



Tendência, anomalia e comportamento climático em Belterra, Oeste do Pará

Beatriz de Souza Freitas¹, Dênis José Cardoso Gomes², Richard Reno da Costa Lobato³, Marco Antônio Godinho dos Reis⁴, Alanna Maués de Souza⁵, Marinete da Silva Ferreira⁶, Edson Agnaldo Imbelloni Martins⁷, Ana Carla dos Santos Gomes⁸, José Valentin Bageston⁹

¹Doutoranda em Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, Camobi, Santa Maria – RS, 97105-900, e-mail: beatriz.freitas@acad.ufsm.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8576-9120>, (autora correspondente).

²Doutorando em Ciências Ambientais, Universidade do Estado do Pará (UEPA), Tv. Enéas Pinheiro, 2525, Marco, Belém – PA, 66095-100, e-mail: deniss.feg@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6441-6783>.

³Doutorando em Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, Camobi, Santa Maria – RS, 97105-900, e-mail: richardlobato7@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3787-6738>.

⁴Doutorando em Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, Camobi, Santa Maria – RS, 97105-900, e-mail: reis.marco@acad.ufsm.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6364-1049>.

⁵Mestranda em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Rodovia Presidente Dutra, km 40 SP/RJ, 12630-000, Cachoeira Paulista – SP, e-mail: alsouzamaues@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-2123>.

⁶Doutoranda em Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, Camobi, Santa Maria – RS, 97105-900, e-mail: netesilvaferreira@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7412-2081>.

⁷Graduando em Ciências Atmosféricas, Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Rua Vera Paz, s/n, Salé, 68035-110, Santarém – PA, e-mail: edson2imbelloni@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4165-2174>.

⁸Profa. Dra. do Instituto de Engenharia e Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Rua Vera Paz, s/n, Salé, 68035-110, Santarém – PA, e-mail: ana.gomes@ufopa.edu.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7499-8342>.

⁹Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Coordenação Espacial do Sul (COESU), Av. Roraima, 1000, Camobi, Caixa postal 5021, Santa Maria – RS, e-mail: bageston@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2931-8488>.

Artigo submetido em 21/11/2023 e aceito em 05/06/2024

RESUMO

Nas últimas décadas, a interação entre as mudanças na superfície terrestre e climáticas causou alterações nos padrões atmosféricos e, conseqüentemente em diversos setores das atividades humanas. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar tendências climáticas no município de Belterra-PA (02°38' S; 54°05' W), utilizando dados de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação pluvial, pressão atmosférica, insolação total, umidade relativa do ar, velocidade do vento e a evaporação de piche da estação meteorológica do INMET de Belterra, ao longo período temporal desde 1980 até 2022. Foram empregados os métodos Mann-Kendall e *Sen's Slope* para identificar tendências climáticas na região geográfica analisada. Os resultados indicam tendências significativas de aumento significativa nas temperaturas máximas e mínimas. No entanto, as variáveis precipitação pluvial e pressão atmosférica apresentaram tendência de aumento, mas sem significância estatística. Em contrapartida, as variáveis evaporação do piche, insolação total, umidade relativa e velocidade do vento apresentam tendência de decréscimo com significância estatística. A urbanização, avanço da fronteira agropastoril, queimadas, além das mudanças climáticas são os principais fatores responsáveis pelas alterações.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Região Amazônica. Uso e cobertura do solo.

Trend, anomaly, and climatic behavior in Belterra, Western Pará

ABSTRACT

In recent decades, the interaction between land surface changes and climatic changes has caused alterations in atmospheric patterns and, consequently, in various sectors of human activities. Thus, the objective of this study was to identify climatic trends in the municipality of Belterra-PA (02°38' S; 54°05' W), using data on maximum temperature, minimum temperature, rainfall, atmospheric pressure, total insolation, relative humidity, wind speed, and pitch evaporation from the INMET meteorological station in Belterra, over the long period from 1980 to 2022. The Mann-Kendall and Sen's Slope methods were employed to identify climatic trends in the analyzed geographic region. The results indicate significant increasing trends in maximum and minimum temperatures. However, the variables rainfall and atmospheric pressure showed an increasing trend but without statistical significance. In contrast, the variables pitch evaporation, total insolation, relative humidity, and wind speed showed a decreasing trend with statistical significance. Urbanization, the expansion of the agro-pastoral frontier, fires, and climate change are the main factors responsible for these alterations.

Keywords: Climate changes. Amazon region. Land use and cover.

Introdução

Nos últimos anos, os estudos relacionados a tendências climáticas foram intensificados em decorrência do aumento da preocupação com o clima futuro e de como essas mudanças afetarão determinadas localidades (Brito et al., 2022; Ferreira; Lima; Gomes, 2023; Santos; Andrade Filho; França, 2023). Na região do Baixo Amazonas, principalmente os municípios de Santarém e Belterra, passaram a experimentar um novo processo de ocupação do espaço baseado na agricultura de grãos a partir do final dos anos 90 e início dos anos 2000 (Venturieri et al., 2007; Coelho et al., 2021).

Diante dessas mudanças, entender o comportamento climático da região é de suma importância para o desenvolvimento de diversos setores da atividade humana, como o setor agrícola, ambiental e econômico. Estudos feitos por Mendes et al. (2023) apontaram que a preocupação com o impacto das mudanças climáticas em um forte setor da economia local.

Diversos estudos constataram que a floresta amazônica tem um dossel altamente potente que responde a fatores climáticos e antropogênicos, possuindo ligações com os efeitos das alterações no uso e cobertura do solo, diminuição da precipitação e aumento da temperatura do ar (Almagro et al., 2017; Arvor et al., 2017; Funatsu et al., 2019). Diante das graves consequências que as mudanças climáticas causaram ou podem causar, é necessário fomentar o debate científico, político e social sobre o tema. Nesse caso, identificar os padrões e comportamentos atuais dos índices climáticos, globalmente aceitos e caracterizados por tais análises (Zhang e Yang, 2004; Assis et al., 2018), permitem propostas e políticas de subsídios, minimizar impactos socioambientais e econômicos, especialmente na Amazônia brasileira.

Em 2022, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) publicou mais um relatório sobre os avanços da ciência referentes às mudanças climáticas globais. O novo cenário diz que, durante as próximas duas décadas, a sociedade enfrentará uma série de riscos climáticos provocados pelo aquecimento global superior a 1,5°C. Para o futuro, espera-se que os impactos das mudanças climática impulsionem ainda mais o aumento de eventos meteorológicos extremos (Olafsdottir et al., 2021). As secas se tornarão mais frequentes e afetarão também as áreas da região do Baixo Amazonas (Duffy et al., 2015). De acordo com o relatório, até o ano de 2100, o aquecimento pode reduzir em 27% a vazão na bacia do Tapajós e em 53% na bacia do

Araguaia-Tocantins (IPCC, 2022), fato recentemente observado no rio Araguaia e discutido em documento científico (Gomes et al., 2022).

Dada a variabilidade atual, é fundamental entender como as mudanças globais, somadas a modificações no uso e cobertura de solo de regiões específicas alteram tendências climáticas (Fritzsos et al., 2023), especialmente na Amazônia (Gomes et al., 2022; Ribeiro et al., 2023). Uma tendência pode ser entendida como uma mudança contínua e sistemática, observada em uma série temporal, que reflete o quanto o valor de uma variável aumenta ou diminui (Alencar et al., 2011).

Neste sentido, a variabilidade de anomalias climáticas é usada para verificar em qual período (hora, dia, mês ou ano) a variável em estudo apresenta maior ou menor valor em relação à média histórica (Gomes et al., 2022b). Um tipo de cálculo de anomalias usado é o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) como aplicado por (Gomes et al., 2022a), no qual verificaram a disponibilidade hídrica baseada no volume do regime de chuvas observado sob efeito das mudanças do uso e cobertura do solo. Outro exemplo são as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) usadas por Assis et al. (2018) para detectar fenômenos climáticos.

As análises estatísticas têm sido amplamente utilizadas na identificação de tendências nas variáveis meteorológicas. Nas últimas décadas, tem-se intensificado a busca por fatores que interferem nas condições climáticas e quais suas consequências para a humanidade, como mostram os estudos feitos por Mendonça (2005), Casagrande et al. (2011), Queiroz e Costa (2012) e Siqueira Júnior et al. (2015).

Assim, mediante as inúmeras evidências sobre os efeitos das mudanças do uso e cobertura do solo no clima local, é necessário análises para observar se há tendências climáticas negativas ou positivas em uma área afetada pelo desmatamento acelerado. Em vista disso, o objetivo deste trabalho foi analisar e identificar tendência nas variáveis meteorológicas do município de Belterra-PA.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A área de estudo trata-se do município de Belterra (Figura 1) no bioma Amazônia, localizado na mesorregião do Baixo Amazonas, microrregião de Santarém, Oeste do Pará. Possui área territorial de 4.398,418 km² e uma população estimada em

18.099 habitantes (IBGE, 2022). O município é marcado pela predominância dos altiplanos (145 m-255 m), com presença de planícies (1 m-109 m) na borda Leste e às margens do rio Tapajós

(EMBRAPA, 2023). A cidade se encontra a uma altitude média de 130 m (Oliveira et al., 2010; Carneiro Costa e Pauletto, 2021).

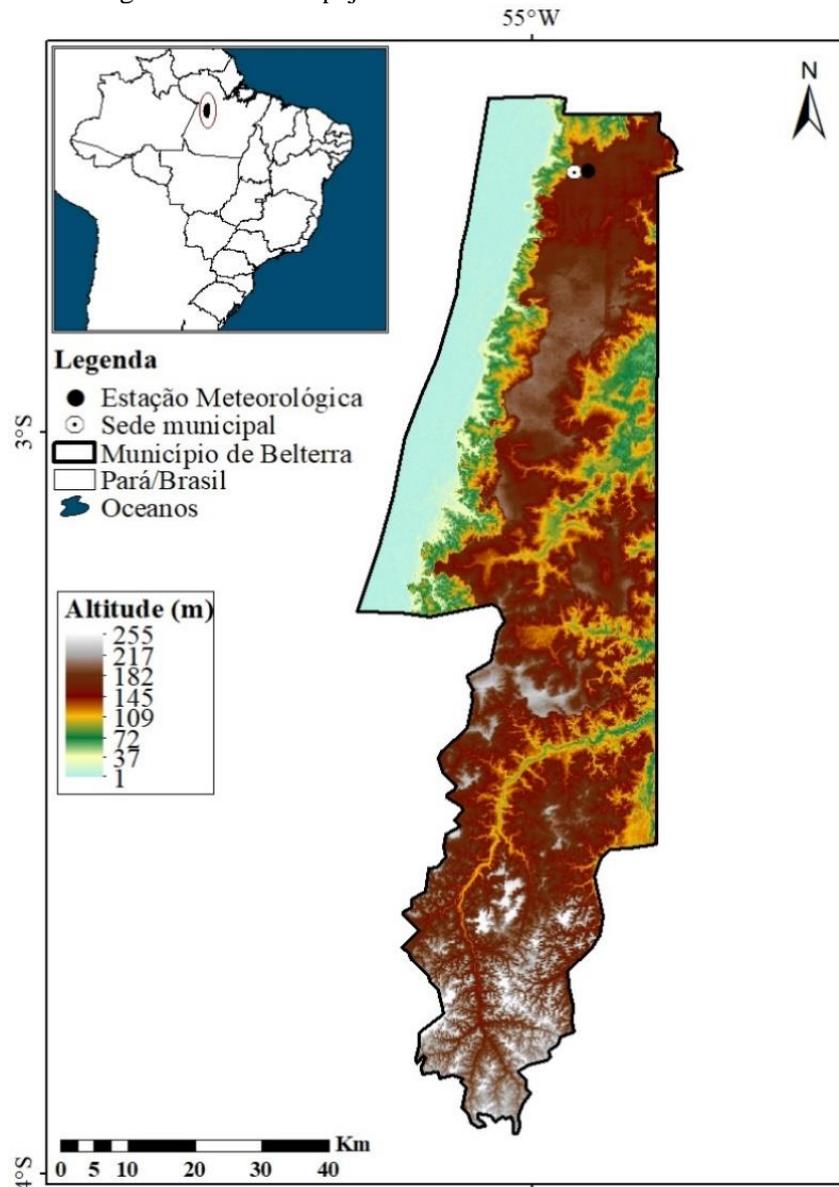


Figura 1. Localização da área de estudo: município de Belterra-PA. Fonte: Autores (2021).

O clima predominante da região é quente e úmido, com o índice pluviométrico de 2.200 mm/ano, o período de maior índice pluviométrico ocorre de dezembro a maio, a temperatura média anual é de 26°C, a umidade relativa apresenta uma média de 85%. A região apresenta uma estação seca moderada de julho a novembro. Segundo a classificação de Köppen o clima da cidade é do tipo tropical monçônico (Am).

Procedimentos Metodológicos

As variáveis meteorológicas foram obtidas por uma estação meteorológica convencional (-2,64°, -54,94°), que fornece os dados utilizados neste trabalho: temperatura máxima (°C),

temperatura mínima (°C), precipitação pluvial (mm), pressão atmosférica (hPa), insolação total (h), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m/s) e a evaporação do piche (mm), disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos de Ensino e Pesquisa (BDMEP) no período em que esse trabalho focou, ou seja, de 1980 a 2022.

O uso e cobertura do solo (1985-2022) foi avaliado por meio de dados do Projeto MapBiomias (2023), coleção 8, obtidos da plataforma *Google Earth Engine* (GEE). A classificação, mapeamento e quantificação (km²) das formas de uso e cobertura do solo foi realizada no ambiente do Sistema de Informação Geográfica (SIG), de forma análoga à realizada por Souza Junior et al. (2020).

As análises das anomalias foram realizadas por meio das diferenças entre as variáveis meteorológicas e suas respectivas médias climatológicas. Esses valores anômalos sinalizam um afastamento do estado das condições meteorológicas observadas em uma determinada região durante um período específico em relação ao valor médio de longo prazo, para a mesma região. A Equação 1 mostra como foram obtidas as anomalias (A) anuais, para os valores das variáveis meteorológicas no período entre 1980 e 2022.

$$A = x - \bar{x} \quad \text{Eq. (1)}$$

Visando encontrar a presença de tendências climáticas nas séries temporais das variáveis meteorológicas utilizou-se o teste estatístico de Mann-Kendall e, complementarmente, o Estimador *Sen's Slope*. A seguir são descritos esses métodos.

Teste de Mann-Kendall

O método de Mann-Kendall (MK), proposto por Mann (1945) e Kendall (1975), em que avalia a presença da tendência através do valor Z, dado pela seguinte Equação 2:

$$S = \sum_{t=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad \text{Eq. 2}$$

É obtida pela soma de todas as contagens do número de vezes em que o valor da série temporal é menor que os valores restantes, $\text{Var}(S)$, dada pela Equação 3:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1) \cdot (2n+5)] \quad \text{Eq. 3}$$

Um valor positivo do coeficiente de MK indica a tendência de aumento da variável, enquanto o valor negativo aponta a tendência de decréscimo, desde que significativo a nível de 5% ($< 0,05$).

Estimador *Sen's Slope*

Após identificar as tendências, sua magnitude é analisada pelo teste da Curvatura de Sen (1968), usado para obter a estimativa da inclinação verdadeira (Q), calculando as inclinações de todos os pares de dados através da Equação 4.

$$Q = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde N é o número de pares distintos de observações, x_j e x_k são os valores no tempo j e k , respectivamente, sendo $j > k$.

O estimador da inclinação é obtido considerando-se o valor da mediana relativa a

todos os Q_i . Se houverem n valores na série temporal, então obtém-se $N = n(2-1)$, para estimar Q_i . Em seguida, estima-se a inclinação mediana (Q_{med}), pelo método Sen, que é a mediana destes valores N de Q_i , que devem ser classificados do menor para o maior.

Se N é ímpar:

$$Q_{med} = Q = \left[\frac{n+1}{2} \right] \quad \text{Eq. 5}$$

Se N é par:

$$Q_{med} = Q = \frac{1}{2} \left(Q \left[\frac{n}{2} \right] + Q \left[\frac{n+2}{2} \right] \right) \quad \text{Eq. 6}$$

O sinal Q_{med} reflete a ponderação da tendência dos dados, enquanto o valor indica a inclinação da tendência (Gocic e Trajkovic, 2013). Para isso, precisa-se da variância da estatística S de MK. Sendo assim, a curvatura de Sen, complementa o resultado obtido pelo teste de MK.

Os cálculos dos testes estatísticos e gráficos foram empregados com auxílio do software Livre R e software Python.

Resultados e discussão

Variabilidade temporal meteorológica

Observa-se na Figura 2 a variação média anual dos parâmetros Evaporação do Piche (Figura 2a) e Insolação total (Figura 2b) ao longo dos 42 anos (1980-2022) analisados. Têm-se também linhas de tendência de MK (verde) e da inclinação de Sen (vermelho) nos gráficos com intuito de observar o comportamento da tendência e magnitude da tendência dentro da série de dados.

A distribuição dos dados de Evaporação do Piche apresenta diminuição ao longo dos anos, sazonalidade (médias mínimas e máximas) que se caracterizam nos períodos secos (agosto a outubro) e chuvosos (fevereiro a abril) da região (Souza, et al., 2022). Os destaques de médias extremas verificam-se em dezembro de 1992 com a média máxima da série temporal (227,4 mm) e em junho de 1996 com a média mínima (14,9 mm). Recentemente, D'Acunha et al. (2024) relataram que a diminuição da cobertura florestal na Amazônia contribui para a diminuição da evapotranspiração, principalmente em áreas de pasto e na estação seca.

Partindo para a análise da série temporal de Insolação total, a distribuição das médias ao longo dos anos é marcada pela alta variabilidade, especialmente na sazonalidade, ou seja, Belterra possui uma intensa oscilação da insolação local. As médias variam de 57 h (abril/2022), como a menor média da série, a 290,5 h (08/1989) como maior média na série temporal. As linhas de tendência e magnitude apontam para uma tendência de decréscimo em ambas as variáveis (evaporação e

insolação), principalmente a partir do ano de 2000 até 2022. Em Santarém, foram identificados resultados próximos ao observado em Belterra

(Figura 2), com o céu aberto na estação da seca marcado por uma radiação solar relativamente superior (Reis et al., 2022).

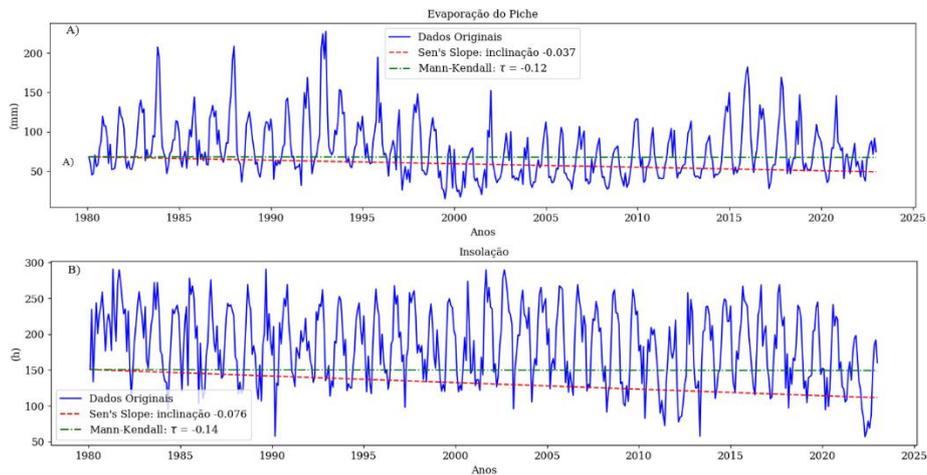


Figura 2. Série temporal de Evaporação do Piche e Insolação Total e linhas de tendência do teste de MK e estimador *Sen's Slope* (1980-2022). Fonte: Autores (2023).

A Figura 3 apresenta as séries temporais da umidade relativa (Figura 3a) e velocidade média do vento (Figura 3b), juntamente com suas respectivas linhas de tendência e magnitude. Analisando a evolução temporal da umidade relativa o seu comportamento médio mensal sugere sazonalidade, com um mínimo médio absoluto de 74,2% (dez/1987) e um máximo médio absoluto de 95,7% (jul/2021). Observa-se que as médias mínimas se concentram antes do ano 2000, enquanto médias máximas com menores variações (em relação aos outros anos) se observam entre 2021/2022.

Seguindo a investigação, a série de velocidade do vento (média) apresenta uma mudança perceptível na amplitude das médias mensais, a partir do ano de 1997, a partir de onde as variações são menores, entre 0,6 e 1,5 m/s e anterior a 1997 as variações eram bem maiores, entre 0,46 e 2,36 m/s. As linhas de tendência e magnitude apontam decréscimo nos parâmetros descritos acima. No Amapá, observou-se padrões de velocidade do vento próximos com baixa intensidade, especialmente no Outono e Inverno Austral, e aumenta na época do verão e primavera (Reis et al., 2023).

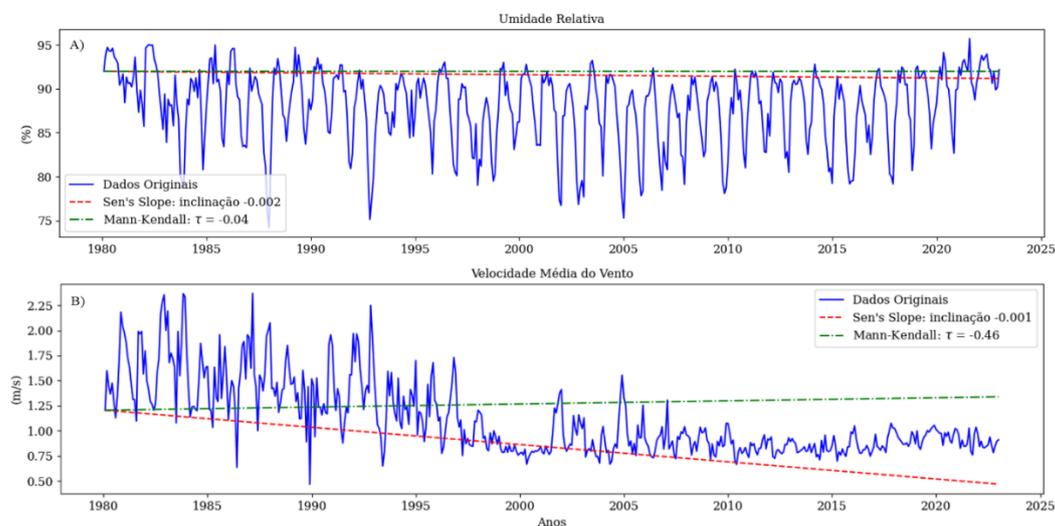


Figura 3. Série temporal de umidade relativa e velocidade do vento (média) e linhas de tendência do teste de MK e estimador *Sen's Slope* (1980 - 2022). Fonte: Autores (2023).

A Figura 4 apresenta as médias de temperatura máxima e temperatura mínima aos longos dos 41 anos de dados (1980-2022). Nas médias da temperatura máxima (Figura 4a) observa-se um mínimo de 28,2°C em março/1989 e um máximo de 35,0°C em novembro/2017, de um modo geral, as médias aparentam ser maiores a partir de 2005/2006, aproximadamente. A sazonalidade, assim como nas outras variáveis (até aqui) é presente. A serie temporal das médias máximas apresentaram uma variação de no máximo 6,8°C (entre o valor máximo e mínimo da série 1980-2022), o que é característico das regiões tropicais, com alta incidência de radiação (Ribeiro, 2013).

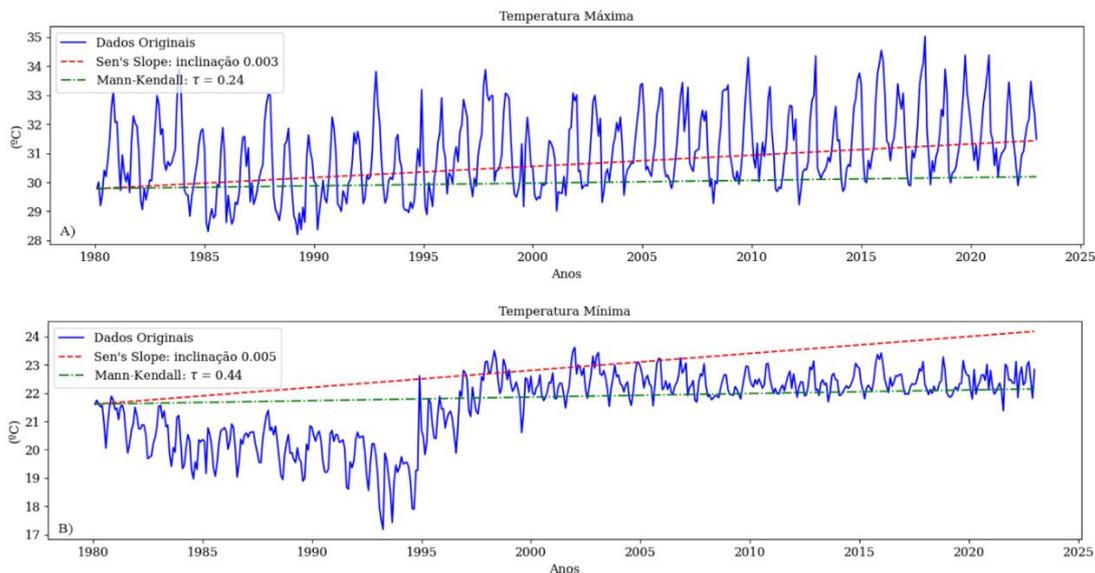


Figure 4. Série temporal de Temperatura máxima e Temperatura mínima e linhas de tendência do teste de MK e estimador *Sen's Slope* (1980 - 2022). Fonte: Autores (2023).

Os dados de precipitação são observados na Figura 5a, na qual a sazonalidade é presente nos dados, onde o máximo observado foi de 753,9 mm em dezembro/1985, seguido de outro valor máximo de 737 mm em março/2008. Os mínimos são observados nos meses correspondentes ao período seco (entre setembro e dezembro) distribuídos ao longo da série, com o menor valor de 0 mm (a maioria concentrados nos meses de outubro).

Uma observação das médias mensais sem precipitação é que unicamente no ano de 2015 observou-se a média de 0 mm nos meses de agosto, novembro e dezembro, consequência da presença de El Niño Oscilação Sul (ENOS) atuando na região de estudo durante esse ano (Serrão et al., 2017). Outro ponto a se destacar são as tendências de elevação dos valores de precipitação e temperatura em Santarém, fator que contribuiu para o aumento dos casos de dengue na região (Silva et al., 2020). Nesta mesma região, também houve constatações estatísticas que indicaram a

A Figura 4b, mostra a distribuição dos dados de temperatura mínima média, apresentando a partir de 1994 uma mudança acentuada na média, em seguida a partir de 2002, o parâmetro apresenta um comportamento relativamente estável. Ao longo da série das médias mínimas, tem-se um valor mínimo de 17,1°C, em março/1993 e um máximo de 23,6°C em dezembro/2001, a diferença entre esses valores extremos é de 6,4°C, semelhante a diferença entre os extremos das médias da temperatura máxima. O comportamento das linhas de tendência (MK) e magnitude (Se) sugerem uma tendência positiva ao longo dos anos de estudo em ambas as séries de temperatura máxima e mínima

relação diretamente proporcional entre variáveis climáticas (precipitação, temperatura do ar e umidade relativa do ar) e doenças respiratórias (Alves et al., 2023). Isto evidencia que Belterra possivelmente presente as mesmas condições ambientais.

Na Figura 5b, a série temporal dos dados de pressão atmosférica média é exposta, bem como as linhas de tendência de MK e da curvatura de Sen, portanto ao longo da série um extremo positivo é observado em julho/1989, com 995,7 hPa, e um extremo negativo em abril/1998, com 989,7 hPa, a diferença entre os extremos (média máxima e mínima) é de 6 hPa. Em relação as linhas que correspondem a tendência e magnitude, observa-se que estas, apontam para uma tendência de aumento, tanto na série de precipitação acumulada, quanto da série de pressão atmosférica (média).

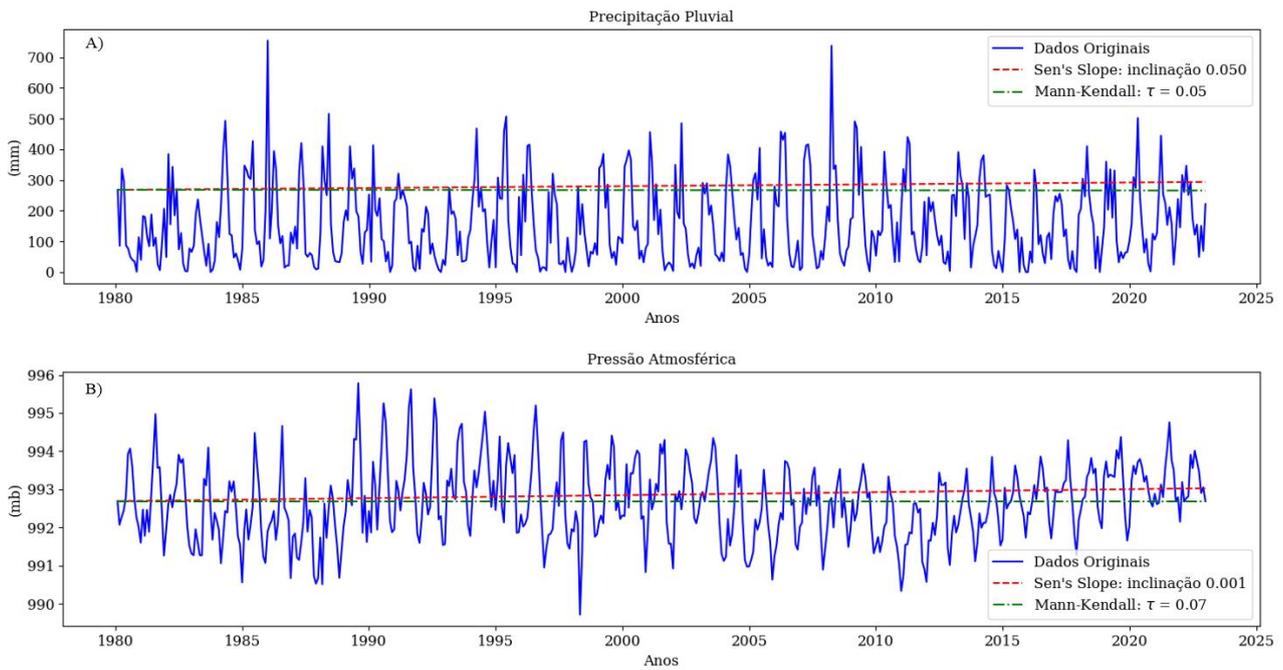


Figura 5. Série temporal de Precipitação total e Pressão atmosférica e linhas de tendência do teste de MK e estimador *Sen's Slope* (1980 - 2022). Fonte: Autores (2023).

As Figuras 2 a 5 apresentam a variabilidade dos dados temporais e apresentam as tendências observadas de acordo com o comportamento das variáveis meteorológicas de estudo. Entretanto, através de testes estatísticos, nesse caso, teste de MK e curvatura de Sen (magnitude) foram utilizados para encontrar, caso haja, os valores da tendência, dados pelo valor de Z, o sinal, que representa diminuição ou aumento dos parâmetros ao longo do período de estudo e os valores da curvatura de Sen, que descrevem a taxa de mudança por ano.

Tendências Climáticas via testes estatísticos

A Tabela 1, portanto, apresenta os valores estatísticos de MK e *Sen's Slope* das variáveis em médias mensais de evaporação (piche), insolação, precipitação, pressão atmosférica, temperatura máxima e mínima, umidade relativa e velocidade do vento.

Observa-se que o teste de MK no parâmetro de evaporação obteve o valor Z de -4,07, na qual o valor negativo aponta decréscimo na série e o p-valor <0,05 (5%) aponta significância do resultado, o valor de S apresenta um valor também negativo, acentuando o negativo encontrado no valor Z e o desvio padrão encontrado foi de 35,6 mm. Portanto, a série de Evaporação do Piche em Belterra-PA aponta tendência de diminuição na variável ao longo dos anos e a curvatura de Sen aponta uma magnitude de -0,036 mm/ano, sugerindo uma taxa de declínio

de 0,03 mm a cada ano, e se considerar 40 anos da série temporal, aponta-se 1,6 mm nas últimas 4 décadas. De acordo com o sexto relatório do IPCC (AR6), o comportamento da evaporação sofreu mudanças nas últimas décadas em algumas regiões do planeta, ocasionada principalmente pela temperatura e pela absorção da vegetação. Esses dois fatores são afetados diretamente pelas mudanças climáticas globais, na qual atualmente o planeta sofre as consequências de tais alterações (IPCC, 2022). No Brasil, já foi constatado mudanças no parâmetro da Evaporação, como trabalhado pelos autores Silva et al. (2010) que observaram diminuição nas taxas de evaporação na região nordeste brasileira, indicando que esses efeitos são ocasionados por alteração de albedo na superfície e pela presença de aerossóis derivados de queimada. Considerando que o município de Belterra é descrito como uma cidade em expansão, é esperado mudanças de vegetação/paisagem na região (Gomes et al., 2019). Além disso, é uma cidade foco de estudos e desenvolvimento de pesquisas da análise de queimadas. Por exemplo, uma pesquisa de campo realizada nas cidades de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos (Oeste do Pará) apontou Belterra como a cidade de maior índice de queimadas durante o período de 2014-2018, onde a principal causa foi direcionada a expansão da cidade (Gomes et al., 2019).

Os resultados estatísticos encontrados na série temporal de insolação total pressupõem que o parâmetro tem uma tendência de decréscimo, na qual o valor Z do teste de MK é de -4,84 (Tabela

1), e um p-valor de $<0,05$, sendo assim uma tendência de diminuição significativa. O valor S também é dado como negativo, acompanhando o negativo do valor Z e o desvio padrão da variável é de 51,2 h. A curvatura de Sen apresenta uma magnitude de $-0,076$ h/ano. Desse modo, o resultado de Sen's, aponta uma taxa de declínio de 0,07 h ao decorrer de cada ano. O estudo de Berlatto e Cordeiro (2017) investigou tendências climáticas para a região Sul do Brasil, na qual os resultados demonstraram decréscimo da insolação total durante o período de 1950 a 2010, apresentando um

decrécimo de 248h em 60 anos, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho. Os autores também apontam que o aumento da nebulosidade é o fator de diminuição do parâmetro de insolação. O fator que pode ser associado a tendência de decréscimo na insolação total é a nebulosidade, a qual interfere na diminuição de horas de brilho solar devido ao aumento de nuvens que por consequência bloqueia a chegada de raios solares na superfície e, portanto, diminui a taxa de insolação (Lopes; Silva, 2016).

Tabela 1. Resultados estatísticos de Mann-Kendall e estimador Sen's Slope.

Parâmetro	Estatística	Z	P-valor	Desvio padrão	Curvatura de Sen
Evaporação do Piche		-4,07	$<0,05$	35,6	-0,036
Insolação total		-4,84	$<0,05$	51,2	-0,076
Umidade relativa		-1,32	0,18	4,25	-0,001
Velocidade do vento		-15,47	$<0,05$	0,36	-0,001
Temperatura máxima		8,14	$<0,05$	1,34	0,003
Temperatura mínima		15,01	$<0,05$	1,24	0,004
Precipitação total		1,57	0,11	129,9	0,049
Pressão atmosférica		2,23	$<0,05$	0,96	0,0006

Fonte: Autores (2023).

Na Tabela 1 expõe-se os valores dos testes estatísticos na série de umidade relativa (UR), apresentando um valor Z do teste de MK de -1,32 e p-valor de 0,18, portanto, uma tendência de decréscimo, porém sem significância. A curvatura de Sen mostrou uma taxa de $-0,001\%$ /ano e um desvio padrão de 4,2%. Apesar de não haver significância estatística na tendência da UR, é válido mencionar que já foi encontrado tendência de diminuição na umidade na região Centro-Oeste do Brasil, especificamente em Goiânia (GO), investigado por Luiz (2012). Em seu estudo, a autora observou na série temporal de 1961 a 2008 que a umidade relativa diminuiu 6,8%. As taxas de declínio na umidade relativa do ar podem ser relacionadas a temperatura do ar, caso haja aumento de temperatura, o déficit de pressão de vapor aumenta, ocasionando a diminuição da umidade relativa (Alencar et al., 2014).

Os testes estatísticos do parâmetro velocidade do vento (Tabela 1), mostraram o valor Z de MK de -15,47 e p-valor $<0,05$, desse modo, tendência negativa com significância estatística. O desvio padrão na série é de 0,36 m/s, já a curvatura de Sen apresenta uma magnitude de $-0,001$ m/s/ano. A diminuição observada na variável de velocidade do vento pode ser associada a urbanização e alteração na vegetação em torno da estação meteorológica, hipótese levantada por Oliveira e Borrozzino (2018). As modificações na

vegetação da região da estação meteorológica ocasionam em mudanças na rugosidade da superfície que por consequência alteram a velocidade do vento (Oliveira; Borrozzino, 2018). Outro fator que possivelmente ocasionou altas tendências negativas são falhas no funcionamento das estações meteorológicas ou até negligência na observação (Bier; Ferraz, 2017), situação adversa na qual sugere-se uma investigação de campo para a averiguação da estação. Está hipótese é reforçada quando se compara com a variabilidade pluviométrica que, embora apresente tendência positivas em Belterra (mas não estatisticamente significativa), tal cenário é favorável para a intensificação da velocidade do vento ou no mínimo para a sua estabilização, pois segundo resultados de Germano et al. (2018) a precipitação aumenta a magnitude da velocidade do vento na Amazônia Oriental.

Os valores estatísticos do teste de MK e Sen, expostos também na Tabela 1, apresenta também os resultados encontrados nas séries temporais de temperatura máxima e temperatura mínima, na qual sugerem uma tendência positiva na temperatura máxima com valor Z de 8,14 e p-valor $<0,05$, sendo assim, tendência de aumento da variável com significância estatística. Apresenta ainda um desvio padrão de 1,3 °C e de acordo com a estimativa de Sen's Slope uma magnitude de $0,003^{\circ}\text{C}/\text{ano}$. Martorano et al. (2021) também

observaram tendências de elevação da temperatura do ar em Belterra ao longo das décadas. Outros trabalhos como o de Gomes et al. (2015) buscaram analisar tendências climáticas na região do oeste do Pará em diferentes estações do ano, onde encontraram tendências positivas para a temperatura máxima nas cidades de Belterra, Monte Alegre, Óbitos e Porto de Moz na maioria das estações, enfatizando que a cidade de Belterra apontou tendência de aumento do parâmetro de temperatura em todas as estações do ano durante o período de 1980 a 2013, corroborando com os resultados do presente trabalho. Os trabalhos de Victoria et al. (1998) e Marengo (2003) também encontraram tendências de aquecimento na região amazônica. Segundo Marengo (2006), fatores naturais e antropogênicos podem influenciar esse aquecimento observado em regiões amazônicas, como os aquecimentos do Atlântico Sul que são observados desde o ano de 1950, ou as queimadas, desmatamento e urbanização crescente das cidades. Em relação a série de temperatura mínima os resultados estatísticos mostraram o valor Z do teste MK de 15,01, valor S também positivo e seu p-valor abaixo do nível de significância, 0,05 (Tabela 1). Desse modo a série temporal apresenta tendência de aumento com significância estatística, bem como o seu desvio padrão é de 1,24°C e a magnitude da tendência de acordo com a curvatura de Sen é de 0,004°C/ano. Segundo os autores Ribeiro et al. (2014), em Tucuruí-PA foi encontrado tendência de acréscimo na temperatura mínima ao longo do período de 1972 a 2012, em que é observado um aumento de 2,85°C na série temporal. Logo, os resultados de tendência são semelhantes ao do presente estudo. No trabalho citado anteriormente, os autores apontam que esse aumento observado na temperatura pode ser decorrente dos gases de efeito estufa, relacionado as mudanças climáticas, assim como oscilações decenais e fatores locais como o largo da Usina Hidrelétrica da região. As alterações observadas nas séries de temperatura máxima e mínima no presente estudo podem ser relacionadas a modificação de uso e da cobertura do solo, que por sua vez é responsável pela alteração do microclima local, além de fatores como mudanças no clima acentuarem essas alterações (Silva et al., 2017). De acordo com Nobre (2001) o aumento da temperatura em superfície acompanha as tendências de aumento global da temperatura do ar projetado pelo IPCC, a causa principal é o desmatamento acentuado na região Amazônica. Como anteriormente mencionado a cidade de Belterra passou por processos de expansão, além das queimadas e incêndios florestais registradas no município (Gomes et al., 2019).

Partindo para análise de tendência da precipitação, a Tabela 1 expõe os resultados estatísticos do teste de MK na série temporal de chuva, revelando o valor Z de 1,57, mostrando-se positivo e indicando tendência de aumento da variável, e um p-valor de 0,11, entretanto sem significância estatística. Desse modo, através do teste de MK não se pode apontar que há tendência na variável de precipitação pluvial. O teste do estimador de *Sen's Slope* sugere uma taxa de crescimento de 0,049 mm/ano, entretanto não podendo afirmar devido à falta de significância estatística. Ribeiro et al. (2014) analisaram tendências climáticas na precipitação da cidade de Tucuruí (1972-2012), também no Pará, onde os resultados foram similares com o do presente estudo, ou seja, o teste de MK apresentou tendência de aumento da variável, porém sem significância. De acordo com o AR6 (sexto relatório) do IPCC, devido as mudanças climáticas grande parte da população está vivenciando alterações nas médias de chuvas.

Por fim, o uso do teste de MK na variável de pressão atmosférica resultou em um valor Z de 2,23 com um p-valor <0,05, logo, a variável meteorológica apresenta tendência de aumento, com significância estatística. O desvio padrão é de 0,96 hPa e a curvatura de Sen apresentou magnitude de 0,0006 hPa/ano. Na pesquisa de Da Franca (2009), o autor analisa a variabilidade interanual da pressão atmosférica em Belo Horizonte-MG, na qual resultou em uma tendência de aumento do parâmetro durante o período de 1986-2005. Como o autor utilizou um teste de regressão linear, não é descrito a significância do teste estatístico. Todavia, é pertinente observar que tendências de aumento da pressão atmosférica já foram encontradas em outras regiões brasileira. Vários fatores podem ser associados ao aumento da pressão atmosférica na região de Belterra-PA, entre eles as mudanças climáticas é um dos fatores de grande impacto, considerando que o aumento da temperatura do ar pode ocasionar alterações na distribuição de massas de ar afetando desse modo a pressão atmosférica das diversas regiões do planeta. O aumento dos gases do efeito estufa (GEE's) modifica consideravelmente a composição da atmosfera o que pode alterar os padrões do comportamento da pressão atmosférica (Alencar, 2021).

Sucintamente, as variáveis evaporação, insolação, velocidade do vento, pressão atmosférica, temperatura máxima e mínima apresentaram tendências climáticas por meio do teste estatístico de MK em Belterra (PA) e para fins de observar mais a fundo essas tendências

encontradas, outra ferramenta estatística foi usada, apresentada a seguir.

Portanto, utilizou-se índices de anomalias, visando avaliar desvios significativos dos parâmetros meteorológicos em relação à média histórica, na qual possibilita destacar valores extremos ou padrões incomuns. Os índices de anomalia foram realizados anualmente, na qual mostra as anomalias que não podem ser observadas fazendo uso somente do teste de MK e *Sen's Slope*.

Anomalias das variáveis atmosféricas

São observadas na Figura 6 as médias anuais das anomalias das variáveis em relação à média climatológica. Destaca-se a atuação de eventos de ENOS entre os anos de 1980 e 2022, no qual foram observados 10 episódios de El Niño (1982-1983, 1986-1987, 1987-1988, 1991-1992, 1992-1993, 1997-1998, 2002-2003, 2006-2007, 2009-2010 e 2015-2016) e 7 eventos de La Niña (1988-1989, 1998-1999, 1999-2000, 2007-2008, 2010-2011, 2017-2018 e 2021-2023) na qual esse fenômeno altera os padrões climáticos significativamente, nas diferentes regiões brasileiras, onde Belterra (PA) sendo bioma Amazônico apresenta alterações principalmente nos acumulados pluviométricos e temperatura do ar (Fisch et al., 1998; Sousa et al., 2015). Alguns autores também detectaram e estudaram os eventos ENOS nesse mesmo período, com exceção dos mais recentes ocorridos entre 2021 e 2023 (Lucena; Jorge, 2018; Gomes et al., 2022a; Gomes et al., 2022b).

A seguir é mencionado a presença do fenômeno nos índices de anomalia. Na Figura 6a, observa-se o Índice de Anomalia (IA) da evaporação (piche), em que o parâmetro apresentou anomalias anuais de 1980 a 1998 predominantemente positivas, seguindo uma predominância negativa de 1999 a 2014, passando a oscilar entre pequenas sequências anuais (de 4 a 5 anos) de anomalias positivas e negativas, destaca-se os anos de 2015-2016 na qual a região amazônica passou por uma grande seca devido a influência do El Niño, as anomalias de evaporação foram positivas, enquanto que conforme avança até 2022 a anomalia fica negativa, justamente quando configurava-se La Niña. A Figura 6b mostra o índice de anomalia da insolação total, em que as anomalias positivas se sobressaem em relação a quantidade de anos, porém os valores do IA são maiores nas anomalias negativas, como observado entre 2018 e 2022, destacando o último ano com maior valor entre os índices, com aproximadamente -0,4. Essa diminuição da insolação pode ser associada ao La Niña que estava

presente nesse ano (2022), no qual afeta a nebulosidade na região e restringe a chegada da energia solar a superfície.

A umidade relativa, observada na Figura 6c, apresenta predominância positiva de 1980 a 1992, posteriormente apresenta uma tendência anômala negativa até o ano de 2018, no qual inverte o sinal, apresentando anomalias positivas até 2022. As anomalias encontradas na umidade relativa, tem bastante alternância entre positivo e negativo o que pode ser associado a falta de tendência significativa na série temporal (Tabela 1). A velocidade do vento (Figura 6d) apresentou anomalias anuais positivas até o ano de 1996, a partir desses anos as médias anuais apresentaram valores predominantemente negativos. Na série de dados da velocidade média do vento, a mudança é perceptível tanto no gráfico temporal (Figura 3, gráfico inferior) quanto no resultado de MK e no índice de anomalia, promovendo uma mudança acentuada variando de -0,1 a -0,3, em que tal variação pode estar relacionada com a mudança na área de vegetação da estação meteorológica. O índice de anomalia segue a tendência negativa encontrada anteriormente (Tabela 1). A Temperatura máxima (Figura 6e) e mínima (Figura 6f) apresentaram anomalias anuais predominantemente negativas de 1980 a 1996, a partir desse ano houve uma tendência anual positiva até 2022. As anomalias positivas nas temperaturas máxima e mínima acompanham a tendência de aumento encontrados no teste de MK (Tabela 1), mostrando como a região de Belterra tem apresentado temperaturas mais altas conforme avançam-se os anos. Como mencionado anteriormente, o ENOS é um grande fator responsável pela alteração no padrão de precipitação e temperatura em regiões amazônicas como Belterra – PA. Observa-se na Figura 6g, que nos anos sob influência do El Niño a precipitação apresentou anomalias negativas, enquanto o fenômeno oposto, observa-se anomalias positivas. Como observado na Figura 5a, esta variável não apresenta tendência expressiva. As anomalias são bem alternadas na qual pode justificar a falta de tendência climática pelo teste de MK (Tabela 1), destaca-se ainda em 1985 uma anomalia positiva de 0,6, valor sobressalente nos anos de análise (1980-2022). Na Figura 6h mostra o índice de anomalia da pressão atmosférica na qual tem-se destaque nos períodos de anomalia negativa entre 1983 a 1988 e 2004 a 2014, enquanto os períodos de anomalia positiva estão entre 1989 a 1996 e 2015 a 2022. As anomalias intercalam entre positivo e negativo, onde nos 7 últimos anos manteve-se positiva apesar de 2015-2016 ter presença de El Niño enquanto 2019-2022 a

presença de La Niña, aponta-se a possibilidade de o padrão do comportamento da pressão atmosférica não ser tão afetado pelo ENOS. Tem-se a hipótese que a constância dos últimos anos da anomalia

positiva em conjunto com os valores maiores de índice positivo possa responder a tendência de aumento encontrado através do teste de MK (Tabela 1).

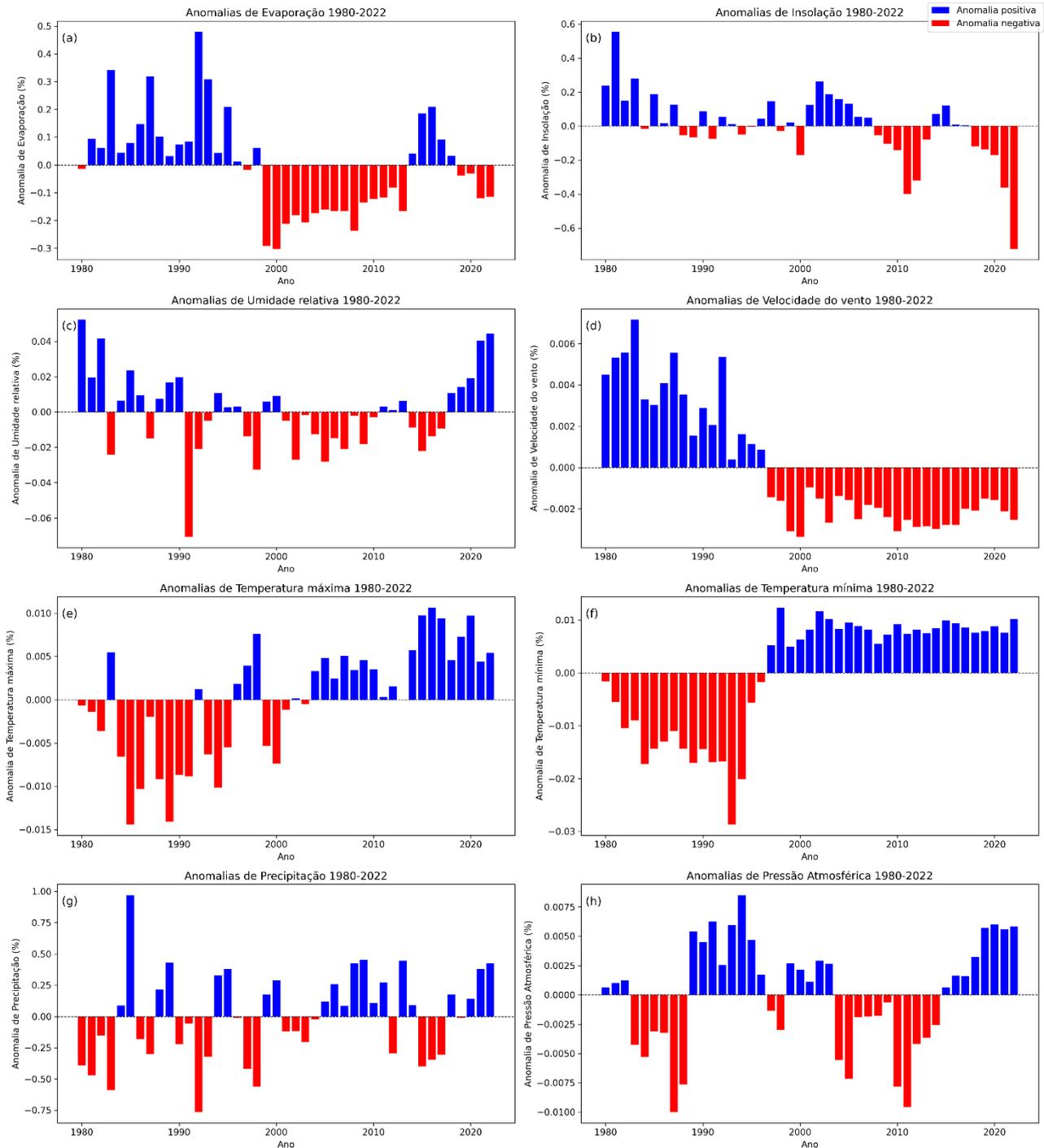


Figura 6. Índice de Anomalia anual das variáveis meteorológicas (1980-2022). Fonte: Autores (2023).

Considerando que os mapas das mudanças no uso e cobertura do solo são úteis para identificar alterações no âmbito físico como desmatamento, agricultura, urbanização e outras atividades antropogênicas que influenciem os padrões das variáveis meteorológicas (Oliveira et al., 2021), foi realizado a análise de como o município de Belterra mudou desde 1985 (ano de disponibilidade) a 2021. Desse modo, pode-se apontar como as alterações no solo influenciam as tendências climáticas encontradas.

Mudanças de uso e cobertura do solo

As alterações antrópicas no município de estudo contribuem com mudanças nas tendências

climáticas. A Figura 7 destaca as mudanças do uso e cobertura do solo no município de Belterra com as seguintes classes: Agricultura, Área Alagada, Área Urbana, Campo, Floresta, Massa d'água, Pasto e Vegetação Ripária. No ano de 1985, destaca-se a observação de maior conservação ambiental com o domínio da Floresta (3.633,7 km²), enquanto as áreas antrópicas destinadas ao Pasto (150,0 km²) são detectadas com maior concentração á Leste de Belterra. Oliveira et al. (2019) também observaram a maior concentração de zonas agropastoris a nordeste de Belterra. As Áreas Urbanas (0,2 km²) foram formações antrópicas com extensões territoriais pequenas.

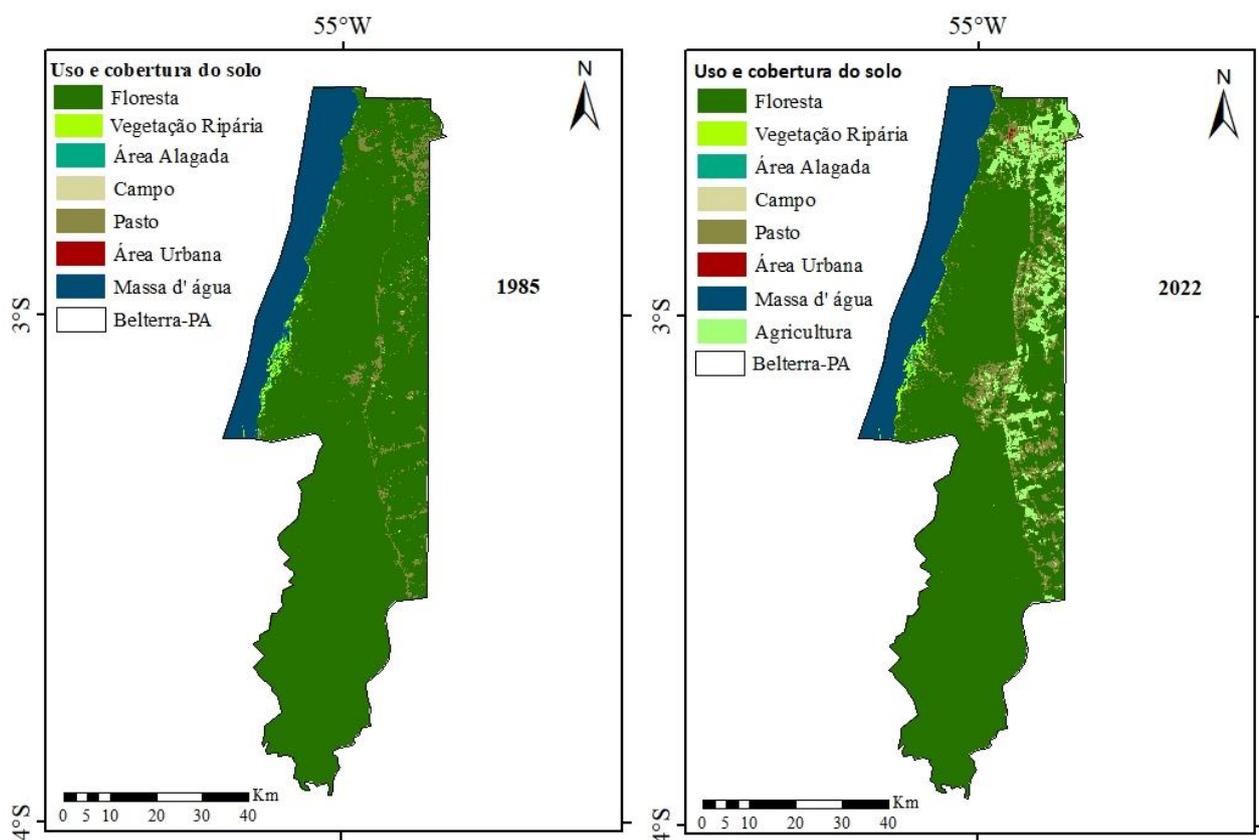


Figura 7. Mapa do uso e cobertura do solo nos anos de 1985 e 2022 do município de Belterra-PA. Fonte: Autores (2023).

Embora em 2022 houvesse o predomínio da cobertura vegetal, este ano estabelece a contínua supressão florestal (3.165,0 km²). Este desmatamento e transformação do bioma amazônico em outra paisagem contribuí para o aumento da temperatura do ar (Oliveira et al., 2021). Tais alterações estão relacionadas ao avanço de zonas agropastoris no setor nordeste, em que as classes agricultura (286,1 km²) e pasto (334,0 km²) cresceram em direção ao sul de Belterra, bem como a expansão da cidade para 2,2 km². Ribeiro et al.

(2023) também detectou aumento da temperatura do ar em Belterra provocada pelo desmatamento.

Essas modificações oriundas de ações antrópicas provocam sérios efeitos nas componentes climáticas em Belterra, como alteração nos padrões da precipitação e balanço hídrico (Heerspink et al., 2020), mudanças na umidade relativa do ar e da direção e intensidade do vento (Sales et al., 2020) e especialmente no aumento da temperatura do ar (Oliveira et al., 2021). Assim como detectado em Belterra, os

autores Llopart et al. (2018) também observaram tendências de aumento da temperatura do ar, o que conseqüentemente favorece o predomínio de baixas pressões. As modificações no uso e cobertura do solo próximas a regiões habitadas do município de Belterra, como o desmatamento e implantação de monoculturas elevam as médias de temperatura do ar, pois a utilização de materiais como asfalto, construção de habitações e ampliação de campos são fatores determinantes nessas tendências, como visto na Figura 7.

Assim como na atual pesquisa, os autores Llopart et al. (2018) detectaram anomalias positivas de ventos e atribuíram tais variações nos padrões da circulação do ar em baixos níveis as mudanças do uso e cobertura do solo. Os mesmos autores declararam que a conversão das terras de floresta para grama diminui a rugosidade superficial e intensifica os ventos. Oliveira et al. (2023) mostraram que a arborização promove maior conforto térmico em uma na Amazônia. Portanto, constata-se que a supressão florestal de modo descontrolado pode agravar ainda mais os efeitos locais das mudanças climáticas e do aquecimento global.

Conclusão

Através da técnica estatística de MK e Curvatura de Sen, observou-se que o município de Belterra-PA apresenta tendência climática em algumas das variáveis meteorológicas analisadas durante o período de 1980 a 2022.

Os parâmetros evaporação do piche, insolação total e velocidade do vento apresentaram tendência de decréscimo com significância estatística. Em contrapartida, os parâmetros pressão atmosférica, temperatura máxima e temperatura mínima apresentam tendência de acréscimo com valores significativos. Duas variáveis apresentaram tendência, porém sem significância, sendo elas precipitação pluvial e umidade relativa.

Destaca-se que a urbanização, avanço da fronteira agropastoril, queimadas, além das mudanças climáticas os principais fatores responsáveis pelas alterações observadas nas variáveis atmosféricas.

Sugere-se, portanto, uma análise mais robusta e concentrada nas variáveis de temperatura mínima e velocidade do vento, devido as mudanças acentuadas observadas na série temporal de 42 anos.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da UFSM e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Referências

- Alencar, L. P., Sedyama, G. C., Mantovani, E. C., Martinez, M. A., (2011). Tendências recentes nos elementos do clima e suas implicações na evapotranspiração da cultura do milho em Viçosa-MG. *Revista Engenharia Agrícola*, 31 (4), 631-642. <https://doi.org/10.1590/s01006916201100040002>.
- Alencar, L. P., Mantovani, E. C., Bufon, V. B., Sedyama, G. C., Silva, T. G. F., (2014). Variação temporal dos elementos climáticos e da ETo em Catalão, Goiás, no período de 1961-2011. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18 (8), 826-832.
- Alencar, B. B., (2021). Mudanças climáticas globais: a concepção de um grupo de professores de Ciências Naturais do ensino básico de escolas públicas do Distrito Federal. 2021. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Naturais). Universidade de Brasília, Planaltina-DF.
- Almagro, A., Oliveira, P. T. S., Nearing, M. A., Hagemann, S., (2017). Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil. *Nature-Scientific Reports*, 7 (8130). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08298-y>.
- Alves, D. R., Freitas, B. S., Reis, M. A. G., Gomes, A. C. S., Alves, D. M. R., (2023). Análise de dados meteorológicos e de internações por pneumonia no município de Santarém-PA. *Revista Brasileira de Climatologia*, 32 (19), 226-249. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16404>
- Arvor, D., Tritsch, I., Barcellos, C., Jégou, N., Dubreuil, V., (2017). Land use sustainability on the South-Eastern Amazon agricultural frontier: Recent progress and the challenges ahead. *Applied Geography*, 80, 86-97. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.02.003>.
- Assis, J. M. O., Souza, W. M. S., Koch, H., Sobral, M. C. M., (2018). Influência dos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais sobre os índices climáticos da precipitação na bacia do submédio São Francisco. *Revista Brasileira de Climatologia*, 23, 411-433. <https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.60005>.
- Berlato, A. M., Cordeiro A. P., (2017). Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências

- observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. *Agrometeoros*, 25 (2), 273-302. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25884>.
- Bier, A. A.; Ferraz, S. E. T., (2017). Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em dados meteorológicos para estações no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32 (2), 215-226.
- Brito, A. P., Silva, N. C., Tomasella, J., Ferreira, S. J. F., Monteiro, M. T. F., (2022). Análise do Índice de Anomalia de Chuva e tendência de precipitação para estações pluviométricas na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37 (1), 19-30. <https://doi.org/10.1590/0102-778637014521>.
- Costa, D. M. C, Pauletto, D., (2021). Importância dos sistemas agroflorestais na composição de renda de agricultores familiares: estudo de caso no município de Belterra, Pará. *Nativa*, 9 (1), 92-99, 2021. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.9528>.
- Casagrande, A., Silva J. P., Mendonça, F., (2011). Mudanças climáticas e aquecimento global: Controvérsias, Incertezas e a Divulgação Científica. *Revista Brasileira de Climatologia*, 8, 30-44.
- Coelho, A., Aguiar, A., Toledo, P., Araújo, R., Canto, O., Folhes, R., Adami, M., (2021). Rural landscapes and agrarian spaces under soybean expansion dynamics: a case study of the Santarém region, Brazilian Amazonia. *Regional Environmental Change*, 21 (4), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01821-y>.
- D'Acunha, B., Dalmagro, H. J., Arrudam P. H. Z., Biudes, M. S., Lathuillère, M. J., Uribe, M., Couto, E. G., Brando, P. M., Vourlitis, G., Johnson, M. S., 2024. Changes in evapotranspiration, transpiration and evaporation across natural and managed landscapes in the Amazon, Cerrado and Pantanal biomes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 346, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109875>.
- De Sales, F., Santiago, T., Biggs, T. W., Mullan, K., Sills, E., Monteverde, C., (2020). Impacts of protected area deforestation on dry-season regional climate in the Brazilian Amazon. *JGR Atmospheres*, 125 (16), 1-17. <https://doi.org/10.1029/2020jd033048>.
- Duffy, P. B., Brando, P., Asner, G. P., Field, C. B., (2015). Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. *Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences*, 112 (43), 13172-13177. <https://doi.org/10.1073/pnas.1421010112>.
- Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA). Brasil em Relevo. Disponível: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevob/download/pa/pa.htm>. Acesso: 11/10/2023.
- Ferreira, N. S., Lima, A. M. M., Gomes, D. J. C., (2023). Vulnerabilidade das áreas úmidas e influência sazonal da precipitação pluviométrica na Amazônia Oriental. *Geofronter*, 9, 1-23. <https://doi.org/10.61389/geofronter.v9i1.7366>.
- Fisch, G., Marengo, J. A., Nobre, C. A., (1998). Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, 28, 101-101. <https://doi.org/10.1590/180943921998282126>.
- Fritzsos, E., Garrastazú, M. C., Wrege, M. S., Mantovani, L. E., (2023). O efeito do uso e ocupação da terra sobre o clima: comparação entre duas estações meteorológicas. *Revista Brasileira de Climatologia*, 32 (19), 566-583. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16638>.
- Franca, R. R., (2009). Anticiclones e umidade relativa do ar: um estudo sobre o clima de Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte-MG, 2009. Disponível: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-7VQH45>. Acesso: 09/05/23.
- Funatsu, B. M., Dubreuil, V., Racapé, A., Debortoli, N. S., Nasuti, S., Tourneau, F., (2019). Perceptions of climate and climate change by Amazonian communities. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 57, 1-44. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.05.007>.
- Germano, M. F., Vitorino, M. I., Costa, G. B., Souza, A. M. L., Souto, J. I. O., (2016). Variabilidade atmosférica da precipitação associada com as circulações de brisas marítimas e terrestres no nordeste do estado do Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 11 (3), 303-312. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v11i3.414>.
- Gocic, M., Trajkovic, S., (2013). Statistical methods for environmental pollution monitoring. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100 (1), 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>.
- Gomes, A. C. S., Costa, M. S., Coutinho, M. D. L., Valle, R. S., Silva, J. T., Fitzjarrald, D. R., (2015). Análise estatística das tendências de elevação nas séries de temperatura média

- máxima na Amazônia central: estudo de caso para a região do oeste do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia*, 17. <https://doi.org/10.5380/abclima.v17i0.42898>.
- Gomes, D. J. C., Nascimento, M. M. M., Pereira, F. M., Dias, G. F. M., Meireles, R. R., Souza, L. G. N., Picango, A. R. S., Ribeiro, H. M. C., (2022a). Flow variability in the Araguaia River Hydrographic Basin influenced by precipitation in extreme years and deforestation. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 57 (3), 451-466. <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781358>.
- Gomes, D. J. C.; Beltrão, N. E. S.; Pereira, F. M.; Reis, A. C. M.; Pinheiro, A. M. P.; Silva, D. F., (2022b). Estimativa de precipitação dos dados CHIRPS e GPCC em anos extremos climáticos, bacia hidrográfica do rio Guamá-PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15 (3), 1583-1598. <https://doi.org/10.26848/rbfg.v15.3.p15831598>.
- Gomes, D. J. C., Pereira, F. M., Silva, D. F., Dias, G. F. M., 2022. Padrões hidroclimatológicos associados à dinâmica do uso da terra, município de Rio Branco-AC. *Geoambiente On-line*, 43, 76-96.
- Gomes, E. S. C., Oliveira, T. G. S., Tavares, R. E. O., Santos, S. F., Reis, V. S., Pauletto, D., (2019). Percepção socioambiental sobre queimadas em zonas de expansão urbana em três cidades do Oeste do Pará. *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*, 1, 313-313. <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v9i1.1337>.
- Heerspink, B. P., Kendall, A., Coe, M., Hyndman, D., (2020). Trends in streamflow, evapotranspiration, and groundwater storage across the Amazon basin linked to changing precipitation and land cover. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100755>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp. <https://doi:10.1017/9781009325844>.
- Jorge, R. L. O., Lucena, D. B., (2018). Eventos extremos anuais de precipitação em Mauriti-CE. *Ciência & Natura*, 40, 1-10. <https://doi.org/10.5902/2179460X34045>.
- Llopart, M.; Reboita, M. S.; Coppola, E.; Giorgi, F.; Da Rocha, R. P.; De Souza, D. O. Land use change cover the Amazon Forest and its impacts on the local climate. *Water*, 10 (2), 1-12, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10020149>.
- Lopes, J. R. F., Silva, D. F., (2016). Tendências e distribuição espacial de variáveis climáticas no estado do Ceará. *Ambiência*, 12 (1), 127-145.
- Luiz, G. C., (2012). Influência da relação solo-atmosfera no comportamento hidromecânico de solos tropicais não saturados: estudo de caso—Município de Goiânia-GO. Tese de Doutorado em Geotecnia, Universidade de Brasília (UNB), Brasília-DF, 2012. Disponível: <http://www.realp.unb.br/jspui/handle/10482/14303?locale=fr>. Acesso: 06/06/23.
- Marengo, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. *Biodiversidade*, 26, 2ª ed., 2007. <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/986>.
- Marengo, J. A., Soares, W. R., (2003). Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futuros cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC 2001. *Clima e recursos hídricos no Brasil*. Porto Alegre: ABRH, 209-242.
- Martorano, L. G., Soares, W. B., Moraes, J. R. S. C., Nascimento, W., Aparecido, L. E. O., Villa, P. M., (2021). Climatology of air temperature in Belterra: thermal regulation ecosystem services provided by the Tapajós National Forest in the Amazon. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36 (2), 327-337. <https://doi.org/10.1590/0102-77863620015>.
- Mendes, A. V. P., Silva, G. V., Gomes, A. C. S., Batalha, S. S. A., Costa, G. B., Silva, A. W. D., Cruz, R. F., (2023). Percepção das condições climáticas e o turismo em Alter do Chão, Santarém (PA). *Revista Brasileira de Climatologia*, 33, 534-557. <https://doi.org/10.55761/abclima.v33i19.16874>
- Mendonça, F., (2005). Clima, tropicalidade e saúde: uma perspectiva a partir da intensificação do aquecimento global. *Revista Brasileira de Climatologia*, 1 (1), 100-112. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25231>.
- Nobre, A., (2001). "Amazônia: Fonte ou Sumidouro de Carbono?". *Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia* (Brasília: Ministério do Meio Ambiente), 436 p
- Olafsdottir, H. K., Rootzén, H., Bolin, D., (2021). Extreme rainfall events in the Northeastern United States become more frequent with rising temperatures, but their intensity distribution remains stable. *Journal of Climate*, 34 (22), 8863-8877. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-20-0938.1>.
- Oliveira, H. M., Alves, P. V., Pegani, C. H., Querino, C. A., (2023). Avaliação dos efeitos da arborização nas variáveis de temperatura e

- umidade relativa do ar na cidade de Manicoré, Amazonas, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 32 (19), 292-310. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16453>
- Oliveira Junior, R. C., Keller, M., Crill, P. M., Beldin, T. P., Camargo, P. B., (2010). Comportamento anual da água no solo sob floresta natural e plantio de grãos em latossolo amarelo na região de Belterra-PA. *Espaço Científico*, 11 (1/2), 80-94.
- Oliveira, B. F. A., Bottino, M., Nobre, P., Nobre, C., (2021). Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. *Communications Earth & Environment*, 2 (207), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00275-8>.
- Oliveira, M. R. S., Gomes, D. J. C., Santos, L. C. T., Ribeiro, P. S., Moraes, B. C. Variabilidade climática associada com a dinâmica do uso e ocupação da terra: município de Belterra-PA. In: VIII Simpósio Internacional de Climatologia: Políticas Ambientais e Desenvolvimento, Belém-PA, 2019. Disponível: https://www.academia.edu/44854895/anais_do_viii_simp%C3%93sio_internacional_de_climatologia.
- Projeto MapBiomias. 2023 – Coleção 8 da série anual de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil. Disponível: <https://mapbiomas.org/>. Acesso: 08/08/2023.
- Queiroz, A. T., Costa, R. A., (2012). Caracterização e variabilidade climática em séries de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação em Ituiutaba –MG. *Caminhos de Geografia*, 13 (43), 346-357. <https://doi.org/10.14393/RCG134319555>.
- Reis, G., Souza, S., Neto, H., Branches, R., Silva, R., Peres, L., Pinheiro, D., Lamy, K., Bencherif, H., Portafaix, T., (2022). Solar ultravioleta radiation temporal variability analysis from 2-year of continuous observation in an Amazonian city of Brazil. *Atmosphere*, 13 (7), 1-13. <https://doi.org/10.3390/atmos13071054>.
- Reis, J. S., Bose, N. A., Amorim, A. C. B., Almeida, V. D., Bezerra, L. A. C., Oliveira, L. L., Emiliavaca, S. A., Matos, M. F. A., Pereira, N. E. T., Lima, R. R. M., (2023). Wind and solar energy Generation potential features in the extreme Northern Amazon using reanalysis data. *Energies*, 16 (22), 1-27. <https://doi.org/10.3390/en16227671>.
- Ribeiro, P. S., Gomes, D. J. C., Souza, E. B., Nascimento, M. M. M., Nascimento, J. C. S., Oliveira, M. R. S., Rocha, M. C., (2023). Influência do desmatamento na temperatura do ar, Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16 (1), 165-176. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p165-176>.
- Ribeiro, R. E. P., Ávila, P. L. R., Brito, J. I. B., Santos, E. G., Sousa, L. F., (2014). Análise da tendência climática nas séries temporais de temperatura e precipitação de Tucuruí-Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7 (5), 798-807. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.5.p798-807>.
- Santos, T. O., Andrade Filho, V. S., França, R. S., (2023). Variabilidade e tendência climática nos municípios de Manaus (AM) e São Gabriel da Cachoeira (AM): uma avaliação a partir dos dados de precipitação e temperatura. *Revista Geonorte*. 14 (43), 149-171. <https://doi.org/10.21170/geonorte.2023.V.14.N.43.149.171>.
- Sen, P. K., (1968) Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>.
- Silva, R. A., Da Silva, V. D. P., Cavalcanti, E. P., Santos, D. N. D., (2010). Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14, 501-509. <https://doi.org/10.1590/s14154366201000050007>.
- Silva, R. B., Vitorino, M. I., Sousa, A. M. L., Santos J. T., Ferreira, G. R., Gonçalves, F. L. T., Santos, M. R. S., (2020). Influência da variabilidade climática na densidade de mosquitos vetores no leste da Amazônia. *Revista Brasileira de Climatologia*, 26. <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.71732>.
- Siqueira Júnior, J. L., Tomasella, J., Rodriguez, D. A., (2015). Impacts of future climatic and land cover changes on the hydrological regime of the Madeira River basin. *Climatic Change*, 129 (1), 117-129. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1338-x>.
- Souza Junior, C. M., Shimbo, J. Z., Rosa, M. R., Parente, L. L., Alencar, A. A., Rudorff, B. F., Hasenack, H., Matsumoto, M. H., Ferreira, L. G., Filho, P. W., Oliveira, S. W., Franca-Rocha, W., Fonseca, A. V., Marques, C. B., Diniz, C. G., Costa, D. P., Monteiro, D., Rosa, E. R., Vélez-Martin, E., Weber, E. J., Lenti, F. E., Paternost, F. F., Pareyn, F. G., Siqueira, J. V., Viera, J. L., Neto, L. C., Saraiva, M., Sales, M. H., Salgado, M. P., Vasconcelos, R. N., Galano, S., Mesquita, V. V., Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with landsat archive and Earth Engine. *Remote*

- Sensing, 12 (17), 1-27, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.
- Venturieri, A., Coelho, S. A., Thales, M. C., Bacelar, M. D., (2007). Análise da expansão da agricultura de grãos na região de Santarém e Belterra, Oeste do estado do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. Anais [...] São José dos Campos: INPE, 2007., 2007.
- Zhang, X., Yang, F. Climate Research Branch Environment Canada. RCLimDex. User Guide. Downsview. Ontario, 2004. 22p.
- Ribeiro, R. L. S. Ações devidas ao clima sobre os materiais de construção em regiões tropicais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-PE, 2013.
- Serrão, E. A. O., Lima, A. M. M., Sousa, F. A. S., Ferreira, T. R., Santos, C. A., Silva Junior, J. A., (2017). Distribuição espacial de intensidade pluviométrica na calha do Rio Solimões: estudos de caso a seca de 2010 na Amazônia. ACTA Geográfica, 11 (2), 1-16, 2017. <https://doi.org/10.18227/21774307.acta.v11i25.2904>.
- Silva, M. J. G., Querino, C. A. S., Santos Neto, L. A., Silva, D. C., Saraiva, F. A. M., (2017). Análise de tendência nas variáveis meteorológicas de Porto Velho - Rondônia. Journal of Environmental Analysis and Progress, 2 (4), 474-481. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1478.474-481>.