}$ , é obtido, de acordo com Penereiro e Meschiatti (2018), pela equação (18):

$$K_{crit} = \pm \sqrt{\frac{\left\{ \left( -\ln\left(\frac{P}{2}\right) \right) (T^3 + T^2) \right\}}{6}} \quad (18)$$

Onde:

$K_{crit}$  representa a possibilidade de localizar com exatidão o ponto onde ocorreu a ruptura na série temporal em estudo;

$p$  significa a relação estatística para localizar o ponto em que ocorreu eventual ruptura da série temporal, e;

$T$  representa a soma do número de termos da mesma série, porém de um membro da segunda amostra.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO\*

### Início da Estação Chuvosa (IEC) e Final da Estação Chuvosa (FEC)

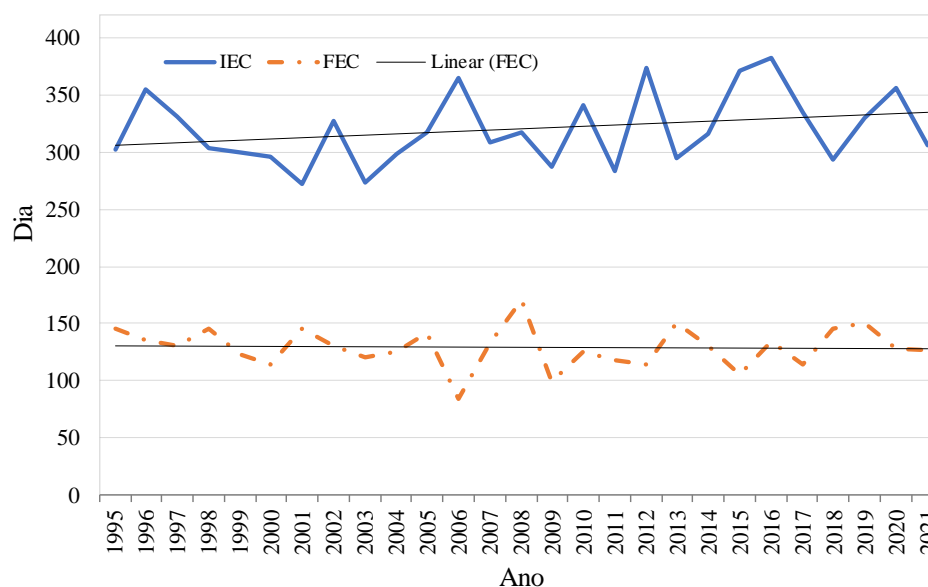
Na Figura 2 são apresentados os dias de IEC e FEC para cada ano da série histórica de precipitação analisada de Palmas -TO.

Verifica-se que o IEC, em média, ocorre no dia juliano 320 (16/11), sendo que o IEC mais precoce da série ocorreu no ano de 2001, dia juliano 272 (29/09), e o mais tardio no ano de 2016, dia juliano 17 (17/01) do ano de 2017. Nota-se que nos anos de 1996, 2006, 2010, 2012, 2015 e 2016 os IEC's atrasaram, ocorrendo em meados de dezembro e janeiro, de acordo com a metodologia adotada nesse estudo para determinação do Início da Estação Chuvosa. No ano de 2016 o início da EC ocorreu com 63 dias de atraso, no dia juliano 17 do ano de 2017. Nos anos de 2012 e 2015 o IEC ocorreu, respectivamente, nos dias julianos 7 de janeiro de 2013 e 9 de janeiro de 2016. Em 1996 e 2010 a estação

chuvosa começou no mês dezembro. Por outro lado, nos anos de 2001, 2003, 2009 e 2011, observou-se os inícios mais precoces da EC, para a série histórica analisada. Nos anos de 2001 e 2003 a EC iniciou 48 e 47 dias antes do previsto, nos dias julianos 272 (29/09) e 273(30/09), respectivamente. Nos anos de 2009 e 2011 a EC iniciou no final da primeira quinzena de outubro, nos dias 11 e 14, nessa ordem, o que corresponde a uma antecipação de 36 dias.

Referente ao FEC de Palmas - TO, observa-se que esse ocorre, em média, no dia juliano 129 (09/05). Os valores de FEC oscilaram entre 19 de junho (dia juliano 171) e 24 de março (dia juliano 84) como mostra a Figura 2. Nos anos de 2006, 2009 e 2015 a EC terminou mais cedo, no final do mês de março e primeira quinzena de abril. Em 2006 o FEC ocorreu no dia 26 de março (dia juliano 84), 9 de abril em 2009 (dia juliano 99) e 14 de abril em 2015 (dia juliano 105). Nos anos de 2008, 2013 e 2019 o FEC em Palmas - TO se estendeu até o final de maio e junho. Em 2008 a EC finalizou no dia 20 de junho (dia juliano 171), em 2013 no dia 31 de maio (dia juliano 171); e em 2019 o FEC finalizou no dia 30 de maio (dia juliano 151).

**Figura 2.** Variabilidade interanual do Início da Estação Chuvosa (IEC), linha sólida, e do Final da Estação Chuvosa (FEC), linha pontilhada, de Palmas – TO, no período de 1995 a 2021.



Fonte: Elaboração dos próprios autores (2022).

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos testes estatísticos paramétricos e não paramétricos aplicados ao IEC de Palmas - TO, para período de 1995 a 2021. O coeficiente  $b$  de 1,1 denota inclinação positiva da reta e, portanto, tendência crescente do IEC de Palmas - TO. Igualmente o teste de Mann-Kendall indicou tendência positiva na série temporal do IEC, não significativa. A inclinação de Sen's encontrada foi positiva com taxa crescente de aproximadamente 1,1 dias/ano.

Indicando que, no período de 27 anos, o IEC está atrasando em 30,4 dias. Pelo teste de Pettitt no ano de 2014 houve uma mudança brusca com a tendência crescente no dia do IEC para a série histórica analisada.

**Tabela 1.** Resultado das análises de Regressão, Teste de Mann-Kendall, Método de Sen's e Teste de Pettitt para o IEC de Palmas – TO, no período 1995-2021.

Série Histórica	Coeficiente <i>b</i>	MK	Sen's		Pettitt (ano)
			(dias.ano <sup>-1</sup> )	(dias.27anos <sup>-1</sup> )	
1995-2021	1,1	1,1	1,1*	30,4*	2014

\*nível de significância  $\alpha = 0,05$

Fonte: Elaboração dos próprios autores (2022).

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos testes estatísticos paramétricos e não paramétricos aplicados ao FEC de Palmas - TO, para o período analisado. O coeficiente *b* de -0,1 denota inclinação negativa da reta e, portanto, tendência decrescente para o FEC. A análise interanual da variação do FEC pelo teste de Mann-Kendall igualmente aponta presença de tendência negativa, sem significância estatística. O estimador de Sen's indicou taxa decrescente, iniciando uma antecipação de 3 dias/ ano para o último dia da estação chuvosa. Desse modo, estima-se que no período de 27 anos o FEC se antecipou, está acabando mais cedo a EC. O ponto de mudança brusca encontrado na série em análise foi o ano de 2021.

**Tabela 2.** Resultado das análises de Regressão, Teste de Mann-Kendall, Método de Sen's e Teste de Pettitt para o FEC de Palmas – TO, no período 1995-2021.

Série Histórica	Coeficiente <i>b</i>	MK	Sen's		Pettitt (ano)
			(dias.ano <sup>-1</sup> )	(dias.27anos <sup>-1</sup> )	
1995-2021	-0,1	-0,4	-0,3*	-7,4*	2021

\* nível de significância  $\alpha = 0,05$

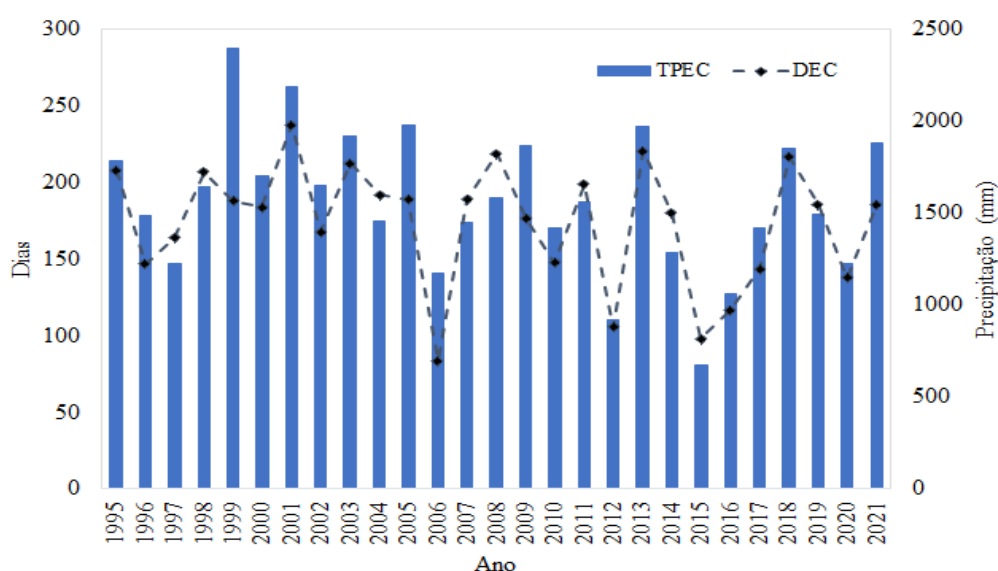
Fonte: Elaboração dos próprios autores (2022).

### Duração da Estação Chuvosa (DEC) e Total de Precipitação da Estação Chuvosa (TPEC)

De acordo com a série histórica analisada a EC de Palmas-TO dura em média 174,3 dias, variando entre 238 e 84 dias de duração (Figura 3). Os menores valores de DEC ocorrem nos anos de 2016 (84 dias), 2015 (98 dias), 2012 (106 dias) e 2006 (116 dias). Os maiores valores de DEC ocorreram nos anos de 2001 (238 dias), 2013 (221 dias) e 2008 (219 dias).

O TPEC médio de Palmas-TO é de 1567,6 mm. Conforme apresentado na Figura 3, para essa série histórica, o TPEC variou entre 674,2 mm (2015) a 2397,5 mm (1999). Os quatro menores TPEC observados, em ordem decrescente, ocorreram nos anos de 2015 (674,2 mm), 2012 (920,1 mm), 2016 (1064,5 mm) e 2006 (1171,9 mm). Os três maiores TPEC foram observados nos anos de 1999 (2397,5 mm), 2001 (2190,5 mm) e 2005 (1981,8 mm). Nota-se que os anos que apresentaram as maiores TPEC, com exceção de 2001, não foram os anos com as maiores DEC. Porém os anos que apresentaram as menores DEC foram os que apresentaram os menores valores de TPEC. Esses resultados indicam que a qualidade da EC, com maiores acumulados de precipitação, não está relacionada à duração da EC, mas provavelmente à ocorrência de eventos de precipitação com altos volumes de chuva.

**Figura 3.** Variabilidade interanual da Duração da Estação Chuvosa (DEC), linha pontilhada, e o Total da Precipitação da Estação Chuvosa (TPEC), em barra, de Palmas – TO para o período de 1995 a 2021.



Fonte: Elaboração dos próprios autores (2022).

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos testes estatísticos paramétricos e não paramétricos aplicados a DEC de Palmas-TO, para período de 1995 a 2021. O coeficiente  $b$  indica inclinação negativa da reta e, portanto, tendência decrescente na DEC de Palmas – TO. O teste de Mann-Kendall, igualmente, mostra tendência negativa na série temporal de DEC, não significativo. O estimador da inclinação de Sen's indicou taxa decrescente de aproximadamente 1,0 dia/ano. Sugerindo que no período de 27 anos houve um encurtamento na DEC, de aproximadamente 27 dias. O teste de Pettitt indica ponto de mudança brusca encontrado na série em análise no ano de 2004.

**Tabela 3.** Resultado das análises de Regressão, Teste de Mann-Kendall, Método de Sen's e Teste de Pettitt para o DEC de Palmas – TO, no período 1995-2021.

Série Histórica	Coeficiente <i>b</i>	MK	Sen's		Pettitt (ano)
			(dias.ano <sup>-1</sup> )	(dias.27anos <sup>-1</sup> )	
1995-2021	-1,3	-1,0	-1,0*	-27,0*	2004

\* nível de significância  $\alpha = 0,05$

Fonte: Elaboração dos próprios autores (2022).

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos testes estatísticos paramétricos e não paramétricos aplicados a TPEC de Palmas-TO, para período de analisado. O coeficiente *b* indica inclinação negativa da reta e, portanto, tendência decrescente de TPEC de Palmas – TO. Complementarmente, o teste de Mann-Kendall igualmente denotou presença de tendência negativa no TPEC, não significativa. O estimador de Sen's indicou taxa decrescente de aproximadamente 14,5 mm/ano para a precipitação total durante a estação chuvosa. Indicando que no período de 27 anos houve um decréscimo de 390,5 mm no TPEC do município. O ano de 2016 foi apontado pelo teste de Pettitt como o ponto de mudança brusca na série em análise.

**Tabela 4.** Resultado das análises de Regressão, Teste de Mann-Kendall, Método de Sen's e Teste de Pettitt para o TPEC de Palmas – TO, no período 1995-2021.

Série Histórica	Coeficiente <i>b</i>	MK	Sen's		Pettitt (ano)
			(mm.ano <sup>-1</sup> )	(mm.27anos <sup>-1</sup> )	
1995-2021	-15,8	-1,6	-14,5*	-390,5*	2016

\* nível de significância  $\alpha = 0,05$

Fonte: Elaboração dos próprios autores (2022).

A regressão Linear, o teste de Mann-Kendall e a Inclinação de Sen's, apontaram - concomitantemente - tendência de atraso para o IEC, tendência de adiantamento para o FEC, tendência de diminuição da EC e tendência de redução no total acumulado de precipitação, refletindo no comportamento da precipitação da EC de Palmas - TO.

Várias pesquisas (DEBORTOLI et al., 2012; CAMPOS e CHAVES, 2020; FERIJAL, BATELAAN e SHANAFIELD, 2021) sugerem que umas das possíveis causas da redução do volume de precipitação seja o aumento do desmatamento, uma vez que esse está diretamente vinculado à redução na taxa de evapotranspiração, recaindo diretamente sobre o ciclo hidrológico e a temperatura. Segundo Rocha e Nascimento (2021) cerca de 41,3% da cobertura natural do bioma Cerrado já se encontra convertida para uso antrópico. Acrescentando, Silva, Ries e Maciel (2020) identificaram tendência de

aumento nas temperaturas máxima e mínima para a cidade de Palmas - TO, indicando que o município já está sofrendo uma variação em seu balanço energético local, podendo ocasionar, como consequência, a maior probabilidade de ocorrência de eventos severos na região.

Quanto ao IEC tardio, situações semelhantes foram observadas em outras regiões do globo. Luković et al. (2021), observaram que a estação chuvosa do estado da Califórnia (EUA) está se iniciando mais tardiamente, um atraso de aproximadamente 27 dias para dados desde a década de 1960. Derbotoli et al. (2012) apontam como um possível retardante para o IEC a queima de biomassa pela agricultura, ação que culmina na emissão de partículas no ar reduzindo o total de radiação recebida pelas superfícies terrestres, causando impacto sobre o balanço de carbono e a formação de nuvens propícias a chuvas.

Como consequência, o atraso no início da estação chuvosa verificado no presente estudo pode contribuir fortemente para o aumento da frequência de focos de incêndio na região, como constatado por Luković et al. (2021) para o estado da Califórnia. De acordo com Rocha e Nascimento (2021), cerca de 71% da distribuição de queimadas no Cerrado se dá no período da seca, enquanto a estação chuvosa responde por 29% das ocorrências de focos. Tais processos favorecem o aparecimento de doenças respiratórias na população local (SANTIAGO e LOPES, 2021), além de causar impacto sobre a fauna – provocando afugentamento e perda de espécies – e a flora, afetando a reprodução, floração e até mesmo aniquilando espécies, tanto sensíveis quanto mais resistentes (ROCHA e NASCIMENTO, 2021).

Acrescentando aos resultados observados, Sousa (2021) aponta em seu trabalho que, entre os anos de 2015 a 2020, 2015 foi o ano com maior índices de áreas queimadas no Parque Estadual do Lajeado - inteiramente inserido dentro do limite municipal de Palmas e sendo o detentor dos mananciais que abastecem a cidade, ano esse apontando como detentor do menor total acumulado de precipitação durante a estação chuvosa do município para a série histórica em análise. Os resultados observados de presença de tendência negativa na precipitação acumulada total sugerem um grande impacto no armazenamento local.

## CONCLUSÃO

A Estação Chuvosa de Palmas - TO está se encurtando (-1 dia/ano) – iniciando mais tardiamente (1,1 dias/ano) e cessando mais antecipadamente (-0,3 dias/ano) – apresentando decréscimo no TPEC (-14,5 mm/ano), como observado tanto pela Regressão Linear, como pelos testes de Mann-Kendall e inclinação de Sen's.

Os resultados obtidos corroboram com outras pesquisas realizadas não só para o bioma Cerrado – considerado o berço de águas do país, mas também para demais regiões do globo, demonstrando mudanças no comportamento da EC de Palmas – TO, o que indica uma modificação negativa no principal fenômeno de input de água nas bacias hidrográficas, a precipitação, na região de estudo.



## AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal do Tocantins por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/UFT).

---

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, E., D.; SANO, E., E. **Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na agricultura**. 20ed. Brasília, EMBRAPA. 434 p, 1988.

CAMPOS, J. O.; CHAVES, H. M. L. Tendências e Variabilidades nas Séries Históricas de Precipitação Mensal e Anual no Bioma Cerrado no Período 1977-2010. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 01, 157-169, 2020.

COSTA, M. S.; LIMA, K. C.; ANDRADE, M. M.; GONÇALVES, W. A. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 05, 1321-1334, 2015.

DEBORTOLI, N., et al. Análise Temporal do Período Chuvoso na Amazônia Meridional Brasileira (1971-2010). **Revista Geonorte**, Ed. Especial 2, v. 1, n. 5, 382-394, 2012.

FERIJAL, T.; BATELAAN, O.; SHANAFIELD, M. Spatial and temporal variation in rainy season droughts in the Indonesian Maritime Continent. **Journal of Hydrology**, v.604, 2021.

KAHYA, E.; KALAYC, S. Trend analysis of streamflow in Turkey. **Journal of hydrology**, v. 289, n. 1-4, p. 128-144, 2004.

KENDALL, M. G. Rank correlation measures. **Charles Griffin**: London, U.K, p. 220, 1975.

LIRA, B. R. P.; LOPES, L. N. A.; CHAVES, J. R.; SANTANA, L. R.; FERNANDES, L. L. Identificação de Homogeneidade, Tendência e Magnitude da Precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, 426-439, 2020.

LUKOVIĆ, J. CHIANG, J. C. H.; BLAGOJEVIĆ. D.; SEKULIĆ, A. **A Later Onset of the Rainy Season in California**. *Geophysical Research*, v. 48, n. e2020GL090350, 2021.

MACHADO, M. A. M.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, M. H. Duração da estação chuvosa em função das datas de início do período chuvoso para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 2, p. 73-79, 1996.

MANN, H. B. *Econometrica*. **The econometric society**, v.13, n.3, 245-259, 1945.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; CUARTAS, L. A.; LEAL, K. R. D.; BROEDEL, E.; SELUCHI, M. E.; MICHELIN, C. M.; BAIÃO, C. F. P.; ANGULO, E. C.; ALMEIDA, E. K.; KAZMIERCZAK, M. L.; MATEUS, N. P. A.; SILVA, R. C.; BENDER, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 03, p. 13, 2021.

PENEREIRO, J. C.; MESCHIATTI, M. C. Tendências em séries anuais de precipitação e temperaturas no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 02, 319-331, 2018.

PETTITT, A. N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistic**, London, v. 28, n.2, 126-135.

ROCHA, M. I. S.; NASCIMENTO, D. T. F. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 03, 1220-1235, 2021.

ROCHA, H. R.; FREITAS, H. C.; RASOLEM, R.; TANNUS, R. N.; NEGRÓN-JUÁREZ, R. I.; LIGO, M. V.; CABRAL, O. M. R.; MESQUITA JUNIOR, H. N.; BITENCOURT, M. D. Caracterização física do Cerrado pé-de-gigante e uso das terras na região: Ciclo hidrológico e microclima. In: V. R. PIVELLO; E. M. VARANDA (Org.) O Cerrado do pé-de-gigante - Parque Estadual de Vassununga: ecologia e conservação. São Paulo, SMA, 2005. p. 37-46.

SANSIGOLO, A. S. Variabilidade Interanual da estação chuvosa em São Paulo. **Climanálise**, São Paulo, v. 9, 40-43. 1989.

SANTIAGO, L. A. N.; LOPES, R. S. Impactos na saúde humana devido à emissão de aerossóis causada por queimadas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, 9069-9075, 2021.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1.379-1.389, 1968.

SILVA, R. A.; SILVA JÚNIOR, J. L. C.; BATISTA, D. L. Variabilidade da precipitação no município de Palmas - TO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, Belém, **Anais**. 2010.

SILVA, R. A.; RIES, E.S.; MACIEL, G.F. Tendências da temperatura anual no estado do Tocantins. **Nativa**, Sinop, v. 8, n.4, 544-551, 2020.

SOUSA, D. A. S. Análise multitemporal de áreas queimadas no Parque Estadual do Lajeado em Palmas (TO). **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins. Palmas, p. 49. 2021.

SPINONI, J.; BARBOSA, P.; BUCCHIGNANI, E.; CASSANO, J.; CAVAZOS, T.; CHRISTENSEN, J. H.; CHRISTENSEN, O. B.; COPPOLA, E.; EVANS, J.; GEYER, B.; GIORGI, F.; HADJINICOLAOU, P.; JACOB, D.; KATZFEY, J.; KOENIGK, T.; LAPRISE, R.; LENNARD, C. J.; KURNAZ, M. L.; LI, D.; LLOPART, M.; MCCORMICK, N.; NAUMANN, G.; ROCKEL, B.; SOLMAN, S. A.; SYKTUS, J.; TANGANG, F.; TEICHMANN, C.; VAUTARD, R.; VOGT, J. V.; WINGER, G. Z.; DOSIO, A. Future global meteorological drought hotspots: a study based on CORDEX data. **Journal of Climate**, v. 33, n. 9, 3635–3661, 2020.

TULLIO, L. Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto: A. Análise da distribuição espacial da temperatura de superfície em Palmas – TO. **Atena Editora**, v. 3, p. 172, 2019.

TAO, H.; FRAEDRICH, K.; MENZ, C.; ZHAI, J. Trends in extreme temperature indices in the Poyang Lake Basin, China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, n. 6, 1543-1553, 2014.

TRIOLA, M. F. Introdução a Estatística. 9ª Edição. **Editora LTC**. Rio de Janeiro, p. 656, 2005.



— PIBIC —

— PIBIC —