

Métodos estatísticos para detectar tendências em dados climáticos históricos: revisão bibliográfica

Louise Pereira da Silva¹
Paula Rose de Araújo Santos²
Giusep Magno da Silva Ribeiro³
Susane Eterna Leite Medeiros⁴
Wallysson Klebson de Medeiros Silva⁵
Raphael Abrahão⁶

RESUMO

Neste trabalho foi realizada uma revisão sistemática, utilizando-se palavras-chave, por meio dos bancos de dados de pesquisas científicas do *Science Direct* e do *Web of Science*, abordando-se os métodos estatísticos utilizados para avaliar tendências em dados climáticos históricos. Entre os artigos obtidos nesta seleção, no Brasil foi encontrado um estudo que analisou as tendências de parâmetros climáticos, avaliando o impacto no setor energético, em uma pequena central hidrelétrica e em uma usina solar. A regressão linear e o teste não paramétrico de Mann-Kendall associado ao declive de Sen foram os métodos estatísticos mais utilizados nas análises de tendências climáticas históricas. Comparados a outros, esses testes sofrem menos influência na presença de *outliers*. Os parâmetros climáticos mais estudados foram a precipitação e a temperatura do ar. Foi visto que poucos artigos abordaram as tendências climáticas em combinação com os impactos no setor energético, principalmente os que são baseados em recursos renováveis, que são os mais suscetíveis às alterações no clima, abrindo uma lacuna para mais estudos nessa linha.

Termos para indexação: dados históricos, mudanças climáticas, parâmetros climáticos.

Statistical methods to detect trends in historical climate data: bibliographic review

ABSTRACT

In this work, a systematic review was carried out, using keywords, through the scientific research databases of Science Direct and Web of Science, approaching the statistical methods used to assess trends in historical climate data. Among the articles obtained in this selection, a study was found in Brazil, which analyzed trends in climate parameters, evaluating the impact on the energy sector, in a small hydroelectric power plant and in a

Ideias centrais

- Os métodos estatísticos analisam o comportamento dos dados climáticos históricos e essas técnicas podem detectar possíveis tendências crescentes ou decrescentes.
- Os testes de tendências podem ser classificados em métodos paramétricos e não paramétricos.
- O método de regressão linear é bastante utilizado para visualizar o comportamento dos dados ao longo do tempo.
- No teste de Mann-Kendall e na declinação de Sen é possível quantificar a magnitude, a direção e a significância das tendências.

Recebido em
09/06/2021

Aprovado em
14/09/2021

Publicado em
13/05/2022



This article is published in Open Access under the Creative Commons Attribution licence, which allows use, distribution, and reproduction in any medium, without restrictions, as long as the original work is correctly cited.

¹ Engenheira de energias renováveis, doutoranda do curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica, João Pessoa, PB. E-mail: louise.silva@cear.ufpb.br

² Engenheira ambiental, doutoranda do curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica. João Pessoa, PB. E-mail: paulajp-rose@hotmail.com

³ Graduando pelo curso de Engenharia de Energias Renováveis, João Pessoa, PB. E-mail: giusep.ribeiro@cear.ufpb.br

⁴ Bacharel em Física Computacional, doutoranda do curso de pós-graduação em Física, João Pessoa, PB. E-mail: susane.eterna@cear.ufpb.br

⁵ Bacharel em Administração, doutorando do curso de pós-graduação em Administração, João Pessoa, PB. E-mail: wallyssonk@gmail.com

⁶ Engenheiro agrícola, doutor em Engenharia Química e Ambiental, professor do Departamento de Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB. E-mail: raphael@cear.ufpb.br

solar plant. Linear regression and the nonparametric Mann-Kendall test, associated with the Sen's slope, were the most used statistical methods in the analysis of historical climate trends. Compared to others, these tests are less influenced by the presence of outliers. The most studied climatic parameters were precipitation and air temperature. It was noticed that few articles addressed climate trends in combination with impacts on the energy sector, especially those based on renewable resources, which are the most susceptible to climate change, opening a gap for further studies along this line.

Index terms: historical data, climate change, climate parameters.

INTRODUÇÃO

A superfície terrestre interage continuamente com a atmosfera por meio de trocas de gases de efeito estufa, água, energia ou precursores de forças climáticas de vida curta (compostos orgânicos voláteis biogênicos, poeira, carbono negro) (Jia et al., 2019). Essas interações podem afetar o comportamento do ciclo hidrológico, dos parâmetros climáticos, influenciando o clima local, regional e global. As alterações nas médias climáticas observadas a longo prazo podem caracterizar mudanças climáticas. O termo mudança climática inclui todas as formas de inconstância climática, independentemente de sua natureza estatística ou de suas causas físicas (Mourato et al., 2010).

Desde o ano 1853 diversas pesquisas foram realizadas acerca da variabilidade do clima, mas apenas em 1988, por iniciativa da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), foi criado o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Lopes, 2008). O IPCC é o órgão das Nações Unidas destinado a avaliar a ciência relacionada às mudanças climáticas e seus impactos ambientais e socioeconômicos, juntamente com estratégias de respostas a essas mudanças climáticas.

Existem diversos métodos para a detecção e entendimento das mudanças climáticas. Por meio da aplicação de métodos estatísticos é possível analisar o comportamento dos dados climáticos históricos, e essas técnicas podem detectar possíveis tendências crescentes ou decrescentes. Os testes de tendências podem ser classificados em métodos paramétricos e não paramétricos. Os testes de tendências paramétricos demandam que os dados sejam independentes e normalmente distribuídos, enquanto os testes de tendências não paramétricos exigem apenas que os dados sejam independentes (Gocic & Trajkovic, 2013; Jaiswal et al., 2015). Para a identificação de tendências climáticas, os testes comumente usados são Mann-Kendall (MK), declive de Sen e o teste de tendência de regressão linear (Güçlü, 2018).

A realização de uma revisão na literatura fornece as melhores evidências com base em trabalhos já publicados para informar políticas e práticas, sendo um dos principais objetivos da pesquisa para as respectivas comunidades acadêmicas e profissionais (Tranfield et al., 2003). Diante da necessidade do estudo periódico do clima para diversos fins, foi realizada uma revisão sistemática para dar suporte e trazer conhecimento acerca dos métodos estatísticos utilizados na detecção de tendências climáticas em dados históricos.

METODOLOGIA

Os autores Gough et al. (2012) definiram o conceito de revisão sistemática como sendo uma revisão da literatura de pesquisa usando métodos sistemáticos, explícitos e responsáveis. Tranfield et al. (2003) sugeriram três etapas para realizar uma revisão sistemática (Figura 1). Essas etapas vão direcionar e moldar uma revisão sistemática mais consistente.

Para uma revisão sistemática, os autores Gough et al. (2012) definiram etapas semelhantes. Os autores descreveram práticas como o uso de palavras-chave em bibliotecas digitais. As tecnologias de classificação de documentos podem atribuir palavras-chave preexistentes aos documentos. Nas revisões sistemáticas, essas tecnologias são usadas para determinar se um determinado estudo deve ser incluído ou excluído (Gough et al., 2012).

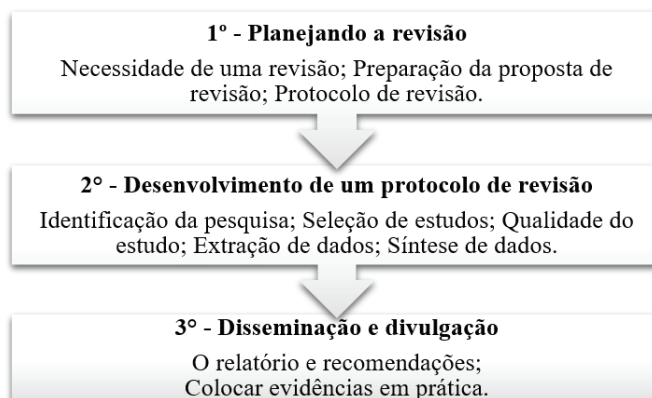


Figura 1. Etapas para realizar uma revisão sistemática.

Fonte: adaptado de Tranfield et al. (2003).

O *Google Scholar* é uma ferramenta amplamente utilizada na pesquisa acadêmica. Destaca-se por oferecer abrangência, todavia, muitas vezes não possui a capacidade de fornecer conteúdo detalhado. Os textos completos podem ser acessados nas respectivas bibliotecas digitais, como *Science Direct* ou *Web of Science* (Yang et al., 2018). As bibliotecas selecionadas nesta revisão foram o *Science Direct* (Elsevier, 2022), que faz parte da *Elsevier*, e o *Web of Science* (Clarivate Analytics, 2022), que faz parte da *Clarivate Analytics*. Essas bibliotecas possuem um grande banco de dados de pesquisas científicas, sendo uma fonte de pesquisa confiável.

Seguindo as metodologias de revisão sistemática, este trabalho seguiu a temática: métodos estatísticos para avaliar tendências de dados climáticos históricos. Com a utilização do *Science Direct* e do *Web of Science*, foram realizadas pesquisas com palavras-chave pertinentes à temática abordada.

Na pesquisa realizada no portal do *Science Direct* (Elsevier, 2022), em pesquisas avançadas, na seção “*Title, abstract, keywords*”, foi usada a seguinte sequência de palavras: “*climate trend*” e “*trend analysis*”. No *Science Direct* o resultado da pesquisa gerou 124 artigos. Foram selecionados artigos do tipo de revisão e pesquisa, sendo 6 artigos de revisão e 114 artigos de pesquisa, totalizando 120 artigos.

Na pesquisa realizada no portal do *Web of Science* (Clarivate Analytics, 2022), em pesquisa básica, com a sessão tópico ativada (pesquisa o título, o resumo, as palavras-chave do autor e o *Keywords Plus*), foram adicionadas as seguintes palavras-chave com o conectivo “AND”: “*climate trend*”, “*trend analysis*”, “*historical data*”, “*statistics*”. No *Web of Science*, o resultado da pesquisa gerou 71 artigos. Foi aplicado o filtro de artigos com acesso aberto, tendo resultado em 30 artigos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número total de publicações estudadas foi consideravelmente reduzido após uma extensa revisão, uma vez que muitos dos artigos selecionados pelas bases de dados estavam fora do contexto do presente trabalho. O número final de artigos utilizados nessa revisão sistemática do *Science Direct* foi de 24 artigos e, no *Web of Science*, 5 artigos. Não foram encontrados artigos em comum entre os dois bancos de dados.

Métodos estatísticos aplicados a tendências de dados climáticos históricos

Science Direct

Os métodos estatísticos utilizados nos artigos selecionados no *Science Direct* podem ser observados na Figura 2. É possível observar que o método de regressão linear foi bastante utilizado para visualizar o comportamento dos dados ao longo do tempo, em 48% dos artigos. Nem sempre, porém, foi utilizada a estatística para validar e quantificar o comportamento dos dados.

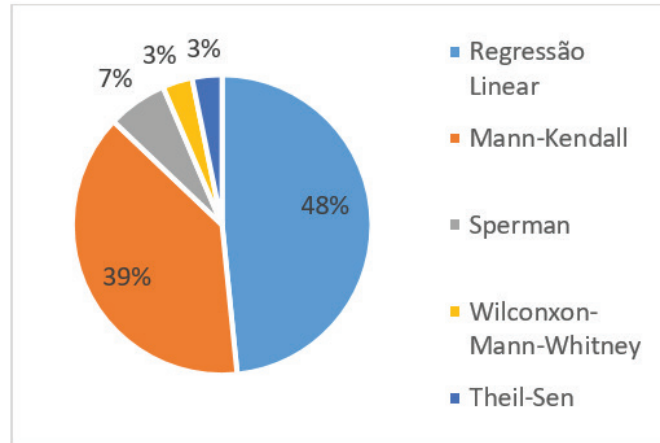


Figura 2. Métodos estatísticos utilizados nos artigos selecionados do *Science Direct*.

Em Xinjiang, China, os autores Jiapaer et al. (2015) utilizaram um método de regressão linear para analisar dados de precipitação e temperatura média do ar. Os coeficientes de inclinação de tendência foram calculados por meio da equação 1.

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n A_i B_i - \sum_{i=1}^n A_i \sum_{i=1}^n B_i}{n \sum_{i=1}^n A_i^2 - (\sum_{i=1}^n A_i)^2} \quad (1)$$

em que n será o número de anos no período de estudo, A_i o valor da variável independente, e B_i o valor da variável dependente no 1º ano. Então a variável terá uma tendência crescente se $R > 0$, e decrescente se $R < 0$.

Segundo os autores Cutforth & Judiesch (2007), em geral, para avaliar as tendências dos dados climáticos, o teste de Spearman (Eq. 2) e o Kendall's T produzem resultados semelhantes.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n [R_i - i]^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

em que R_i corresponde à posição da i -ésima observação na amostra de tamanho n , ρ pode assumir qualquer valor entre -1 e +1, valores positivos e negativos indicam tendências ascendentes e descendentes (Wang et al., 2015).

O teste de Wilcoxon-Mann-Whitney identifica diferenças significativas nas médias mensais (Eq. 3) (Feltovich, 2003). É um teste não paramétrico, não requer amostras normalmente distribuídas, e a tendência é validada a partir do valor p crítico inferior a 0,05 (López-Moreno et al., 2014).

$$Z = \frac{U(YX) - n/2}{\sqrt{n(m + n + 1)/12m}} \quad (3)$$

em que a posição do elemento x_i na amostra X é definida como o número de observações em Y na outra amostra, sendo denotada por $U(YX)$ a média aritmética, e m e n são o tamanho da amostra de X e Y , respectivamente.

O teste de Theil Sen é um método não paramétrico. Considerando um modelo de regressão linear múltipla, é possível calcular o teste de Theil Sen (Eq. 4) (Dang et al., 2008).

$$Y_i = \alpha + X_i^T \beta + \epsilon_i, i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

em que α é a interceptação, β é a inclinação, e ϵ_i são os erros aleatórios.

O teste de Mann-Kendall foi selecionado pelos autores Hartmann & Andresky (2013) por ser menos sensível em comparação aos métodos de detecção de tendência paramétrica, além de ser um procedimento baseado em classificação que testa a hipótese nula de “aleatoriedade” ou “nenhuma tendência”. Segundo os autores Tahir et al. (2015), o teste não paramétrico de Mann-Kendall é menos sensível aos valores extremos da amostra e não depende de suposições sobre a natureza das tendências lineares ou não lineares. Tahir et al. (2015) afirmaram também que a declinação de Sen é um método de regressão linear robusto. Nepal (2016) afirmou que o teste não paramétrico de Mann-Kendall e o método de Sen não assumem a distribuição de dados e são úteis para detectar tendências monotônicas. Fuentes et al. (2020) utilizaram o teste de Mann-Kendall e a declinação de Sen, pois é possível quantificar a magnitude, a direção e a significância das tendências.

Web of Science

Todos os artigos do *Web of Science* utilizaram o teste não paramétrico de Mann-Kendall. O teste estatístico de Mann-Kendall pode testar a significância da tendência de uma série temporal (Lin et al., 2020). Esse teste pode ser usado para detectar tendências que são monotônicas, mas não necessariamente lineares, e a hipótese nula no teste indica que os dados são independentes e ordenados aleatoriamente (McBean & Motiee, 2006). Os autores Arnone et al. (2013) afirmaram que o teste de Mann-Kendall identifica a presença de uma tendência sem fazer uma suposição sobre as propriedades de sua distribuição. Como resultado, é menos influenciado pela presença de *outliers* do que os testes paramétricos. A estatística do teste de Mann-Kendall pode ser expressa por meio da equação 5 (Fang et al., 2019).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (5)$$

$$\text{em que } \text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_i - x_j) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_i - x_j) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

em que

n é o número total de dados, e x_i e x_j são valores de séries temporais em instantes de tempo i e j . Os valores positivos e negativos de S representam tendências ascendentes ou descendentes na série temporal. Sob a hipótese nula de que todos os elementos X são classificados aleatoriamente e são independentes, S é uma variável aleatória normal com a média e a variância dadas pela equação 7 (Fang et al., 2019).

$$E(S) = 0, \quad (6)$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (7)$$

em que m é o número de repetições de uma extensão. A estatística de teste padronizada Z é definida na equação 8.

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

A significância da tendência é determinada pela comparação de Z com o valor crítico $|Z_{1 - \alpha / 2}|$ no nível de significância designado α . Se $|Z|$ for maior do que $|Z_{1 - \alpha / 2}|$, significa a rejeição da hipótese nula e a existência de tendência estatisticamente significativa (Fang et al., 2019); caso contrário, a tendência não será significativa. Quatro níveis de significância podem ser adotados para uma probabilidade de erro menor do que 0,1% ($p < 0,001$), menor que 1% ($p < 0,01$), inferior a 5% ($p < 0,05$), e erro inferior a 10% ($p < 0,10$) (Abraham et al., 2017).

Sen (1968) estimou a inclinação da tendência para um conjunto de dados por meio da equação 9 (Gocic & Trajkovic, 2013).

$$Q = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad \text{para } i = 1, \dots, N. \quad (9)$$

em que x_i e x_j são valores de séries temporais em instantes de tempo i e j . Se houver n valores na série, então:

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (10)$$

O estimador de declive de Sen é a mediana dos N valores de Q .

Países citados nas análises de tendências de dados climáticos históricos

Science Direct

Entre os 24 artigos obtidos no *Science Direct*, 16 países foram citados nas análises com dados climáticos históricos. A China foi o país mais referenciado, em 5 artigos. Canadá, Paquistão e Estados Unidos: em 3 artigos. Brasil: em 2 artigos. México, Peru, Irã, Etiópia, Tailândia, Japão, Grécia, Austrália, Cazaquistão, Nepal e Índia: em 1 artigo.

Na China, os autores Jiapaer et al. (2015) estudaram as mudanças climáticas e os efeitos induzidos pelo homem na dinâmica da vegetação. Jiapaer et al. (2015) aplicaram o método de regressão linear para temperatura média do ar na província de Xinjiang. Foi observada uma tendência crescente na temperatura média do ar, nos últimos 30 anos, na primavera, no verão e no outono, com taxas de variação de 0,104 °C/ano, 0,0996 °C/ano, e 0,096 °C/ano, respectivamente. A precipitação apresentou tendências de aumento no inverno na região do Tianshan Ocidental e do Xinjiang do Norte, e o maior aumento ocorreu nas montanhas Altay, com uma taxa de variação de 5,8 mm/ano. Foi observado que houve uma alteração no padrão climático de quente-seco a quente-úmido na Província de Xinjiang. Em 2016, outro artigo teve como objetivo compreender o impacto das mudanças climáticas no regime hidrológico na região do Himalaia. Foram incluídos nesse estudo China, Nepal e Índia (Nepal, 2016). O autor Nepal (2016) fez uma análise de tendências tendo utilizado o teste não paramétrico de Mann-Kendall e o método de Sen's para dados históricos de precipitação, e temperatura máxima e mínima do ar. Esse estudo mostrou uma tendência de aumento ($p < 0,001$) para as temperaturas máxima e mínima do ar, e a taxa média foi de 0,058 °C/ano e 0,014 °C/ano, respectivamente. A precipitação apresentou poucas tendências significativas. Nepal (2016) afirmou que esses resultados devem ser avaliados como indicadores das condições hidrológicas futuras. Estudos que avaliam o impacto das mudanças climáticas na agricultura são importantes, pois é possível avaliar, mitigar e

adaptar a produção para as condições climáticas locais. A esse respeito, os autores Tao et al. (2017) utilizaram dados de colheita e climáticos de Huang-Huai-Hai Plain (HHHP) – China – para investigar os impactos do clima durante diferentes estágios de crescimento e rendimento de trigo no inverno. Para analisar as tendências, a regressão linear foi utilizada, e a significância estatística foi testada usando-se o teste t. Foi visto que a temperatura máxima e a mínima do ar aumentaram significativamente em $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ e $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$, respectivamente, de 1981 a 2009, enquanto a radiação solar diminuiu significativamente em $0,2\text{ MJ}/\text{m}^2/\text{dia}$, e a precipitação não foi alterada (Tao et al., 2017).

Para compreender a eficácia dos programas de proteção ambiental e a sustentabilidade dos ecossistemas de pastagens, uma avaliação quantitativa foi realizada mediante dados de sensoriamento remoto, meteorológicos e observações de campo em alguns pontos na China em 2018 (Zhang et al., 2018a). Zhang et al. (2018a) analisaram a inclinação da tendência linear dos dados climáticos mediante a equação 1. Os dados de precipitação e temperatura média do ar apresentaram tendência de aumento de $1,51\text{ mm}/\text{ano}$ e $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ respectivamente, no período de 1990 a 2013. Para apresentar a variabilidade do clima com o tempo, no período de 2000 a 2013, verificou-se que a precipitação teve uma tendência de aumento de $2,43\text{ mm}/\text{ano}$, e a temperatura média teve um crescimento de $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ano}$. Ainda em 2018, as mudanças em áreas com lagos e cobertura vegetal no planalto de Qinghai-Tibetano foram avaliadas por Zhang et al. (2018b) juntamente com suas relações com o clima. Por meio do método de Mann-Kendall e declive de Sen, de 1982 a 2013, Zhang et al. (2018b) estudaram alguns elementos climáticos, tendo aplicado também a regressão linear simples. Foi visto que a temperatura média anual apresentou tendência significativa de crescimento em 1/3 das estações durante o período de 1981 a 2000. Analisando-se o período de 1981 a 2013, quase toda a região apresentou tendências significativas de aumento. Os autores concluíram que a temperatura do ar a partir do ano 2000 nessa região teve um aumento rápido.

Os autores Hartmann & Andresky (2013) analisaram os registros de precipitação no período de 1951 a 2010 e 1986 a 2010, ao longo de toda a bacia Indus, no Paquistão, aplicando o teste não parâmetro de Mann-Kendall. Tendências significativas e crescentes de precipitação foram detectadas principalmente nas montanhas: no noroeste (montanhas Hindu Kush e Sulaiman) e no leste (Himalaia) de Upper Reaches do rio Indus. Algumas tendências negativas de precipitação foram detectadas no nordeste de Upper Reaches (Karakorum e Transhimalaya) (Hartmann & Andresky, 2013).

Tahir et al. (2015) investigaram possíveis tendências em dados de precipitação, temperatura média e vazão do rio em alguns pontos na bacia do Alto Indu, no Paquistão. O teste não paramétrico de Mann-Kendall e o estimador de Theil-Sen (declinação de Sen) foram utilizados na pesquisa de Tahir et al. (2015). Nesse estudo, em específico, as variáveis climáticas não apresentaram tendências significativas para a estação de Astore ($p > 0,05$). Mesmo com esse resultado, foi sugerida a presença de uma tendência de aumento na vazão e na precipitação, e uma diminuição da temperatura média do ar no verão na bacia do rio Astore (Tahir et al., 2015).

Os autores Amin et al. (2018) analisaram a tendência de 39 estações meteorológicas no Paquistão, no período histórico de 1996–2015, para a temperatura máxima e mínima do ar utilizando-se os testes de Mann-Kendall e Sen's. Além disso, os autores avaliaram as projeções dos dados. No estudo foi observado um número maior de tendências significativas de crescimento para a temperatura máxima do ar; como exemplo, nos meses de fevereiro e março, os aumentos foram de $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e $0,51\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, respectivamente (Amin et al., 2018).

Cutforth & Judiesch (2007) analisaram dados meteorológicos históricos em sete cidades (urbanas e rurais) nas Pradarias Canadenses, região no oeste do Canadá, entre 1957 e 2005. O teste de Spearman foi utilizado para analisar as tendências climáticas. As temperaturas máximas e mínimas do ar aumentaram cerca de $0,023\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ e $0,027\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$, respectivamente (Cutforth & Judiesch, 2007). Em relação aos parâmetros de horas de sol e de radiação solar, apenas a radiação solar apresentou tendências significativas de redução nas estações de Suffield, Bad Lake/Outlook e Swift Current, sendo $p < 0,01$. (Cutforth & Judiesch, 2007). Foi sugerido que as principais causas da tendência de diminuição da radiação solar incidente tenham sido o aumento da umidade do ar e da nebulosidade.

Os autores Baustian et al. (2014) analisaram o comportamento da temperatura do ar e da precipitação no lago Saint Clair, localizado entre os Estados Unidos e o Canadá, no período de 1972 a 2002. Baustian et al. (2014), por meio da regressão linear, observaram que no período de inverno, entre os anos de 1998 e 1999, houve um aumento da temperatura do ar e, como consequência, a redução da cobertura de gelo do lago. A temperatura média do ar tem aumentado nos últimos 60 anos ($p < 0,001$), e a temperatura do lago apresentou aumento significativo desde 1948 ($p < 0,001$). Desde o ano de 1900, a precipitação anual aumentou 0,03 mm/ano ($p < 0,05$). (Baustian et al., 2014).

Em uma região de vinícola no Vale Okanagan, na Columbia Britânica canadense, a temperatura média do ar foi analisada em períodos entre 1900 e 2014 (Rayne & Forest, 2016). Neste estudo, as tendências foram examinadas usando-se testes paramétricos e não paramétricos (correlações de classificação de Spearman e Kendall) e modelos de regressão linear usando-se o pacote de software KyPlot v2.0b15. Como resultado foi observado que a temperatura média do ar está aumentando no período de crescimento e de dormência no cultivo de uvas. Essas mudanças na temperatura alteraram a classificação da vinícola estudada de clima frio para zona intermediária (Rayne & Forest, 2016).

As análises de tendências de precipitação, evapotranspiração e vazão de rio foram realizadas por Xu et al. (2013) em 55 bacias hidrográficas no Meio-Oeste dos EUA. As tendências foram avaliadas por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall. Como resultado, em 78% das bacias não houve tendências detectadas de precipitação, e nos 22% restantes, as tendências foram de aumento ($2,40 \pm 0,39$ mm/ano). Para a evapotranspiração, ocorreu o mesmo: em apenas 22% das bacias, as tendências foram significativas e decrescentes ($1,17 \pm 0,24$ mm/ano). O fluxo dos rios aumentou significativamente em 35% das bacias ($2,35 \pm 0,28$ mm/ano) (Xu et al., 2013).

Os autores Molina & Allen (2020) investigaram as tendências climáticas, assim como a relação desses parâmetros climáticos com tormentas e tempestades severas que atingem os Estados Unidos, vindas do oceano atlântico. Molina & Allen (2020) investigaram tendências climáticas de longo prazo (1981–2017) de umidade relativa do ar, tendo usado o teste de Mann-Kendall e regressão linear. Em ambas as análises estatísticas de tendências, foi observado que a magnitude e a taxa de umidade têm aumentado desde a década de 1980. (Molina & Allen, 2020).

O desenvolvimento da urbanização pode influenciar no clima local. Nesse contexto, Oliveira et al. (2020) realizaram um estudo em Belém, entre os anos de 1980 e 2017, que avaliou o comportamento dos dados climáticos históricos, tendo utilizado regressão linear. Os parâmetros selecionados foram velocidade do vento, umidade relativa do ar, precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima e média do ar. Os resultados mostraram que as temperaturas estão aumentando, enquanto a umidade relativa do ar e o vento estão diminuindo ao longo dos anos, ou seja, o clima local está ficando mais quente e seco. Esse comportamento segue uma tendência climática regional (Oliveira et al., 2020). Houve aumento na precipitação anual acumulada, que pode ter sido ocasionada por alterações na dinâmica atmosférica relacionada ao processo de urbanização (Oliveira et al., 2020). Os autores Medeiros et al. (2021) realizaram estudo de tendências climáticas, assim como do impacto do clima em uma pequena central hidrelétrica e uma usina solar na região semiárida da Paraíba, entre os anos de 1950 e 2016. Os autores Medeiros et al. (2021) observaram as tendências climáticas por meio de regressão linear e do teste não paramétrico de Mann-Kendall quantificado pelo declive de Sen. As tendências da temperatura média do ar no período anual foram de aumento, significativas para Patos (1975–2014) ($0,04$ °C/ano) e inconclusivas para São Gonçalo (1950–2016). Também foi observado um aumento de $0,01$ °C/ano ($p < 0,001$) na temperatura média do ar para as outras localidades analisadas no período de 1950 a 2016.

No México, o estudo realizado por Antaramian & Múzquiz-Irribé (1997) analisou as mudanças microclimáticas em áreas com grande urbanização e alta densidade populacional. As tendências de precipitação e temperatura do ar foram analisadas em 5 estações meteorológicas, de 1949 a 1990/1991, localizadas no estado de Michoacán. As tendências de precipitação advindas da análise de regressão linear demonstraram decréscimo para todas as estações. A tendência de redução na temperatura média do ar na cidade de Zamora foi de 1 °C/década. Em Morelia, capital do estado, a temperatura máxima

do ar apresentou uma tendência de aumento de $0,092\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$. Essa tendência de aumento na temperatura máxima do ar em Morelia foi atribuída ao rápido desenvolvimento urbano, em contraste com as outras cidades que estão situadas em regiões rurais (Antaramian & Múzquiz-Irbe, 1997).

López-Moreno et al. (2014) analisaram as tendências climáticas com base em séries mensais de 11 estações meteorológicas que estavam a 50 km da Cordilheira Huaytapallana, no Peru. As tendências climáticas foram analisadas com a utilização do teste estatístico de Wilcoxon-Mann-Whitney. A temperatura mínima do ar na estação seca teve uma tendência significativa de diminuição de $0,1^{\circ}\text{C}/\text{década}$ ($p < 0,05$). A temperatura máxima do ar teve aumentos significativos na estação seca e úmida, de 1965 a 2011, a uma taxa de $0,22\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ (López-Moreno et al., 2014). Ainda segundo López-Moreno et al. (2014), a precipitação nessa região também aumentou durante a estação úmida de 1965 a 2011.

Fitchett et al. (2014) estudaram as tendências de parâmetros climáticos e relacionaram com o pico de floração de cinco frutas cítricas no Irã. Fitchett et al. (2014) analisaram as tendências de temperatura máxima e mínima do ar e precipitação por meio de regressão linear no período de 1960 a 2010. Apenas na cidade de Gorgan, a precipitação apresentou uma tendência negativa significativa ($r = 0,57$, $p < 0,0001$), que corresponde a uma diminuição de $4,7\text{ mm}/\text{ano}$. Em Kerman, a temperatura máxima e a mínima do ar apresentaram tendências significativas de aumento de $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ para a temperatura máxima do ar e de $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ para a temperatura mínima. E em Shiraz a temperatura mínima e a máxima do ar, assim como a precipitação, apresentaram tendências significativas de aumento.

Mudanças no clima podem alterar o ecossistema de regiões mais secas. Baseando-se nisso, os autores Zewdie et al. (2017) realizaram um monitoramento de mudanças de longo prazo do índice de vegetação, de precipitação e temperatura média do ar para uma região localizada no noroeste da Etiópia. As tendências climáticas foram avaliadas pelo teste de Mann-Kendall, no período de 1983 a 2014. Foi observada uma tendência significativa de crescimento na precipitação anual, incluindo aumento na temperatura máxima do ar ($0,04\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ano}$) e na temperatura mínima do ar ($0,03\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ano}$). Esse aumento na temperatura do ar tem efeito sobre a umidade do solo, que afeta o crescimento da vegetação em regiões áridas e semiáridas. Uma avaliação mais profunda é necessária para quantificar esses efeitos na região (Zewdie et al., 2017).

Para compreender as características do clima e seu impacto na produtividade do arroz, Prabnakorn et al. (2018) investigaram as tendências climáticas dos últimos 30 anos (1984–2013) no nordeste da Tailândia. Pelo método de regressão linear, Prabnakorn et al. (2018) investigaram as tendências climáticas. A análise de tendências de precipitação, e de temperatura máxima e mínima do ar mostrou que estão, em sua maioria, aumentando. A temperatura máxima do ar teve taxas de crescimento de até $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ (1984–2013) (Prabnakorn et al., 2018). Shimoda et al. (2018) analisaram como as variações climáticas recentes impulsionam a produtividade da batata, em Hokkaido, Japão, para o período de 1986 a 2014. Shimoda et al. (2018) utilizaram regressão linear para avaliar dados climáticos. Foi observada uma tendência de aumento das temperaturas máxima e média do ar no verão desde 1986, com exceção da temperatura mínima do ar; com isso, a produção de batata se estabilizou.

Na região do Mediterrâneo Oriental, na Grécia, foram observados dados de superfície e radiossonda, de temperatura do ar e umidade relativa do ar de 1979 a 2017 (Tzanis et al., 2019). Esses autores investigaram a magnitude e a significância estatística das tendências climáticas das séries temporais usando uma abordagem não paramétrica de Theil-Sen combinada com o Mann-Kendall e a inclinação de Sen. Foram observadas tendências significativas (nível de confiança de 95% e 99%) crescentes na temperatura média do ar. Os autores observaram que a temperatura média do ar, especificamente a 2 m, tende a aumentar mais rapidamente na terra do que na água (Tzanis et al., 2019).

Foi realizada uma análise nas tendências de longo prazo de variáveis climáticas, em uma bacia hidrográfica localizada na Austrália, para compreender as tendências nas perdas de água por evaporação em corpos d'água abertos, entre 1988 e 2018 (Fuentes et al., 2020). Nos estudos de Fuentes

et al. (2020), o teste de Mann-Kendall e a inclinação de Sen foram utilizados. Como resultado, as temperaturas mínima e máxima e a média do ar aumentaram significativamente nos últimos 31 anos. A temperatura mínima do ar variou entre $-0,027$ °C/ano e $0,073$ °C/ano em 48% da área analisada. A temperatura máxima do ar variou entre $0,009$ °C/ano e $0,076$ °C/ano em 99% da área analisada. A temperatura média do ar foi de $0,015$ °C/ano a $0,047$ °C/ano. A precipitação e a umidade relativa do ar, no geral, estão diminuindo (Fuentes et al., 2020).

Os autores Schierhorn et al. (2020) avaliaram as tendências climáticas na produção de cereais (trigo e cevada), no período de 1980 a 2015, em quatro províncias do norte do Cazaquistão. Schierhorn et al. (2020) avaliaram as tendências de precipitação e temperatura média do ar utilizando-se do teste de Mann-Kendall. As tendências foram positivas tanto para os dados de temperatura média do ar quanto para os de precipitação total durante a estação de crescimento dos cereais, porém, o impacto sobre a produtividade foi pequeno, entre $-1,9\%$ e $-4,8\%$ (Schierhorn et al., 2020).

Web of Science

Seis países foram citados nos artigos selecionados no *Web of Science*: China, Itália, Zimbábue, Brasil e uma região que abrange Estados Unidos e Canadá.

Os autores McBean & Motiee (2006) analisaram o impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no sistema dos grandes lagos que abrange os Estados Unidos e o Canadá, nos anos de 1948 a 2000, para temperatura média do ar, e de 1930 a 2000 para a precipitação. Nas análises de tendências feitas por McBean & Motiee (2006), a precipitação apresentou aumentos significativos no período de 1930 a 2000 ($p < 0,05$) em quatro lagos, Michigan, Huron, Erie e Ontário. Para a temperatura média do ar, não foi observada nenhuma tendência significativa nessa região.

Streck et al. (2011) analisaram tendências históricas de parâmetros climáticos no município de Santa Maria, pertencente ao estado do Rio Grande do Sul, para o estudo de impacto do clima na agricultura, no período de 1° de maio de 1970 a 31 de dezembro de 2009, na Estação Meteorológica Principal de Santa Maria (ECPSM). Na agricultura de regiões subtropicais, o aumento da temperatura de relva durante o inverno tem impacto na quebra da dormência de frutíferas caducifólias, e o aumento no verão aumenta a respiração do tecido vegetal no período noturno. Isso pode ter impacto negativo, reduzindo a fotossíntese líquida e a produtividade das culturas do pessegueiro e da macieira (Streck et al., 2011).

Os autores Arnone et al. (2013) utilizaram o teste estatístico para investigar tendências climáticas históricas na Sicília, entre os anos de 1956 e 2005, em 60 estações meteorológicas. Nas análises de tendências de precipitação diária, Arnone et al. (2013) verificaram que, no intervalo de 1 hora de chuva, 14% das estações apresentaram tendências significativas e crescentes, $p < 0,05$. Para as durações de 3, 6 e 12 horas, uma tendência positiva foi detectada em cerca de 4% a 7% das estações, enquanto para a duração de 24 horas, 7% apresentaram tendências significativas de diminuição. Porém, para a maioria das estações, não foram observadas tendências significativas (Arnone et al., 2013).

Utete et al. (2018) avaliaram os efeitos do clima em locais onde é realizada a captura de peixes, nos lagos Chivero e Manyame, no Zimbábue. Foi avaliado o período de 1983 a 2016 para parâmetros climáticos que influenciam na captura de peixes. Os dados anuais de velocidade média do vento foram significativos e crescentes de acordo com a pesquisa realizada por Utete et al. (2018). As temperaturas de superfície dos lagos, a umidade relativa do ar e a precipitação não indicaram tendências significativas. Houve um aumento significativo na evapotranspiração. Por fim, os autores afirmaram que os elementos climáticos têm uma relação significativa com a captura de peixes em lagos periurbanos.

Os autores Lin et al. (2020) utilizaram dados históricos mensais de precipitação e temperatura média do ar de 19 estações meteorológicas de 1960 a 2015 e dados futuros, referentes à bacia do Rio Huai, localizada no leste da China, para analisar as tendências no índice de seca. Não foram observadas tendências significativas no índice de seca utilizando-se dados históricos climáticos, no

período anual e sazonal (primavera, verão, outono, inverno). No cálculo de índice de seca em que se utilizaram dados climáticos futuros, quando a temperatura média do ar foi levada em consideração, a tendência foi significativa e crescente (Lin et al., 2020).

Parâmetros climáticos utilizados nos estudos de tendências climáticas históricas

Science Direct

Nas análises dos dados climáticos históricos, o parâmetro de precipitação foi o mais utilizado e esteve presente em 19 dos 24 artigos selecionados no *Science Direct*. As temperaturas média, máxima e mínima do ar estiveram em 13, 12 e 12 citações, respectivamente. A umidade relativa do ar foi citada em 5 artigos. A irradiação global, em 3 artigos. Horas de sol e número de dias com precipitação, em 2 artigos, e, por fim, a evapotranspiração e a velocidade do vento foram citadas em 1 artigo cada uma.

Web of Science

Na biblioteca do *Web of Science*, o parâmetro climático mais utilizado foi a precipitação, que esteve presente em três artigos do *Web of Science*. Em seguida, os parâmetros de temperatura média, mínima e máxima do ar, temperatura do lago, velocidade do vento, umidade relativa do ar, evapotranspiração e índice de seca foram selecionados uma vez.

CONCLUSÃO

Nesta revisão sistemática, foram abordados os métodos estatísticos utilizados para as avaliações de tendências de dados climáticos históricos, por meio dos bancos de dados de pesquisas científicas do *Science Direct* e do *Web of Science*. Com a metodologia aplicada, o resultado da pesquisa gerou no *Science Direct* 124 artigos, e no *Web of Science* 30 artigos. Após análise nos artigos, 24 artigos no *Science Direct* e 5 artigos do *Web of Science* estavam dentro do contexto da temática.

Muitos estudos foram utilizados para compreensão do clima local, incluindo o impacto no setor agrícola. No *Science Direct*, grande parte dos artigos selecionados foram produzidos na China, para discutir o impacto do clima na vegetação e na produção de cereais. No Brasil, um artigo realizado na região semiárida do estado da Paraíba correlacionou as tendências de temperatura média do ar com a produção fotovoltaica. Os parâmetros climáticos mais avaliados nos estudos foram as temperaturas mínima, máxima e média do ar e a precipitação.

A regressão linear e o teste não paramétrico de Mann-Kendall, associado ao declive de Sen, foram os métodos estatísticos mais utilizados nas análises de tendências climáticas históricas no *Science Direct*. No *Web of Science*, o teste de Mann-Kendall e o declive de Sen foram os únicos utilizados. A regressão linear foi utilizada para visualizar o comportamento dos dados, porém, nem sempre foi aplicada uma estatística para validar e quantificar a presença de possíveis tendências.

Baseado nessa revisão, verifica-se que existem diversas lacunas nas pesquisas de tendências climáticas históricas, principalmente as relacionadas com o setor energético no Brasil. Para obtenção de energia elétrica baseada em recursos renováveis, o impacto do clima deve ser avaliado por se tratar de um setor bastante suscetível a alterações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do projeto 306783/2018-5 e das bolsas 142451/2018-5 e 481593/2020-00.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAO, R.; PEIXOTO, I.M.B.M.; CARVALHO, M. Solar or wind energy for the Brazilian semi-arid? - Climatic characterization and future trends. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS, 30., San Diego, 2017. **Proceedings**. San Diego: San Diego State University, 2017. v.3, p.1344-1356. ECOS 2017.
- AMIN, A.; NASIM, W.; SHAHFAHAD, S.; ALI, S.; AHMAD, S.; RASOOL, A.; SALEEM, N.; HAMMAD, H.M.; SULTANA, S.R.; MUBEEN, M.; BAKHAT, H.F.; AHMAD, N.; SHAH, G.M.; ADNAN, M.; NOOR, M.; BASIR, A.; SAUD, S.; UR RAHMAN, M.H.; PAZ, J.O. Evaluation and analysis of temperature for historical (1996–2015) and projected (2030–2060) climates in Pakistan using SimCLIM climate model: Ensemble application. **Atmospheric Research**, v.213, p.422-436, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.06.021>.
- ANTARAMIAN, E.; MÚZQUIZ-IRIBE, E. Recent climate trends in Michoacán. **Quaternary International**, v.43/44, p.33-42, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(97\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(97)00018-9).
- ARNONE, E.; PUMO, D.; VIOLA, F.; NOTO, L.V.; LA LOGGIA, G. Rainfall statistics changes in Sicily. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.17, p.2449-2458, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-17-2449-2013>.
- BAUSTIAN, M.M.; MAVROMATI, G.; DREELIN, E.A.; ESSELMA, P.; SCHULTZE, S.; QIAN, L.; AW, T.G.; LUO, L.; ROSE, J.B. A one hundred year review of the socioeconomic and ecological systems of Lake St. Clair, North America. **Journal of Great Lakes Research**, v.40, p.15-26, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2013.11.006>.
- CLARIVATE ANALYTICS. **Web of Science**. Available at: <https://www.webofscience.com>. Accessed on: 27 abr. 2022.
- CUTFORTH, H.W.; JUDIESCH, D. Long-term changes to incoming solar energy on the Canadian Prairie. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.145, p.167-175, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.04.011>.
- DANG, X.; PENG, H.; WANG, X.; ZHANG, H. **Theil-sen estimators in a multiple linear regression model**. Oxford: Olemiss Edu, 2008.
- ELSEVIER. **Science Direct**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 27 abr. 2022.
- FANG, W.; HUANG, S.; HUANG, G.; HUANG, Q.; WANG, H.; WANG, L.; ZHANG, Y.; LI, P.; MA, L. Copulas-based risk analysis for inter-seasonal combinations of wet and dry conditions under a changing climate. **International Journal of Climatology**, v.39, p.2005-2021, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5929>.
- FELTOVICH, N. Nonparametric tests of differences in medians: comparison of the Wilcoxon–Mann–Whitney and robust rank-order tests. **Experimental Economics**, v.6, p.273-297, 2003.
- FITCHETT, J.M.; GRAB, S.W.; THOMPSON, D.I.; ROSHAN, G. Spatio-temporal variation in phenological response of citrus to climate change in Iran: 1960-2010. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.198/199, p.285-293, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.08.010>.
- FUENTES, I.; VAN OGTROP, F.; VERVOORT, R.W. Long-term surface water trends and relationship with open water evaporation losses in the Namoi catchment, Australia. **Journal of Hydrology**, v.584, art.124714, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124714>.
- GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. **Global and Planetary Change**, v.100, p.172-182, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>.
- GOUGH, D.; OLIVER, S.; THOMAS, J. **An introduction to systematic reviews**. London: Sage, 2012. 288p.
- GÜÇLÜ, Y.S. Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. **Journal of Hydrology**, v.566, p.685-704, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.034>.
- HARTMANN, H.; ANDRESKY, L. Flooding in the Indus River basin - A spatiotemporal analysis of precipitation records. **Global and Planetary Change**, v.107, p.25-35, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.04.002>.
- JAISWAL, R.K.; LOHANI, A.K.; TIWARI, H.L. Statistical analysis for change detection and trend assessment in climatological parameters. **Environmental Processes**, v.2, p.729-749, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0105-3>.
- JIA, G. SHEVLIKOVA, E.; ARTAXO, P.; DE NOBLET-DUCOUDRÉ, N.; HOUGHTON, R.; HOUSE, J.; KITAJIMA, K.; LENNARD, C.; POPP, A.; SIRIN, A.; SUKUMAR, R.; VERCHOT, L. Land-climate interactions. In: SHUKLA, P.R.; SKEA, J.; CALVO BUENDIA, E.; MASSON-DELMOTTE, V.; PÖRTNER, H.-O.; ROBERTS, D.C.; ZHAI, P.; SLADE, R.; CONNORS, S.; VAN DIEMEN, R.; FERRAT, M.; HAUGHEY, E.; LUZ, S.; NEOGI, S.; PATHAK, M.; PETZOLD, J.; PEREIRA, J.P.; VYAS, P.; HUNTLEY, E.; KISSICK, K.; BELKACEMI, M.; MALLEY, J. (Ed.). **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. [S.l.]: WMO, 2019. p.131-248.
- JIAPAER, G.; LIANG, S.; YI, Q.; LIU, J. Vegetation dynamics and responses to recent climate change in Xinjiang using leaf area index as an indicator. **Ecological Indicators**, v.58, p.64-76, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.036>.

- LIN, H.; WANG, J.; LI, F.; XIE, Y.; JIANG, C.; SUN, L. Drought trends and the extreme drought frequency and characteristics under climate change based on spi and hi in the upper and middle reaches of the Huai River Basin, China. **Water**, v.12, art.1100, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12041100>.
- LOPES, J.C. de J. Mudanças climáticas e suas conseqüências socioeconômicas. **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v.1, p.127-146, 2008.
- LÓPEZ-MORENO, J.I.; FONTANELDA, S.; BAZO, J.; REVUELTO, J.; AZORIN-MOLINA, C.; VALERO-GARCÉS, B.; MORÁN-TEJEDA, E.; VICENTE-SERRANO, S.M.; ZUBIETA, R.; ALEJO-COCHACHÍN, J. Recent glacier retreat and climate trends in Cordillera Huaytapallana, Peru. **Global and Planetary Change**, v.112, p.1-11, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.10.010>.
- MCBEAN, E.; MOTIEE, H. Assessment of impacts of climate change on water resources – a case study of the Great Lakes of North America. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v.3, p.3183-3209, 2006. DOI: <https://doi.org/10.5194/hessd-3-3183-2006>.
- MEDEIROS, S.E.L.; NILO, P.F.; SILVA, L.P.; SANTOS, C.A.C.; CARVALHO, M.; ABTAHÃO, R. Influence of climatic variability on the electricity generation potential by renewable sources in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v.184, art.104331, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104331>.
- MOLINA, M.J.; ALLEN, J.T. Regionally-stratified tornadoes: Moisture source physical reasoning and climate trends. **Weather and Climate Extremes**, v.28, art.100244, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100244>.
- MOURATO, S.; MOREIRA, M.; CORTE-REAL, J. Interannual variability of precipitation distribution patterns in Southern Portugal. **International Journal of Climatology**, v.30, p.1784-1794, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.2021>.
- NEPAL, S. Impacts of climate change on the hydrological regime of the Koshi river basin in the Himalayan region. **Journal of Hydro-Environment Research**, v.10, p.76-89, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jher.2015.12.001>.
- OLIVEIRA, J.V. de; COHEN, J.C.P.; PIMENTEL, M.; TOURINHO, H.L.Z.; LÔBO, M.A.; SODRÉ, G.; ABDALA, A. Urban climate and environmental perception about climate change in Belém, Pará, Brazil. **Urban Climate**, v.31, art.100579, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100579>.
- PRABNAKORN, S.; MASKEY, S.; SURYADI, F.X.; de FRAITURE, C. Rice yield in response to climate trends and drought index in the Mun River Basin, Thailand. **Science of the Total Environment**, v.621, p.108-119, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.136>.
- RAYNE, S.; FOREST, K. Rapidly changing climatic conditions for wine grape growing in the Okanagan Valley region of British Columbia, Canada. **Science of the Total Environment**, v.556, p.169-178, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.200>.
- SCHIERHORN, F.; HOFMANN, M.; ADRIAN, I.; BOBOJONOV, I.; MÜLLER, D. Spatially varying impacts of climate change on wheat and barley yields in Kazakhstan. **Journal of Arid Environments**, v.178, art.104164, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104164>.
- SHIMODA, S.; KANNO, H.; HIROTA, T. Time series analysis of temperature and rainfall-based weather aggregation reveals significant correlations between climate turning points and potato (*Solanum tuberosum* L) yield trends in Japan. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.263, p.147-155, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.08.005>.
- STRECK, N.A.; GABRIEL, L.F.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; PAULA, G.M. de. Temperatura mínima de relva em Santa Maria, RS: climatologia, variabilidade interanual e tendência histórica. **Bragantia**, v.70, p.696-706, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000300028>.
- TAHIR, A.A.; CHEVALLIER, P.; ARNAUD, Y.; ASHRAF, M.; BHATTI, M.T. Snow cover trend and hydrological characteristics of the Astore River basin (Western Himalayas) and its comparison to the Hunza basin (Karakoram region). **Science of the Total Environment**, v.505, p.748-761, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.065>.
- TAO, F.; XIAO, D.; ZHANG, S.; ZHANG, Z.; RÖTTER, R.P. Wheat yield benefited from increases in minimum temperature in the Huang-Huai-Hai Plain of China in the past three decades. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.239, p.1-14, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.033>.
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, v.14, p.207-222, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>.
- TZANIS, C.G.; KOUTSOGIANNIS, I.; PHILIPPOPOULOS, K.; DELIGIORGI, D. Recent climate trends over Greece. **Atmospheric Research**, v.230, art.104623, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104623>.
- UTETE, B.; PHIRI, C.; MLAMBO, S.S.; MUBOKO, N.; FREGENE, B.T. Fish catches, and the influence of climatic and non-climatic factors in Lakes Chivero and Manyame, Zimbabwe. **Cogent Food & Agriculture**, v.4, art.1435018, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1435018>.
- XU, X.; SCANLON, B.R.; SCHILLING, K.; SUN, A. Relative importance of climate and land surface changes on hydrologic changes in the US Midwest since the 1930s: implications for biofuel production. **Journal of Hydrology**, v.497, p.110-120, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.05.041>.

WANG, W.; CHEN, Y.; BECKER, S.; LIU, B. Linear trend detection in serially dependent hydrometeorological data based on a variance correction Spearman rho method. **Water**, v.7, p.7045-7065, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/w7126673>.

YANG, D.; KLEISSL, J.; GUEYMARD, C.A.; PEDRO, H.T.C.; COIMBRA, C.F.M. History and trends in solar irradiance and PV power forecasting: a preliminary assessment and review using text mining. **Solar Energy**, v.168, p.60-101, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.023>.

ZEWDIE, W.; CSAPLOVICS, E.; INOSTROZA, L. Monitoring ecosystem dynamics in northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability. **Applied Geography**, v.79, p.167-178, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.019>.

ZHANG, H.; FAN, J.; CAO, W.; ZHONG, H.; HARRIS, W.; GONG, G.; ZHANG, Y. Changes in multiple ecosystem services between 2000 and 2013 and their driving factors in the Grazing Withdrawal Program, China. **Ecological Engineering**, v.116, p.67-79, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.028>.

ZHANG, Z.; CHANG, J.; XU, C.-Y.; ZHOU, Y.; WU, Y.; CHEN, X.; JIANG, S.; DUAN, Z. The response of lake area and vegetation cover variations to climate change over the Qinghai-Tibetan Plateau during the past 30 years. **Science of the Total Environment**, v.635, p.443-451, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.113>.

