

ANÁLISE DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO MUNICÍPIO DE PEIXE (TO), CÓDIGO 83228, UTILIZANDO LIMIAR DINÂMICO Z-SCORE ($Z \geq 3$)

Thalita Merielle Bernardes¹

RESUMO

A análise estatística de eventos extremos de precipitação configura-se como uma ferramenta essencial para a compreensão do fenômeno, tanto na identificação de padrões (tendências e anomalias) em séries temporais. Este estudo tem como objetivo identificar e analisar eventos de precipitação extrema na estação PEIXE (TO), no período de 1980 a 2024. Para isso, utilizam- se dados diários de precipitação da estação pluviométrica PEIXE – TO, código 83228. Os dados são organizados e tratados em planilhas do Microsoft Excel 365, onde filtros são aplicados para a remoção de valores negativos, nulos e iguais a zero. A Estatística de Valores Extremos (EVE) é aplicada, com ênfase na técnica do Z-score. O limiar correspondente ao Z-score ($Z \geq 3$) é calculado dinamicamente por mês e por década. Os resultados evidenciam maior ocorrência de eventos extremos nos meses de verão, especialmente em dezembro, janeiro e março, além de uma intensificação recente em meses tipicamente secos, como julho e agosto. A análise permite capturar tendências sazonais e decenais, evidenciando mudanças no regime pluviométrico local. Os resultados apresentam relevância como embasamento para planos de gestão e estratégias de adaptação frente às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Precipitação extrema; estação pluviométrica Peixe/TO; Z-score.

ABSTRACT

The statistical analysis of extreme precipitation events is an essential tool for understanding the phenomenon, particularly in identifying patterns (trends and anomalies) in time series. This study aims to identify and analyze extreme precipitation events at the PEIXE (TO) station during the period from 1980 to 2024. For this purpose, daily precipitation data from the PEIXE – TO pluviometric station, code 83228, are used. The data are organized and processed in Microsoft Excel 365 spreadsheets, where filters are applied to remove negative, null, and zero values. Extreme Value Statistics (EVS) is applied, with emphasis on the Z-score technique. The threshold corresponding to the Z-score ($Z \geq 3$) is dynamically calculated by month and by decade. The results show a higher occurrence of extreme events in the summer months, especially in December, January, and March, as well as a recent intensification in typically dry months, such as July and August. The analysis captures seasonal and decadal trends, highlighting changes in the local rainfall regime. The results provide an important basis for management plans and adaptation strategies in the face of climate change.

Keywords: Extreme precipitation; Peixe/TO pluviometric station; Z-score.

¹Graduanda em Bacharelado em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia - UFU E-mail: thalitambernardes@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A precipitação é uma das variáveis climáticas mais relevantes na dinâmica ambiental, especialmente por sua influência direta na agricultura, no abastecimento hídrico e na ocorrência de desastres naturais, como enchentes e secas (Zhang et al., 2011). O aumento da frequência e da intensidade dos eventos extremos de precipitação tem sido atribuído, em parte, aos efeitos das mudanças climáticas, o que intensifica a necessidade de estudos que busquem compreender esses fenômenos e suas consequências (IPCC, 2021).

No âmbito da estatística aplicada a análise de séries temporais de precipitação, destaca-se o emprego de ferramentas que permitem a identificação de padrões anômalos, fundamentais para a compreensão do comportamento de eventos extremos.

Assim, a análise estatística de eventos extremos de precipitação, configura-se como uma ferramenta essencial para a compreensão desses processos, visto que permite identificar padrões, tendências e anomalias em séries temporais de dados, contribuindo significativamente para a gestão de recursos hídricos, planejamento urbano e prevenção de desastres naturais (Coles, 2001).

Por Estatística de Valores Extremos (EVE), entende-se ser o conjunto de ferramentas cujo objetivo é modelar eventos raros, de baixa frequência, porém de elevado impacto, como enchentes e estiagens prolongadas (Embrechts; Klüppelberg; Mikosch, 2013). Podendo ainda ser utilizado na simulação de cenários futuros, subsidiando estratégias de mitigação de riscos e a formulação de políticas públicas voltadas à gestão de desastres naturais (Katz; Brush; Parlange, 2002).

A técnica Z-score é uma das ferramentas que integram as chamadas EVEs e seu uso tem sido amplamente aplicado em estudos hidrometeorológicos. Segundo Wilks (2011), a técnica permite uma interpretação objetiva de flutuações em séries de dados meteorológicos, sendo particularmente útil para caracterizar secas e períodos de chuvas excessivas. Ao transformar os dados em uma escala padronizada, o Z-score facilita a comparação entre diferentes períodos e localidades, contribuindo para análises espaciais e temporais mais consistentes.

Observa-se que o Z-score é uma ferramenta estatística robusta e acessível, amplamente validada por estudos científicos, cuja aplicação em séries históricas de precipitação permite a identificação de comportamentos atípicos e a construção de análises mais precisas, contribuindo para a formulação de estratégias de adaptação frente às mudanças climáticas.

Este estudo tem como objetivo investigar os eventos extremos de precipitação na estação PEIXE (TO), empregando a EVE para modelar a frequência e magnitude desses

fenômenos, aliada ao método Z-score para identificar anomalias e padronizar a análise. A combinação dessas abordagens visa fornecer subsídios científicos para a compreensão do comportamento climático local, contribuindo para a avaliação de riscos associados a chuvas intensas e sua variabilidade temporal.

2 METODOLOGIA

Neste estudo foi utilizado dados da estação pluviométrica PEIXE - TO (código 83228), integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), gerido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Localizada no município de Peixe, Tocantins (TO), Brasil, a estação está situada nas coordenadas -12.02 (latitude) e -48.54 (longitude), com altitude de 252,24 metros, e encontra-se operante (ANA, 2024). Os dados utilizados possuem periodicidade diária, permitindo a construção de uma série histórica robusta para a caracterização de eventos extremos de precipitação.

O município de Peixe localiza-se na região Norte do Brasil, caracterizada por clima tropical, sendo uma área de importância ambiental, uma vez que o regime pluviométrico dessa localidade apresenta variações significativas ao longo dos anos, influenciado pelas características climáticas regionais (Brasil, 2019).

A série histórica de dados utilizada no presente estudo compreende o período de 1980 a 2024, com dados diários de precipitação. Os dados foram organizados e tratados em planilha eletrônica no software Microsoft Excel (versão Office 365), que permitiu uma organização e pré-tratamento inicial dos dados, filtragem dos valores nulos e inválidos, etapa essa considerada fundamental na análise estatística (Hair et al., 2019).

Para a análise dos eventos extremos de precipitação, adotou-se a técnica estatística do Z-score. O método é frequentemente associada à identificação de eventos extremos e consiste na padronização estatística dos dados, possibilitando a análise da distância entre um valor observado e a média histórica da série, expressa em unidades de desvio padrão (Montgomery; Runger, 2016). Esse método é utilizado para detectar anomalias em séries temporais, como precipitações atípicas, e para identificar tendências climáticas com maior clareza (Triola, 2017).

Segundo Triola (2017),

o Z-score (ou escore padrão) é uma medida estatística que quantifica o afastamento de um valor em relação à média de um conjunto de dados, expresso em termos de desvios padrão, equação 1.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Onde:

Z = valor do Z-score (indica quantos desvios padrão o dado está da média);

X = valor observado (ponto de dados analisado);

μ = média da distribuição;

σ = desvio padrão da série.

Neste estudo, foi considerado como critério de identificação de eventos extremos os valores de precipitação com Z-score maior ou igual a 3 ($Z \geq 3$), seguindo a abordagem proposta por Hair et al. (2019), que recomenda a utilização desse limiar para a detecção de outliers em distribuições normais. Esse procedimento permitiu a quantificação dos episódios de precipitação significativamente superior à média histórica, contribuindo para a caracterização dos eventos extremos na área de estudo.

Além da análise tradicional do Z-score, adotou-se uma metodologia refinada que incorpora um limiar dinâmico mensal por década. Conforme demonstrado por Blain (2014), esta abordagem é particularmente eficaz para: (a) capturar a não-estacionariedade climática característica do Cerrado tocantinense; (b) minimizar falsos positivos/negativos em séries longas (≥ 30 anos); e (c) identificar tendências decadais no regime pluviométrico. Esta metodologia integrada proporcionou maior precisão temporal na detecção de extremos, compatibilidade com estudos climáticos regionais e fundamentação para análises de vulnerabilidade hídrica.

Estudos recentes demonstram a eficácia do Z-score na caracterização de extremos pluviométricos em diversas regiões do Brasil. Marengo et al. (2021), por exemplo, aplicaram a técnica na avaliação da estiagem ocorrida no Pantanal durante os anos de 2019 e 2020, destacando o afastamento significativo dos valores de precipitação em relação à média histórica. Os autores concluíram que a técnica auxiliou na delimitação precisa dos períodos críticos e reforçou a importância do monitoramento contínuo de anomalias climáticas. De modo semelhante, Marcuzzo, Cardoso e Faria (2012) empregaram o Z-score na análise da variabilidade pluviométrica no bioma Cerrado, e os resultados indicaram maior precisão na identificação das oscilações de precipitação ao longo do tempo, permitindo distinguir, de forma clara, os anos com precipitação excessiva ou deficiente.

Silva et al. (2020) utilizaram o Z-score para avaliar a variabilidade das chuvas no Semiárido nordestino, uma das regiões mais suscetíveis à escassez hídrica. Os resultados mostraram que a técnica não apenas identificou eventos extremos com precisão, mas também

contribuiu para a construção de indicadores de alerta precoce voltados à gestão de recursos hídricos e à formulação de políticas públicas voltadas à convivência com a seca.

3 RESULTADOS

Contextualizando, os resultados aqui apresentados referem-se à aplicação da técnica do Z-score, com limiar dinâmico ($Z \geq 3$) e análise individualizada por mês em cada década, para identificar valores extremos de precipitação na série analisada.

Na Tabela 1 estão sumariados os resultados do tratamento estatístico dos valores dos limiares dinâmicos médios mensais/ decanais de precipitação, limiar $Z \geq 3$, série histórica da estação PEIXE (TO), período de 1975 a 2024.

Tabela 1 – Limiar Dinâmico de Precipitação Extrema (Mensal e Decadal) – Estação PEIXE (TO), 1980–2024

Mês	1980	1990	2000	2010	2020
Janeiro	14,8	14,8	13,7	12,5	15,9
Fevereiro	12,4	12,2	11,6	12,8	12,5
Março	13,9	12,5	13,1	9,7	11,2
Abril	10,8	11,4	10,5	8,2	10,4
Maio	6,2	8,9	7,1	5,0	10,2
Junho	12,5	22,5	0,5	16,9	-
Julho	6,8	0,6	-	-	26,3
Agosto	1,4	9,4	0,1	-	7,05
Setembro	6,5	9,4	11,3	8,9	5,8
Outubro	11,2	9,0	8,4	9,8	10,6
Novembro	13,4	12,9	10,5	13,4	11,1
Dezembro	15,6	14,3	13,3	13,5	12,9

Elaboração Thalita Merielle Bernardes, fonte: ANA, 2024.

Com base nos dados da Tabela 1, observa-se que os maiores percentuais de ocorrência de valores extremos de precipitação concentram-se nos meses de verão, seguidos pelos meses de transição entre primavera e verão, sendo os destaques: dezembro, março, outubro e janeiro. Esses meses apresentam, de forma geral, médias elevadas de precipitação ao longo das décadas, refletindo a sazonalidade do regime pluviométrico regional.

Por outro lado, os menores percentuais de eventos extremos de precipitação ocorrem nos meses de inverno, especialmente em julho, junho e agosto. Nota-se que, embora existam oscilações em algumas décadas, os valores médios nestes meses tendem a ser substancialmente

inferiores. Essa diferença entre os períodos seco e chuvoso evidencia a forte influência da sazonalidade climática sobre a distribuição dos eventos extremos.

Segue análise detalhada para cada conjunto de meses:

Janeiro – Os limiares dos meses de janeiro apresentam queda entre as décadas de 1980 a 2010 e significativo aumento no primeiro quinquênio da década de 2020, sendo essa última década a de maior valor de limiar.

Fevereiro – Para os meses de fevereiro observa-se queda dos valores dos limiares entre as décadas de 1980 a 2010. Já para a década seguinte há um salto significativo nos valores e concomitante ligeira queda na década de 2020. As duas últimas décadas da série histórica são as que apresentam maiores valores de limiares.

Março – Comportamento dos valores dos limiares para os meses de março, indica que a década de 1980 foi aquela de maior valor de limiar. Desde então há uma tendência de queda dos valores até a década de 2010, seguida por ligeiro aumento nos primeiros cinco anos da década de 2020. **Abril** – Para os meses de abril, verifica-se tendência de queda dos valores dos limiares entre as décadas de 1980 a 2010 e, significativo aumento dos valores no primeiro quinquênio de 2020. De modo geral, têm-se que a década de 1990 apresentou maior valor de limiar e, ainda, há uma quase similaridade de valores entre a primeira e a última décadas analisadas.

Maio – Para os meses de maio, observa-se aleatoriedade no comportamento dos valores dos limiares entre as décadas analisadas, com significativo aumento no primeiro quinquênio da década de 2020, sendo essa última a de maior valor de limiar.

Junho – apresenta aleatoriedade no comportamento dos valores, com proximidade entre os valores entre a primeira e a última décadas analisadas, tendo sido a década de 1990 a de maior valor de limiar.

Julho – Não há dados de chuvas suficientes para ter bondade estatística.

Agosto – Para os meses de agosto, verifica-se que na década de 1990 ocorreu o maior valor de limiar quando comparada às décadas de 1980 e 2000. As décadas posteriores apresentam ausência de dados necessários para bondade estatística.

Setembro – Para os meses de setembro, observa-se aumento significativo, nos valores dos limiares, entre as décadas de 1980 a 2000, sucedido de queda significativa nas últimas décadas. De modo geral, a década de 2000 é a que apresenta maior valor de limiar e, apesar da oscilação, os valores dos limiares do primeiro quinquênio 2025 estão próximo aqueles verificados na década de 1980.

Outubro – Para os meses de outubro, observa-se queda significativa, nos valores dos limiares, entre as décadas de 1980 a 2000, sucedido de aumento significativo nas décadas de 2010 a 2020.

Novembro – observa-se valores altos nos limiares entre as décadas de 1980, 1990 e 2010 e de outro modo, comparativamente, valores mais baixos nas décadas de 2000 e no primeiro quinquênio de 2025.

Dezembro – Demonstra tendência de queda dos valores de limiares ao longo de todas as décadas analisadas, sendo que a década de 1980 foi a de maior valor de limiar.

Outra organização com gráficos, apresenta a linha da série de valores limiares escalonados por década e ainda a pontuação da quantidade de eventos que excederam o valor limiar $Z \geq 3$. Em cada gráfico, os limiares estão organizados por décadas, possibilitando identificar a variabilidade temporal e a ocorrência de eventos extremos ao longo da série histórica.

Gráfico 1 – Limiares mês de janeiro

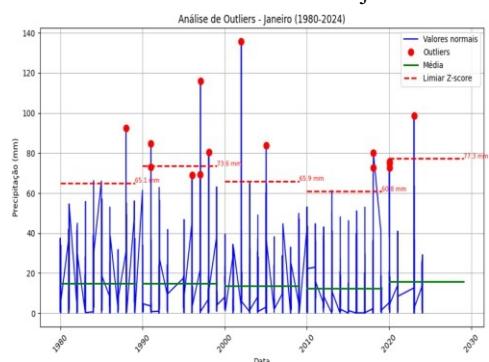


Gráfico 2 – Limiares mês de fevereiro

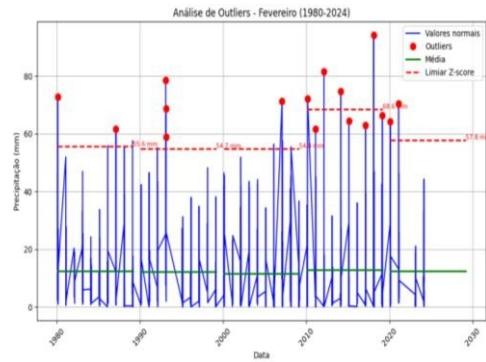


Gráfico 3 – Limiares mês de março

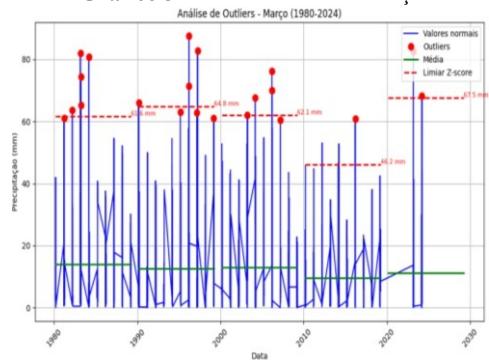
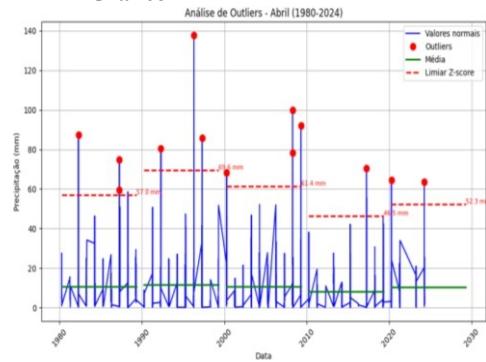


Gráfico 4 – Limiares mês de abril



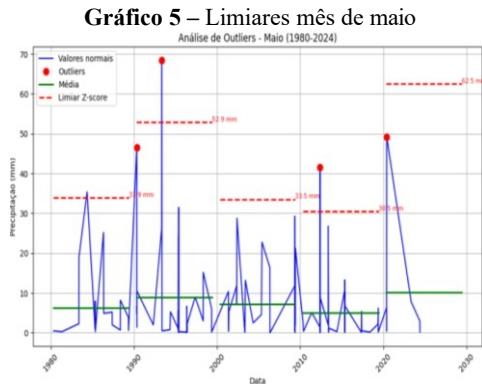


Gráfico 7 –Limiares mês de setembro

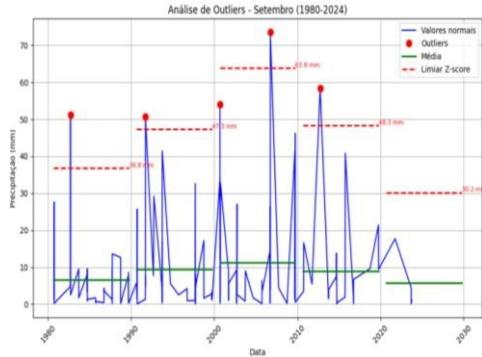


Gráfico 9 – Limiares mês de novembro

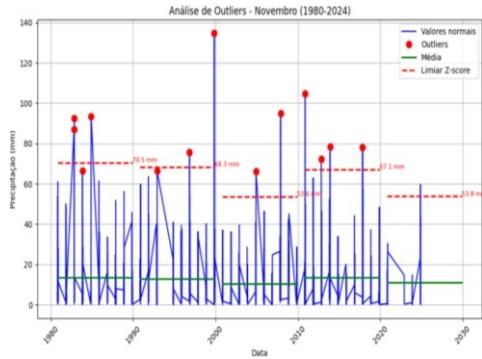


Gráfico 6 – Limiares mês de agosto

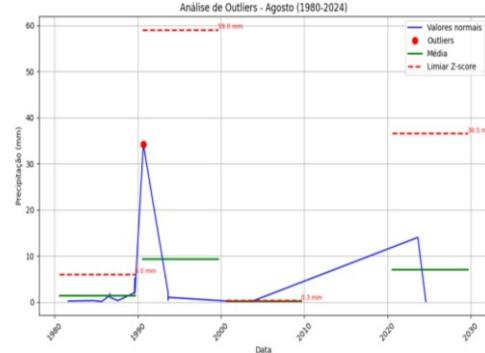
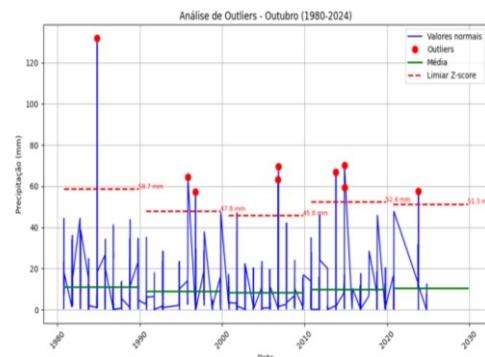


Gráfico 8 – Limiares mês de outubro



4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que a análise estatística por meio da técnica do Z-score, associada ao uso de limiares dinâmicos por década, é eficaz para identificar eventos extremos de precipitação. A abordagem adotada permitiu uma leitura detalhada da frequência e intensidade das chuvas ao longo de quase cinco décadas, destacando padrões sazonais e alterações ao longo do tempo.

Constatou-se que os eventos extremos de precipitação ocorrem, majoritariamente, nos meses de verão, com destaque para dezembro, janeiro e março. Por outro lado, meses

historicamente secos, como julho e agosto, passaram a apresentar registros atípicos em anos recentes, sugerindo possíveis alterações no regime pluviométrico local.

A utilização de limiares ajustados por década mostrou-se especialmente útil para captar mudanças sutis no comportamento da precipitação, contribuindo para uma análise mais precisa e fundamentada. Esses dados são essenciais para subsidiar políticas públicas voltadas à gestão de recursos hídricos, prevenção de desastres e planejamento urbano em regiões com alta variabilidade climática.

A metodologia aplicada demonstrou ser uma ferramenta relevante para monitoramento e avaliação de extremos pluviométricos, e pode ser ampliada para outras regiões e variáveis ambientais. O estudo reforça a importância de análises de longo prazo para compreender as transformações climáticas em curso e auxiliar na construção de estratégias de adaptação mais eficazes.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Brasília, 2024.

BLAIN, G. C. Uma proposta metodológica para a detecção de tendências em séries temporais de dados meteorológicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, p. 103-112, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Perfil do município de Peixe - TO. Brasília: MMA, 2019.

COLES, S. **An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values.** London: Springer, 2001.

EMBRECHTS, P.; KLÜPPELBERG, C.; MIKOSCH, T. **Modelling Extremal Events for Insurance and Finance.** Berlin: Springer, 2013.

HAIR, J. F. et al. **Análise Multivariada de Dados.** 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2019.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

KATZ, R. W.; BRUSH, L. M.; PARLANGE, M. B. **Statistics of extremes: modeling ecological disturbances.** Ecology, v. 83, n. 4, p. 1065-1076, 2002.

MARENGO, J. A. et al. A seca de 2019–2020 no Pantanal brasileiro: caracterização, causas e impactos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 1-23, 2021.

MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R.; FARIA, R. T. Análise da variabilidade pluviométrica no bioma Cerrado: aplicação do Z-Score. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 236-246, 2012.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

SILVA, A. R. et al. Identificação de eventos extremos de precipitação no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 55-68, 2020.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 3. ed. Oxford: Academic Press, 2011.

ZHANG, X. et al. **Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data**. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, v. 2, n. 6, p. 851-870, 2011.