

Mapping of Climate Variables in the Northeast Region and the States of Minas Gerais, Maranhão and Amapá Using WORDCLIM[®]2 Spatial Modeling

Paulo R. M. Francisco*, José H. S. de Sousa**, George do N. Ribeiro***, José N. Silva****

*Dr. em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com

**Mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, hugosimplicio123@gmail.com

***Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

****Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, nilton@eq.ufcg.edu.br

Received 21 April; accepted 21 October.

ABSTRACT

The climate is made up of several elements, such as solar radiation, rainfall, air temperature, air humidity, wind, atmospheric pressure, evaporation, among others, where it is important to analyze their action on the environment. The objective of this work was to map the climatic variables of the states of the Northeast, Southeast and North of Brazil, using spatial modeling and geotechnologies. The WordClim[®] v2.1 digital database of data between 1970 and 2000 of 30s of arc and the Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v.3 was used. The climatic variables evaluated were minimum and maximum temperature, precipitation, solar radiation, water vapor pressure, reference evapotranspiration, aridity index. Using QGIS[®], zonal statistics were performed using SAGA[®] and normality, adherence, trend and correlation coefficient tests were prepared using RStudio[®]. From the results obtained in this work, it was observed that the data from WordClim[®] v2.1 presented itself as a robust tool for analyzing climate variables. The highest values of solar radiation were observed in the State of Alagoas with greater variability and higher standard deviation in Minas Gerais. The maximum temperature showed the highest values in Piauí and minimum values in Minas Gerais. The lowest total precipitation occurred in the semi-arid region and the highest precipitation in Amapá. Evapotranspiration showed higher values in the coastal region and the Amazon, and lower values in Minas Gerais. As for Eto, the opposite behavior was observed. The lowest aridity index values occurred in the semi-arid region between 0.19 and 0.31. The normality tests of the variables demonstrated that the data are normally distributed. In the correlation between the main variables, it was found that precipitation and the aridity index presented values of $R=0.99$, followed by correlations between precipitation and evapotranspiration and Eto.

Keywords: Climate variability, zonal statistics, temperature, precipitation, aridity index.

Mapeamento das Variáveis Climáticas da Região Nordeste e dos Estados de Minas Gerais, Maranhão e Amapá Utilizando Modelagem Espacial do WORDCLIM[®]2

RESUMO

O clima é formado por vários elementos, como radiação solar, precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade do ar, vento, pressão atmosférica, evaporação entre outros, onde é importante analisar a ação desses no ambiente. O objetivo deste trabalho foi mapear as variáveis climáticas dos Estados da região Nordeste, Sudeste e Norte do Brasil. Foi utilizado a base digital da WordClim[®] v2.1 de dados entre 1970 a 2000 de 30s de arco e do Índice Global de Aridez e Banco de Dados de Evapotranspiração Potencial v.3. As variáveis climáticas avaliadas foram temperatura mínima e máxima, precipitação, radiação solar, pressão de vapor de água, evapotranspiração de referência, índice de aridez. Utilizando o QGIS[®] foi realizada a estatística zonal através do SAGA[®] e pelo RStudio[®] foram elaborados os testes de normalidade, aderência, tendência e coeficiente de correlação. Pelos resultados obtidos neste trabalho observou-se que os dados do WordClim[®] v2.1 se apresentaram como uma ferramenta robusta na análise das variáveis climáticas. Os maiores valores de radiação solar foram observados no Estado de Alagoas com maior variabilidade e maior desvio padrão em Minas Gerais. A temperatura máxima apresentou maiores valores no Piauí e mínimos em Minas Gerais. A menor precipitação total ocorreu na região semiárida e maior precipitação no Amapá. A evapotranspiração apresentou maiores valores na região litorânea e na Amazônica, e menores valores em Minas Gerais. Quanto a Eto verificou-se comportamento inverso. Os menores valores do índice de aridez ocorreram na região semiárida entre 0,19 a 0,31. Os testes de normalidade das variáveis demonstraram que os dados são normalmente distribuídos. Na correlação entre as principais variáveis, verificou-se que a precipitação e o índice de aridez apresentaram valores de $R=0,99$, seguida das correlações entre precipitação e evapotranspiração e Eto.

Palavras-chave: Variabilidade climática, estatística zonal, temperatura, precipitação, índice de aridez.

1 Introdução

O clima é formado por vários elementos, como radiação solar, precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade do ar, vento, pressão atmosférica, evaporação entre outros, onde é importante analisar a ação desses no ambiente. A variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por essa variabilidade, mesmo dentro do esperado pode ter reflexos significativos nas atividades humanas (Oliveira et al., 2014).

A temperatura apresenta uma variabilidade temporal e espacial ao longo do dia, mês ou ano, sendo, portanto, um elemento climático muito complexo. Em geral as maiores médias térmicas de temperatura do ar na superfície ocorrem durante o verão, e as menores durante o inverno, mesmo em localidades com baixas latitudes. Esse aspecto latitudinal é fundamental para alterar a média térmica à medida que se distancia do Equador e se aproxima dos Polos. Fatores geográficos como os grandes corpos hídricos, os oceanos, por exemplo, atuam como um regulador térmico da temperatura do ar, tendendo a suavizar as flutuações e reduzir a amplitude anual (Varejão-Silva, 2006).

Outro fator fundamental para a variação da temperatura é a altitude, à medida que aumenta a altitude na troposfera diminui a temperatura. Nas regiões tropicais esse efeito é muito significativo para a melhoria do conforto ambiental. A temperatura do ar se destaca entre as variáveis atmosféricas mais utilizadas no desenvolvimento de estudos de impactos ambientais com mudanças nos processos meteorológicos e hidrológicos de acordo com Nogueira et al. (2012) e Correia et al. (2011).

A produção agrícola depende essencialmente do balanço de umidade do solo, que é dependente, da precipitação, temperatura, evaporação, etc. (Francisco et al., 2015). A agricultura é uma das atividades econômicas que apresenta uma dependência do tempo e do clima. As condições atmosféricas afetam todas as etapas das atividades agrícolas, desde o preparo do solo para o plantio até o armazenamento dos produtos e seu transporte. As condições meteorológicas adversas levam constantemente a graves impactos sociais sem precedentes (Souza et al., 2004).

Conforme Viana (2010), nos dias atuais é perceptível a importância das pesquisas que envolvem o estudo do clima na busca da construção de novos parâmetros de conhecimento e consequente aplicação nas diversas atividades humanas que dependem dos dados e informações cada vez mais concisos sobre chuvas, secas, temporais e eventos extremos, com informações de médio e longo prazo geradas com um alto grau.

As informações das condições climáticas de uma determinada região são necessárias para que se possam instituir estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, planejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável e implementação das práticas agrícolas viáveis e seguras para o meio ambiente e a produtividade agropecuária (Francisco et al., 2016).

Uma possível solução para obter alguma informação à escala local a partir dos resultados do modelo climático são os procedimentos de *downscaling*, que utilizam modelos dinâmicos ou estatísticos para relacionar informação em grande escala dos GCM (Global Climatic Model), considerados modelados de forma fiável, com informações regionais ou locais. Cada abordagem dinâmica ou estatística tem suas próprias desvantagens e vantagens. É difícil encontrar um método universal de redução de escala válido para todas as variáveis e todas as regiões (von Storch, 1995).

Embora os modelos climáticos globais (GCMs) sejam úteis para simular respostas climáticas a perturbações no sistema climático da Terra, há muitos casos em que são necessárias informações de maior resolução espacial (Mosier et al., 2018).

De acordo com Marengo et al. (2012), nas últimas décadas, tanto os modelos climáticos globais (MCGs), quanto os modelos climáticos regionais (MCRs), têm tido grandes avanços na representação dos componentes do sistema climático, principalmente devido à melhor representação dos processos físicos e fenômenos a eles associados e as suas interações.

WorldClim® é um conjunto de camadas climáticas globais, dados climáticos em grade no formato *geotiff*, que podem ser usados para mapeamento e modelagem espacial. A versão 1 do WorldClim® é um conjunto de dados em grade climática global de alta resolução cobrindo 1961-1990 (Marchi et al., 2019).

O método de interpolação, a resolução espacial e a cobertura são as três principais características que os pesquisadores utilizam para selecionar os conjuntos de dados mais adequados para suas pesquisas (Attorre et al. 2007; Marchi et al., 2007; Azupura et al., 2010; Mbogga et al., 2009).

A primeira versão do conjunto de dados WorldClim® (Hijmans et al., 2005) é provavelmente o mais importante conjunto de dados climáticos em grade, amplamente utilizado. Graças à sua alta resolução (30 segundos de arco no sistema de referência WGS84 e aproximadamente 1 km no equador), de cobertura global e disponibilidade. Um dos principais produtos desta base de dados é a

representativa do período normal climático de 1961-1990 para todo o globo. Este conjunto de dados foi gerado interpolando dados de estações meteorológicas utilizando latitude, longitude e elevação como variáveis independentes (Marchi et al., 2019).

A versão 1.4 do WorldClim® contém dados em grade para as mesmas variáveis para o período 1960-1990, bem como projeções de temperatura e precipitação do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC usando vários modelos de circulação geral (GCMs) para quatro caminhos de concentração representativos (RCPs) e simulações de temperatura e precipitação baseadas em GCM para o Holoceno Médio, (cerca de 6.000 anos atrás, o Último Máximo Glacial, cerca de 22.000 anos atrás, e o Último Interglacial entre 120.000 - 140.000 anos atrás).

A versão 2 do WordlClim® contém dados climáticos médios mensais em grade para o período 1970-2000 com diferentes resoluções espaciais, de 30 segundos ($\sim 1 \text{ km}^2$) a 10 minutos ($\sim 340 \text{ km}^2$). O conjunto de dados inclui as principais variáveis climáticas (temperatura mínima, média e máxima mensal, precipitação, radiação solar, velocidade do vento e pressão de vapor de água), bem como 19 variáveis bioclimáticas derivadas. As correlações globais de validação cruzada foram $\geq 0,99$ para temperatura e umidade, 0,86 para precipitação e 0,76 para velocidade do vento (Fick & Hijmans, 2017).

O Índice Global de Aridez e o Banco de Dados de Evapotranspiração Potencial - Versão 3 (Global-AI_PET_v3) fornece dados hidroclimáticos globais de alta resolução (30 segundos de arco) com média mensal e anual entre 1970 a 2000, com base na equação de Evapotranspiração de Referência (ET₀) da FAO Penman-Monteith, onde os resultados foram comparados para validação técnica com dados da estação meteorológica da FAO CLIMWAT 2.0 for CROPWAT (ET₀: $r^2 = 0,85$; AI: $r^2 = 0,90$) e com a Unidade de Pesquisa Climática: Série Temporal v 4.04 do Reino Unido (ET₀: $r^2 = 0,89$; AI: $r^2 = 0,83$), demonstrando diferenças significativas em relação a versão anterior do banco de dados. Desenvolvido utilizando a metodologia padrão aceita para estimativa da referência ET₀, o banco de dados e o código-fonte, fornecem uma ferramenta robusta para uma variedade de pesquisas científicas e aplicações em uma era de condições climáticas em rápida mudança (Zomer et al., 2022).

Num ambiente e clima globais em rápida mudança, estas métricas e os seus derivados índices, tornam-se uma medida direta e crítica, e uma ferramenta preditiva, da tendência, direção e magnitude de mudanças climáticas e seus impactos

na biosfera terrestre, com implicações para o crescimento das plantas, sustentabilidade desenvolvimento e, eventualmente, considerando as conclusões recentemente divulgadas dos últimos relatórios do IPCC para a civilização humana (Allan et al., 1998; Jensen & Allen, 2016; Zotarelli et al., 2018; Pandey et al., 2017; Valipour et al., 2020; ANWAR, 2021; IPCC, 2019; 2021).

O WorldClim® também já foi utilizado em outras aplicações como eco-hidrologia (Imbach et al., 2010), em climatologia (Moreno & Hasenauer, 2016), na avaliação de estoques de carbono e suas mudanças (Yigini & Panagos, 2016; Lugato et al., 2016) e para modelagem de erosão (Panagos et al., 2017; Ballabio et al., 2017).

Portanto, o objetivo deste trabalho é mapear as variáveis climáticas dos Estados da região Nordeste, Sudeste e Norte do Brasil utilizando modelagem espacial e geotecnologias.

2 Material e métodos

A área de estudo compreende a região Nordeste e os Estados de Minas Gerais, Maranhão e Amapá com diversidade de ambientes (Figura 1a), solos, vegetação e clima (Figura 1b).

De acordo com Alvares et al. (2013), o clima Af é identificado no Estado da Bahia, ao longo do litoral em uma faixa estreita nas Planícies Marinhas e Planaltos Costeiros; o clima Am apresenta-se na faixa litorânea do Nordeste; o clima Aw ocorre em uma ampla faixa de forte gradiente de umidade de oeste para leste, vindo do oeste dos Estados do Piauí e Bahia; o clima tropical, com chuvas de inverno (As) ocorre principalmente no Nordeste entre os climas Aw e BSh, na faixa que define o Agreste, região do Semiárido, entre os Estados do Rio Grande do Norte e da Bahia; o clima semiárido BSh é notadamente o clima típico do Nordeste, ocorrendo basicamente em paisagens onde a precipitação anual cai em média para menos de 800mm, é um clima sertanejo, na Paraíba se estende por todo o Planalto da Borborema, onde no vale do rio Paraíba a precipitação anual oscila em torno de 400mm, considerado um dos locais mais secos do Brasil; o Cwa é um clima típico do sudeste e observado no Estado de Minas Gerais; o Cwb ocorre no centro-sul de Minas Gerais e na Bahia, na região centro-sul onde as altitudes são superiores a 1.000 m como no Planalto de Diamantina em que a precipitação anual é inferior a 700mm, sendo, portanto, o local Cwb mais seco do Brasil, e em algumas paisagens de altitude do Planalto da Borborema (Pernambuco e Paraíba), nas encostas de altitude acima de 1.000 m, ocorre o clima mais setentrional do tipo Cwb no Brasil.

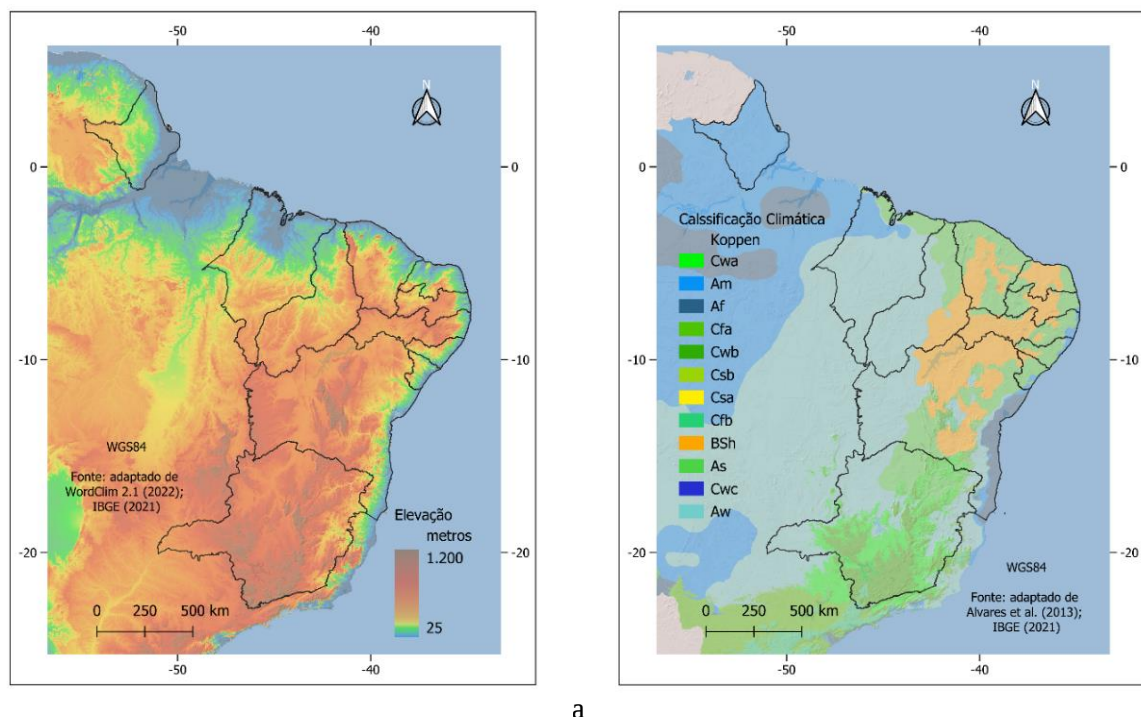


Figura 1. Elevação da área de estudo (a); Classificação climática de Köppen (b). Fonte: adaptado de WorldClim 2.1 (2022); Alvares et al. (2013); IBGE (2021).

Na realização deste trabalho foi utilizado a base digital da WordClim[®] v2.1 de dados entre 1970 a 2000 (Zomer et al., 2022) de alta resolução espacial de 30s de arco $\sim 1 \text{ km}^2$ e o Índice Global de Aridez e Banco de Dados de Evapotranspiração Potencial v.3. As variáveis climáticas avaliadas foram temperatura mínima média mensal ($^{\circ}\text{C}$), temperatura máxima média mensal ($^{\circ}\text{C}$), precipitação total mensal (mm), radiação solar ($\text{kJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), pressão de vapor de água (kPa), evapotranspiração de referência (ET_0), índice de aridez mensal e anual, todas adquiridas em formato *tif*.

Utilizando o QGIS[®] 3.36.1 foram importados os arquivos, recortados e classificados. Após, utilizando a calculadora *raster* foi gerado o mapa de temperatura média anual utilizando a temperatura mensal média. Após foi realizada a estatística zonal para todas as variáveis através do SAGA[®] 9.2.0 desenvolvido por Conrad et al. (2015).

Utilizando o RStudio[®] 2023 foram elaborados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk (1965), de aderência de Kolmogorov-Smirnov (1933; 1948), de Lilliefors (1967) e o de Anderson-Darling (1954). Para a tendência foi realizado o teste de Man Kendall não paramétrico (Mann, 1945;

Kendall, 1975). O coeficiente de correlação Pearson (1892), R , foi calculado entre os dados principais.

3 Resultados e discussão

Pelos resultados obtidos, pode-se observar pela Figura 2 que, os maiores valores médios e máximos de radiação solar ($\text{kJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) se localizam no Estado de Alagoas, já os valores mínimos, maior variabilidade e maior desvio padrão localizam-se em Minas Gerais, isto devido, a localização geográfica ocorrer mais ao sul, próximo ao Trópico de Capricórnio, com menor inclinação em relação ao Sol. Observa-se também que o Estado do Piauí apresenta o menor desvio padrão entre os demais. De maneira geral, a avaliação quantitativa e a variabilidade espacial da radiação solar incidente na superfície utiliza o conhecimento da dinâmica de localização do Sol, das características topográficas e dos processos de atenuação atmosférica (Buffo et al., 1972). Os ambientes tropicais caracterizam-se pela elevada incidência de radiação solar, insolação e temperatura. Quanto mais próximo do equador, mais crítica é a incidência, como é o caso das regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil (Bayer, 2004; Bley Jr., 1999).

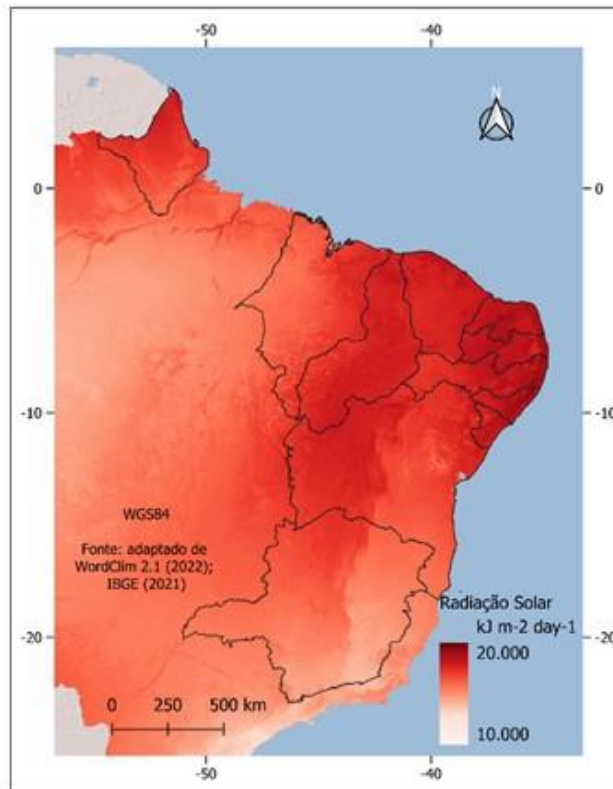


Figura 2. Radiação solar ($\text{kJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$). Fonte: adaptado de WordClim[®] 2.1 (2022); IBGE (2021).

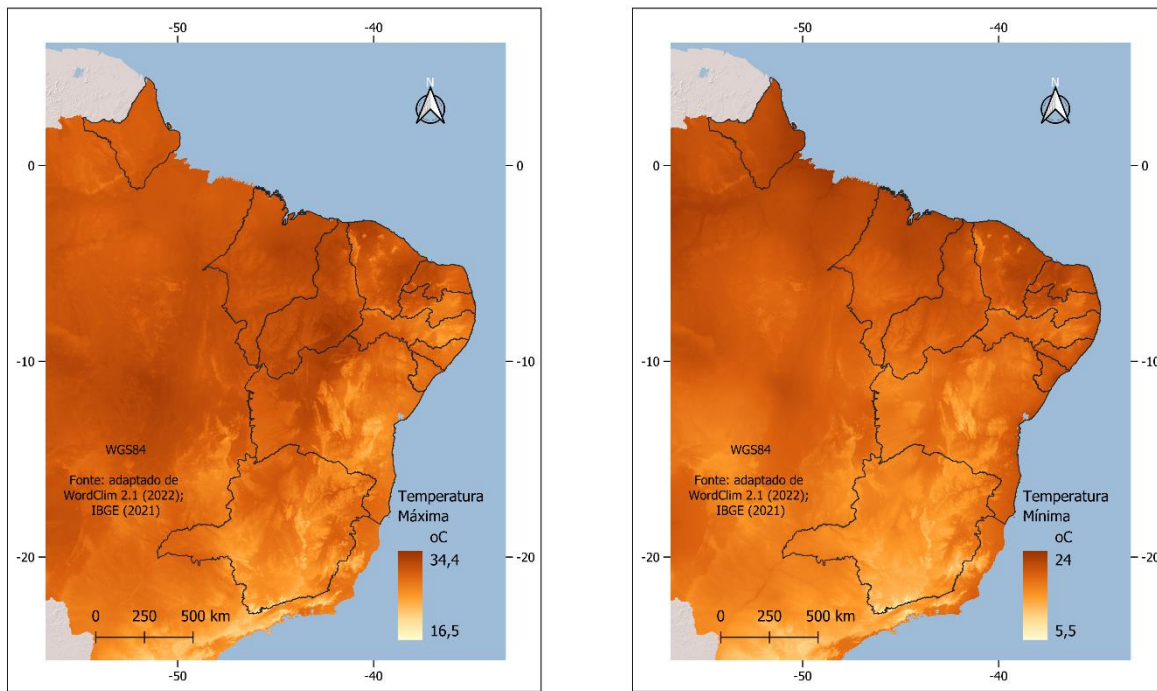
Tabela 1. Estatística descritiva da radiação solar

Estado	Radiação solar ($\text{kJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$)					
	Mediana	Média	Desv. P.	Mínimo	Máximo	Variabilidade
AL	18.476,3	18.510,4	535,8	16.938,6	20.117,5	287.078,3
BA	17.142,5	17.247,6	578,7	15.522,7	19.309,7	334.949,6
CE	17.797,8	17.743,8	279,5	15.704,8	19.810,3	78.107,1
MA	16.574,4	16.468,3	622,8	15.171,8	18.277,8	387.890,6
PB	18.373,6	18.364,8	323,7	17.205,9	19.623,6	104.780,1
PE	17.931,0	17.879,5	613,0	16.969,2	20.084,8	375.714,2
PI	17.693,9	17.750,6	265,9	16.098,0	19.255,8	70.715,7
RN	18.462,1	18.442,1	344,1	17.474,2	19.977,7	118.375,8
SE	18.102,0	18.176,0	422,2	16.604,8	19.086,2	178.227,6
AP	16.993,1	17.064,3	530,9	15.553,4	18.663,7	281.818,4
MG	15.717,6	15.717,3	778,6	13.916,1	17.587,9	606.182,4

Quanto a variável temperatura mínima, observa-se pela Figura 3a e Tabela 2 que, os maiores valores se apresentam no Estado de Pernambuco e valores mínimos em Minas Gerais. Os maiores e menores valores médios, desvio padrão e variabilidade apresentam-se no Amapá e Minas Gerais, respectivamente. Comportamento este esperado, devido a localização geográfica do continente brasileiro ser de clima tropical a sub tropical conforme a latitude.

A temperatura máxima (Figura 3b) pode-se verificar que, os valores máximos apresentam-se no Piauí e valores mínimos em Minas Gerais, com maiores desvio padrão e variabilidade na Bahia e menores valores em Minas Gerais. O Estado da

Bahia apresenta maior variabilidade devido sua extensão territorial ser maior em relação aos demais Estados, tanto em latitude como na longitude. Para a Paraíba, Francisco et al. (2017) e Medeiros et al. (2015), obtiveram média anual de $21,7^{\circ}\text{C}$, resultado similar a este estudo. Para o Ceará, Medeiros et al. (2011) observaram para Sobral, que a variabilidade da temperatura mínima entre as séries estudadas apresentou reduções em todos os meses do ano, com oscilações de $-0,1$ a $-0,8^{\circ}\text{C}$. Para Minas Gerais, Reboita et al. (2015) observaram que, no Estado a temperatura é influenciada tanto pela latitude quanto pela topografia, com a região sul apresentando médias anuais de cerca de 20°C , e o norte de 26°C .



a

b

Figura 3. Temperatura mínima (°C) (a); Temperatura máxima (°C) (b).
Fonte: adaptado de WordClim® 2.1 (2022); IBGE (2021).

Tabela 2. Estatística descritiva da temperatura mínima e máxima

Estado	Temperatura mínima (°C)						Temperatura máxima (°C)					
	Media na	Méd ia	Desv. P.	Míni mo	Máxi mo	Variabili dade	Media na	Méd ia	Desv. P.	Míni mo	Máxi mo	Variabili dade
AL	19,93	20,01	0,86	16,23	21,86	0,74	28,41	28,40	0,98	23,49	30,82	0,96
BA	17,67	17,75	1,51	10,26	22,25	2,28	29,08	29,07	2,10	21,23	33,85	4,42
CE	20,67	20,93	1,48	15,36	23,07	2,19	30,78	30,89	1,46	24,48	33,72	2,12
MA	20,54	20,64	1,37	15,88	23,29	1,87	31,46	31,45	0,66	28,95	33,67	0,44
PB	19,46	19,33	1,45	14,48	22,33	2,10	29,03	28,88	1,66	23,60	32,34	2,76
PE	18,41	18,44	1,04	14,53	24,19	1,08	28,48	28,42	1,74	23,02	32,16	3,04
PI	19,68	19,81	1,25	15,30	23,23	1,57	31,90	31,98	0,96	26,99	34,48	0,92
RN	21,28	21,49	1,01	17,43	23,11	1,02	30,73	30,82	1,19	26,37	33,03	1,43
SE	20,20	20,10	0,94	16,96	22,57	0,88	28,73	28,76	0,66	25,44	30,73	0,44
AP	21,69	21,63	0,79	19,11	23,98	0,62	30,30	30,24	0,45	28,11	31,67	0,20
MG	15,29	15,40	1,62	3,40	20,10	2,61	27,52	27,64	1,84	14,98	31,19	3,39

No mapa da precipitação total (Figura 4a), pode-se observar que, as menores precipitações ocorrem na região semiárida do Nordeste brasileiro. Na Tabela 3 verifica-se que, no Estado de Alagoas ocorre o maior desvio padrão e maior variabilidade dos resultados. Os maiores valores máximos e médios ocorrem no Amapá, e mínimos na Bahia. A menor variabilidade apresenta-se no Ceará. Medeiros et al. (2015) observaram tendências de reduções dos índices pluviométricos para a Paraíba, com oscilações das precipitações ao longo da série amostral com evidências a recorrência de valores máximos de precipitação anual dentro de um intervalo de 15, 12 e 7 anos.

Quanto a precipitação média (Figura 4b), verifica-se que, na Bahia ocorre os menores valores mínimos. No Estado do Amapá ocorre a maior média e os valores máximos. O maior desvio padrão e variabilidade ocorrem em Alagoas, e os menores valores no Ceará. A região do semiárido é

influenciada por sistemas atmosféricos de frentes frias vindas do sudeste brasileiro, variações sazonais da Zona de Convergência Intertropical (Mutti et al., 2020).

De acordo com Alvares et al. (2013), onde observaram em seu estudo que, a variabilidade espacial se apresenta semelhante ao mapa normal climatológico apresentado pelo INMET em que, a precipitação anual varia de 387 a 4.003mm, muito semelhante ao encontrado por este trabalho e em outros estudos (Golfarí et al., 1978; Nimer, 1989; Grimm, 2009; Marengo & Nobre, 2009; Alves, 2009; Nunes et al., 2009). Os autores também identificaram precipitações anuais inferiores a 700mm que ocorrem no Planalto da Borborema, Agreste da Paraíba, Vale do Rio São Francisco e norte da Bahia, regiões mais secas do país denominadas como Sertão, resultado similar a este estudo.

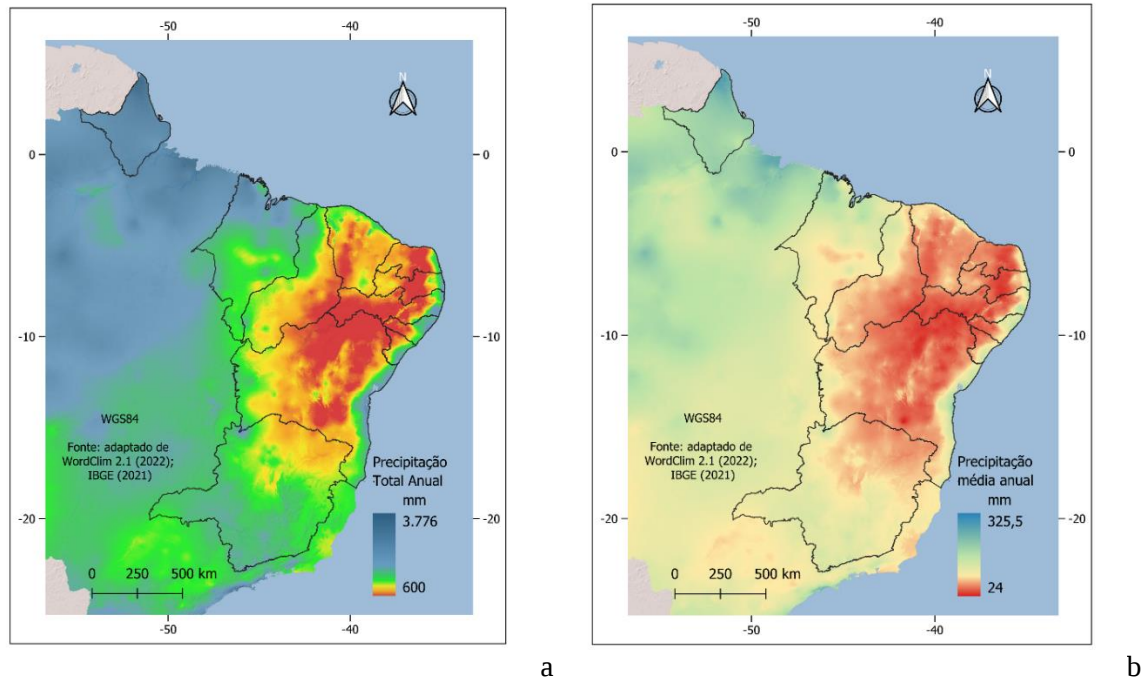


Figura 4. Precipitação Total (mm) (a); Precipitação média (mm) (b). Fonte: adaptado de WordClim® 2.1 (2022); IBGE (2021).

Tabela 3. Estatística descritiva da precipitação total e média

Estado	Precipitação Total (mm)						Precipitação média (mm)					
	Mediana	Média	Desv. P.	Mínimo	Máximo	Variabilidade	Mediana	Média	Desv. P.	Mínimo	Máximo	Variabilidade
AL	1.099,7	1.059,0	450,1	454,0	2.077,0	202.567,6	91,6	88,3	37,5	37,8	173,1	1.406,7
BA	877,0	812,0	317,1	289,0	2.444,0	100.558,9	73,1	67,7	26,4	24,1	203,7	698,3
CE	887,3	844,0	184,1	567,0	1.752,0	33.911,0	73,9	70,3	15,3	47,3	146,0	235,5
MA	1.511,3	1.450,0	328,8	952,0	2.993,0	108.137,9	125,9	120,8	27,4	79,3	249,4	751,0
PB	802,2	796,0	288,8	377,0	2.007,0	83.394,0	66,8	66,3	24,1	31,4	167,3	579,1
PE	745,3	646,0	322,5	366,0	2.142,0	104.027,9	62,1	53,8	26,9	30,5	178,5	722,4
PI	1.006,4	983,0	263,8	467,0	1.797,0	69.613,8	83,9	81,9	22,0	38,9	149,8	483,4
RN	762,3	745,0	212,4	433,0	1.606,0	45.102,2	63,5	62,1	17,7	36,1	133,8	313,2
SE	1.041,3	981,0	358,0	462,0	1.826,0	128.193,3	86,8	81,8	29,8	38,5	152,2	890,2
AP	2.467,1	2.404,0	245,3	1.940,0	3.535,0	60.192,8	205,6	200,3	20,4	161,7	294,6	418,0
MG	1.272,4	1.301,0	245,1	687,0	2.365,0	60.051,6	106,0	108,4	20,4	57,3	197,1	417,0

Oliveira et al. (2019), avaliando os dados de precipitação do Worldclim® para o Estado de Pernambuco concluíram que, apresentaram boa correspondência com as informações provenientes de estações pluviométricas em que a precipitação anual média obteve bons resultados para todos os critérios de análise aplicados. Em relação aos valores médios anuais, a base Worldclim® possibilitou a representação da distribuição espacial da precipitação estando de acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERNAMBUCO, 1998).

No que se refere à precipitação, comparando com outras bases correlatas como TRMM, CHIRPS e GPCC, a principal vantagem da base de dados WorldClim® está na resolução espacial das informações, cujos pixels possuem aproximadamente 1 km². Além disso, para trabalhos que precisam realizar a caracterização de precipitações médias de longo termo (normais climatológicas), o formato matricial dos dados permite uma representação das informações de forma distribuída, para qualquer lugar do planeta, fornecendo vantagens em relação aos dados pontuais de estações pluviométricas (Oliveira et al., 2019).

No Brasil, as análises dos padrões temporais e espaciais de precipitação, são muitas vezes limitadas pela baixa densidade da rede de

monitoramento meteorológico, além de serem influenciadas pela escala reduzida de observação dos fenômenos climáticos através do monitoramento in situ; estações meteorológicas em solo apresentam características pontuais, que expressam maior correlação com os fenômenos microclimáticos, uma vez que coletam informações da precipitação e temperatura somente para a área localizada no entorno do dispositivo (De Angelis, 2005).

Sobreiro et al. (2017), comparando os dados de precipitação na região montanhosa de Minas Gerais, divisa com a Bahia, observaram que, o WorldClim® apresentou forte correlação com os dados de 112 estações com coeficiente de determinação de regressão simples de $r^2 = 0,95$.

Pela Figura 5a e pela Tabela 4, verifica-se o comportamento da evapotranspiração na área de estudo, onde pode-se verificar que, em toda a região litorânea seus valores apresentam-se maiores e também na área central e região Amazônica, no caso o Estado do Amapá com as maiores médias e valores máximos, e apresentando a menor variabilidade entre os demais. O Estado do Ceará apresenta a maior variabilidade e o maior desvio padrão. Em Minas Gerais ocorrem os menores valores mínimos, menor média e mediana entre as demais.

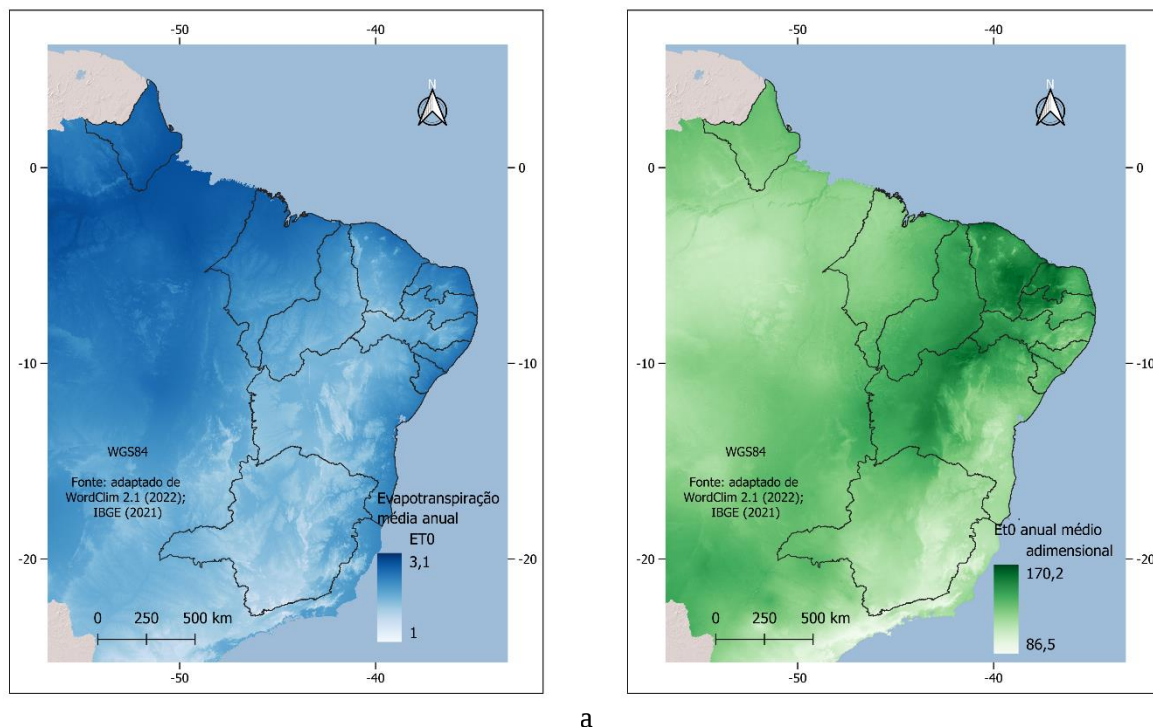


Figura 5. Evapotranspiração anual (a); Eto anual (b).
Fonte: adaptado de WordClim® 2.1 (2022); IBGE (2021).

A evapotranspiração potencial (ETP) é o fenômeno associado à perda simultânea de água do solo pela evaporação e da planta pela transpiração. A estimativa da ETP mostra a máxima perda de água possível ocorrer em uma comunidade vegetada. Ela significa a demanda máxima de água pela cultura e vem a tornar-se o referencial de

máxima reposição de água à cultura, seja pela irrigação ou pela precipitação pluviométrica de acordo com Barros et al. (2012). Para o Estado da Paraíba, Francisco et al. (2015) concluíram que, os índices evaporativos apresentam dependência da localização geográfica, sobretudo, da topografia local.

Tabela 4. Estatística descritiva da evapotranspiração e Eto

Estado	Evapotranspiração						Eto					
	Mediana	Média	Desv. P.	Mínimo	Máximo	Variabilidade	Mediana	Média	Desv. P.	Mínimo	Máximo	Variabilidade
AL	2,46	2,45	0,13	2,01	2,68	0,02	134,36	134,42	4,88	115,50	151,92	23,78
BA	2,06	2,02	0,20	1,35	2,63	0,04	136,23	139,17	12,77	103,25	165,92	163,00
CE	2,27	2,27	0,22	1,73	2,71	0,05	151,26	151,17	7,03	119,83	173,83	49,45
MA	2,51	2,51	0,17	1,99	2,82	0,03	128,99	128,67	6,08	117,08	153,67	36,99
PB	2,26	2,23	0,15	1,77	2,65	0,02	144,08	141,75	9,71	122,50	162,75	94,25
PE	2,11	2,08	0,18	1,73	2,76	0,03	140,45	140,08	8,93	115,08	162,08	79,76
PI	2,17	2,15	0,15	1,76	2,66	0,02	144,10	144,00	4,76	128,08	159,67	22,62
RN	2,47	2,48	0,13	2,03	2,70	0,02	151,05	154,33	8,80	129,17	174,25	77,40
SE	2,48	2,47	0,10	2,11	2,68	0,01	133,92	133,67	4,26	118,25	149,17	18,18
AP	2,76	2,77	0,09	2,40	2,91	0,01	128,87	129,58	3,55	116,58	140,42	12,61
MG	1,91	1,91	0,16	0,93	2,47	0,03	120,42	119,50	10,02	88,50	148,92	100,39

Pelos dados descritivos estatísticos da ETo (Tabela 4) e pela Figura 5b, verifica-se o comportamento inverso, apresentando valores máximos no Rio Grande do Norte e mínimos em Minas Gerais, onde a maior variabilidade ocorre na Bahia e menor variabilidade no Amapá. Para o ETo do Estado da Paraíba, Francisco et al. (2017) observaram que os resultados estavam de acordo com vários estudos realizados para a região semiárida do nordeste brasileiro.

Osejo et al. (2019), obtendo a estimativa de evapotranspiração da distribuição espacial da precipitação e evapotranspiração utilizando o WordClim® para a Colômbia concluíram que, os dados climáticos em grade espacial de alta resolução, como temperatura, energia solar radiação, velocidade do vento e pressão de vapor permitiram a obtenção de métodos mais reais.

Na Figura 6, representativa do índice de aridez pode-se observar que, os menores valores

mínimos situam-se na Bahia e maiores valores máximo no Amapá. Na região semiárida ocorre valores do índice entre 0,19 a 0,31. Nos Estados de Alagoas e Ceará ocorrem os menores e o maiores desvio padrão e variabilidade, respectivamente. A aridez é um forte indicador do grau de secura dos ambientes (Zarch et al., 2017). Para Minas Gerais, Reboita et al. (2015) encontraram resultados similares a este trabalho, comprovando eficácia do índice de aridez gerado pelo WordClim® para a região. Xavier et al. (2022) relatam que, as áreas com índices inferiores a 0,5 (semiárido), localizam-se no interior da região Nordeste (exceto Maranhão) e no norte de Minas Gerais. Todavia, os mapas destacam áreas no interior da região com índices superiores a 0,5 como é o caso da Chapada Diamantina e o Cariri. Resultados similares a este trabalho.

Beck et al. (2018) utilizaram um conjunto de dados climáticos para temperatura do ar e para precipitação do WorldClim® v1 e v2 para mapear a classificação global futura de Köppen-Geiger, onde obtiveram resultados excelentes de acurácia.

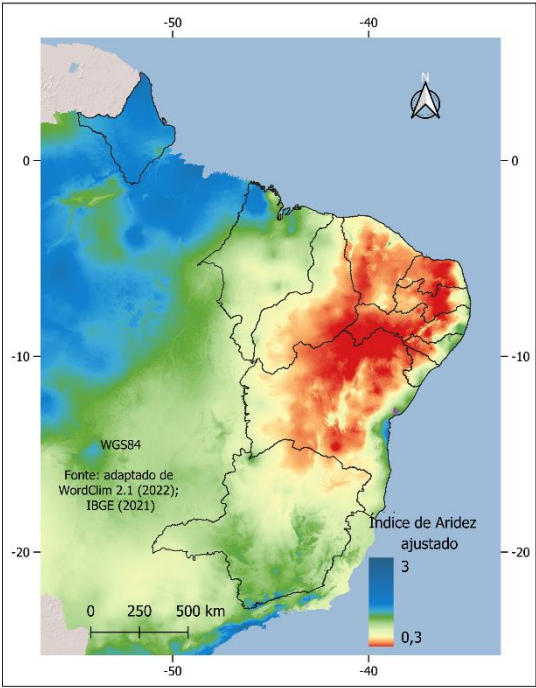


Figura 6. Índice de aridez. Fonte: adaptado de WordClim® 2.1 (2022); IBGE (2021).

Tabela 5. Estatística descritiva do índice de aridez

Estado	Índice de Aridez					
	Mediana	Média	Desv. P.	Mínimo	Máximo	Variabilidade
AL	0,69	0,66	0,30	0,25	1,33	0,09
BA	0,55	0,49	0,22	0,19	1,62	0,05
CE	0,49	0,46	0,11	0,31	1,19	0,01
MA	0,98	0,93	0,24	0,59	2,02	0,06
PB	0,46	0,45	0,16	0,23	1,15	0,03
PE	0,45	0,38	0,21	0,20	1,39	0,04
PI	0,58	0,57	0,16	0,25	1,08	0,03
RN	0,42	0,39	0,12	0,25	0,96	0,02
SE	0,65	0,62	0,22	0,26	1,16	0,05
AP	1,59	1,56	0,14	1,26	2,26	0,02
MG	0,89	0,90	0,21	0,42	2,20	0,04

Através dos boxplots das variáveis, pode-se observar o comportamento das mesmas em que, quanto a radiação solar (Figura 7a), verifica-se que o Estado do Amapá por estar localizado próximo a linha do Equador não ultrapassa 18.663,7 kJ m⁻²

day⁻¹, isto devido a maior precipitação total de 3.535mm e ocorrendo possivelmente a maior cobertura de nuvens e consequentemente a menor insolação e menor radiação solar.

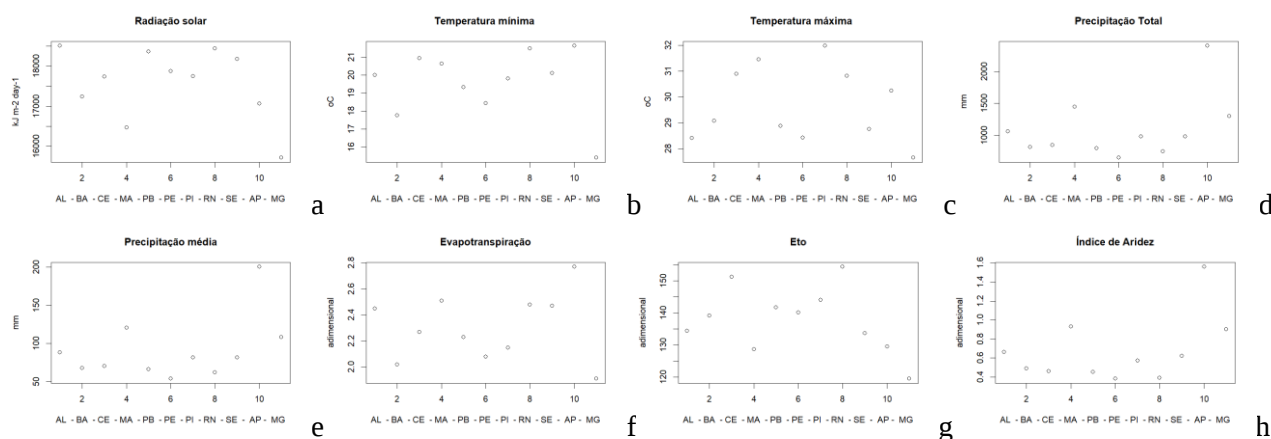


Figura 7. Boxplot do comportamento das variáveis.

Quanto a temperatura mínima (Figura 7b), Minas Gerais se diferencia dos demais Estados com maiores valores entre 16 e 22°C. A temperatura máxima (Figura 7c) segue o mesmo comportamento, com valores entre 27 a 32°C. No comportamento da precipitação total (Figura 7d) ocorrem maiores valores de chuvas em Minas Gerais, Maranhão e Amapá, respectivamente. Quanto a evapotranspiração (Figura 7f), no Amapá devido a maior precipitação ocorre a maior evaporação do solo e pelo maior porte da vegetação, a maior transpiração, resultando nos maiores valores, e menores em Minas Gerais devido a menor insolação. Na Figura 7h do comportamento do índice de aridez, os Estados do Maranhão, Amapá e Minas Gerais apresentam os melhores valores devido a ocorrência de maior precipitação nestas áreas.

A variação dos parâmetros estudados é devido aos principais sistemas responsáveis de influência climática na região Nordeste, a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT (Serra, 1941; Hastenrath & Heller, 1977), as Frentes Frias (Aragão, 1976; Kousky, 1979), os Distúrbios de Leste ou Ondas de Leste (Yamazaki & Rao, 1977)

e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (Aragão, 1976; Kousky & Gan, 1981).

Pela Tabela 6, dos testes de normalidade, tendência e aderência, verifica-se que o teste de Shapiro-Wilk demonstra que os dados são normalmente distribuídos. Para a pluviosidade o teste não apresenta normalmente distribuído. No teste de Kolmogorov-Smirnov com p -valor em sua maioria $< 2,2 \times 10^{-16}$ indica uma probabilidade extremamente pequena de se observar os dados, portanto, rejeita-se a hipótese nula. No entanto, para a variável índice de aridez o teste resultou p -valor de $4,89 \times 10^{-02}$ aceitando a hipótese nula. Já para o teste de Lilliefors que é baseado no teste de Kolmogorov-Smirnov, apresenta hipótese nula de que os dados provêm de uma população distribuída exponencialmente. No teste de Anderson-Darling verifica-se que a distribuição se ajusta e segue de uma população distribuída. Quanto ao teste Pearson os resultados demonstram uma correlação moderada nas variáveis radiação solar, temperatura mínima e Eto, seguida de correlação fraca nas demais variáveis. Quanto ao teste Mann-Kendall, verifica-se que o p -valor apresenta tendência significativa em todas as variáveis.

Tabela 6. Testes de normalidade, tendência e correlação

Variável/Teste	Shapiro-Wilk		Kolmogorov-Smirnov		Lilliefors		Anderson-Darling		Pearson		Mann-Kendall	
	W	p-valor	D	p-valor	D	p-valor	A	p-valor	P	p-valor	tau	p-valor
Radiação solar	0,902	0,200	1	$< 2,2 \times 10^{-16}$	0,210	0,188	0,420	0,265	1,545	0,671	-0,345	0,161
Temp. mínima	0,903	0,202	1	$< 2,2 \times 10^{-16}$	0,210	0,188	0,420	0,265	1,545	0,671	0,090	0,755
Temp. máxima	0,928	0,400	1	$< 2,2 \times 10^{-16}$	0,210	0,188	0,420	0,265	3,727	0,292	-0,090	0,755
Pluvios. total	0,769	0,003	1	$< 2,2 \times 10^{-16}$	0,210	0,188	0,420	0,265	9,181	0,026	0,127	0,640
Pluvios. média	0,769	0,003	1	$< 2,2 \times 10^{-16}$	0,210	0,188	0,420	0,265	9,181	0,026	0,127	0,640
Evapotransp.	0,965	0,835	0,971	$< 2,2 \times 10^{-16}$	0,210	0,188	0,420	0,265	4,818	0,185	0,054	0,876
Eto	0,982	0,979	1	$< 2,2 \times 10^{-16}$	0,210	0,188	0,420	0,265	1,545	0,671	-0,164	0,533
Índice de Aridez	0,790	0,007	0,648	$4,89 \times 10^{-02}$	0,210	0,188	0,420	0,265	10,273	0,016	0,127	0,640

Pelos dados estatísticos, observa-se pela Figura 8 que, as menores variações de amplitude se apresentam na precipitação total e média, como

também no índice de aridez. A maior amplitude ocorre na variável temperatura máxima.

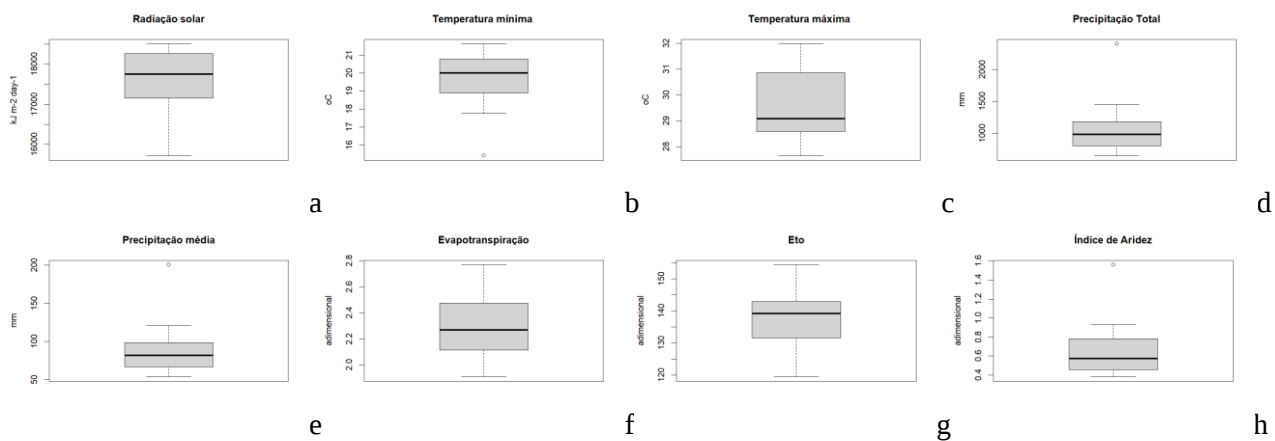


Figura 8. Boxplot das variáveis.

Observa-se que a distribuição (Figura 9) apresenta irregularidades nas variáveis precipitação total e média, e o índice de aridez que apresentam

relação entre si. Nas demais variáveis os quantis teórico e acumulado se apresentam de forma regular.

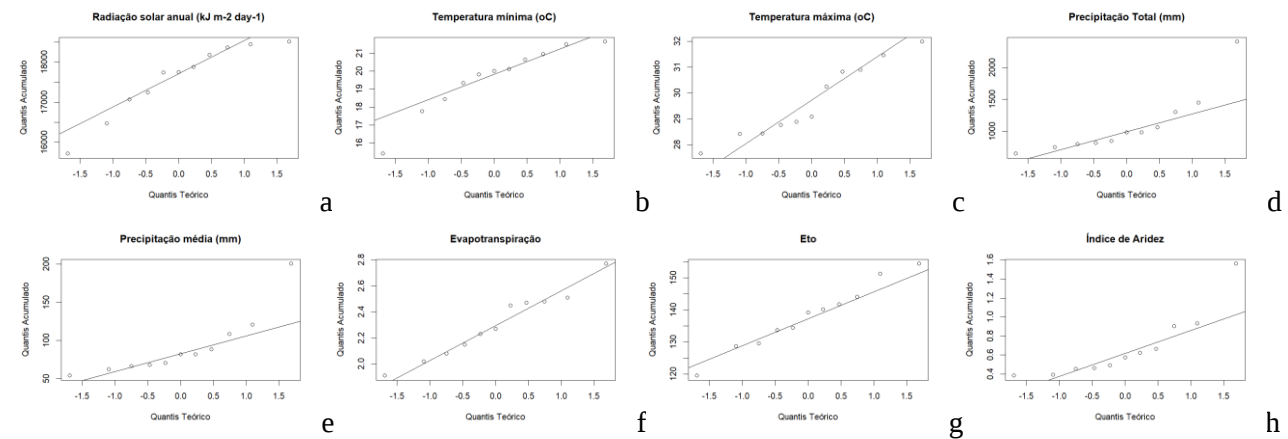


Figura 9. QQplot dos quantis das variáveis.

Quanto a correlação entre as principais variáveis, pode-se verificar que a variável precipitação e o índice de aridez apresenta valores de $R=0,99$, seguida das correlações entre

precipitação e evapotranspiração e Eto, as demais variáveis seguem com correlação menor.

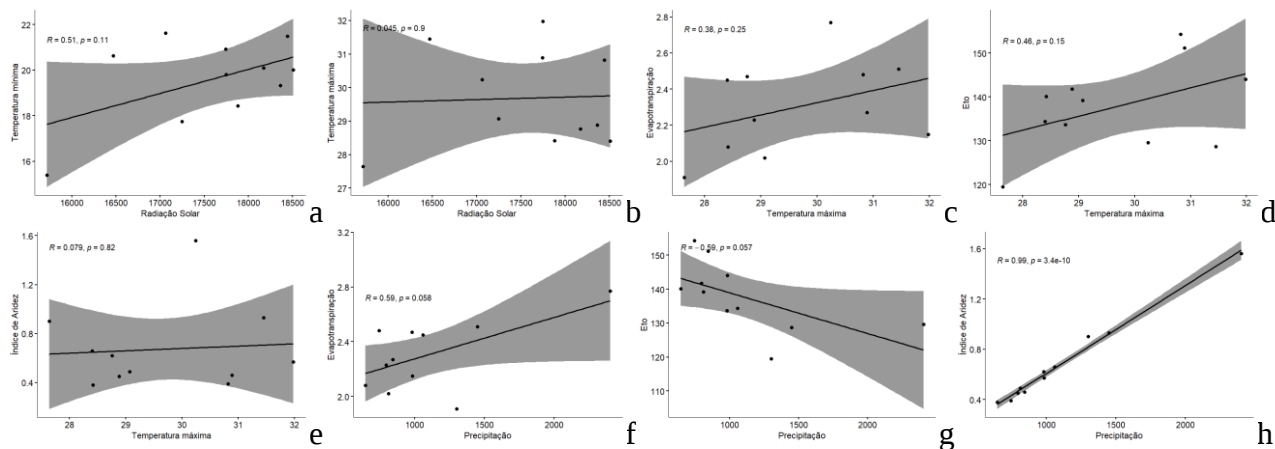


Figura 10. Correlação entre as principais variáveis.

Para o Estado de Pernambuco o coeficiente de correlação de Pearson calculado por Oliveira et

al. (2019) para a precipitação mensal e anual apresentou valores acima de 0,90. Para os Estados

da Bahia e Pernambuco, Lopes et al. (2018) obtiveram correlação entre a precipitação e o índice de aridez de 0,83.

Cabral Júnior e Bezerra (2018), analisando a evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil identificaram que o índice de aridez depende predominantemente da precipitação, corroborando com a correlação deste trabalho.

Lopes et al. (2018), concluíram que a elevação das temperaturas pode ser explicada pela série histórica, sendo o principal fator climático responsável pela redução do índice de aridez na região central do Semiárido brasileiro. Para o sertão pernambucano as altas temperaturas e baixos índices pluviométricos exerceram maiores relações com o índice de aridez. Em avaliação conjunta, a variação da temperatura explica o aumento das condições de aridez.

Conclusão

Pelos resultados obtidos neste trabalho observou-se que os dados do WordClim® v2.1 se apresentaram como uma ferramenta robusta na análise das variáveis climáticas.

Os maiores valores de radiação solar foram observados no Estado de Alagoas com maior variabilidade e maior desvio padrão em Minas Gerais.

A temperatura máxima apresentou maiores valores no Piauí e mínimos em Minas Gerais.

A menor precipitação total ocorreu na região semiárida e maior precipitação no Amapá.

A evapotranspiração apresentou maiores valores na região litorânea e na Amazônica, e menores valores em Minas Gerais. Quanto a Eto verificou-se comportamento inverso.

Os menores valores do índice de aridez ocorreram na região semiárida entre 0,19 a 0,31.

Os testes de normalidade das variáveis demonstraram que os dados são normalmente distribuídos.

Na correlação entre as principais variáveis, verificou-se que a precipitação e o índice de aridez apresentaram valores de $R=0,99$, seguida das correlações entre precipitação e evapotranspiração e Eto.

Referências

Allan, R.; Pereira, L.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. 2013.

Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift 22(6) 711-728.

Alves, L.M. Clima da Região Centro-oeste do Brasil. In: Cavalcanti, I.F.A.; Ferreira, N.J.; Silva, M.G.A.J.; Dias M.A.F.S. (Eds.). Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos, São Paulo, p.235-241, 2009.

Anderson, T.W.; Darling, D.A. 1954. A test of goodness of t. Journal of American Statistical Association 49 765-769.

Anwar, S.A.; Mamadou, O.; Diallo, I.; Sylla, M.B. 2021. On the influence of vegetation cover changes and vegetation-runoff systems on the simulated summer Potential Evapotranspiration of Tropical Africa using RegCM4. Earth Syst. Environ. 5 883-897.

Attorre, F.; Alfo, M.; De Sanctis, M.; Bruno, F. 2007. Comparison of interpolation methods for mapping climatic and bioclimatic variables at regional scale. International Journal Climatology 27(13) 1825-1843.

Azupura, M.; Dos Ramos, K. 2010. A comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. Prog. Electromagn. Res. 14 135-145.

Ballabio C.; Borrelli, P.; Spinoni, J.; Meusburger, K.; Michaelides, S.; Beguería, S.; Klik, A.; Petan, S.; Janeček, M.; Olsen, P.; Aalto, J.; Lakatos, M.; Rymaszewicz, A.; Dumitrescu, A.; Tadić, M.P.; Diodato, N.; Kostalova, J.; Rousseva, S.; Banasik, K.; Alewell, C.; Panagos, P. 2017. Mapping monthly rainfall erosivity in Europe. Science of the Total Environment 579 1298-1315.

Barros, A.H.C.; Araújo Filho, J.C. de; Silva, A.B. da; Santiago. G.A.C.F. 2012. Climatologia do Estado de Alagoas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n.211. Recife: Embrapa Solos. 32p.

Bayer, C. Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais. In: FERTBIO, 26, 2004, Lages. Anais...Lages, 2004.

Beck, H.E.; Zimmermann, N.E.; McVicar, T.R.; Vergopolan, N.; Berg, A.; Wood, E.F. 2018. Data Descriptor: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Scientific Data 5 e180214.

Bley Jr., C. 1999. Erosão Solar: riscos para a agricultura nos trópicos. Ciência Hoje 25 (148) 24-29.

Buffo, J.; Fritschen, L.J.; Murphy, J.L. 1972. Direct solar radiation on various slopes from 0 to 60 degrees north latitude. Portland: Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. 74p.

- Cabral Júnior, J.B.; Bezerra, B.G. 2018. Análises da evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil. *REGNE* 4(1) 71-89.
- Correia, M.F.; Silva, F.S.; Aragão, M.R.S.; Santos, E.P.; Moura, M.S.B. 2011. Impacto da expansão agrícola na amplitude térmica diária em ambiente semiárido. *Ciência e Natura* n. supl. 311-314.
- De Angelis, C.F. 2005. Análise dos sistemas precipitantes no Brasil a partir de dados processados em um integrador de informações adquiridas por pluviômetros, satélites, rede de relâmpagos e radares meteorológicos - PRECIBRA. Projeto de Pesquisa CPTEC-INPE.
- Fick, S.E.; Hijmans, R.J. 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12) 4302-4315.
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Matos, R.M. de; Bandeira, M.M.; Santos, D. 2015. Análise e mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez através do BHC para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(4) 1093-1108.
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Matos, R.M. de; Santos, D.; Sousa, T.P. de. 2015. Análise e mapeamento da evaporação para o Estado da Paraíba. *Agropecuária Científica no Semi-Árido* 11(2) 111-121.
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M.; Matos, R.M.; Bandeira, M.M.; Santos, D. 2016. Análise e mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez através do BHC para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(4) 1093-1108.
- GAIPE. Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration (ET0) Climate Database. Disponível em: https://figshare.com/articles/dataset/Global_Aridity_Index_and_Potential_Evapotranspiration_ET0_Climate_Database_v2/7504448/4. Acesso em: 5 de abril de 2024.
- Golfari, L.; Caser, R.L.; Moura, V.P.G. 1978. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil. *PRODEPEF* 11. 66p.
- Grimm, A.M. 2009. Clima do Sul do Brasil. In: Cavalcanti, I.F.A.; Ferreira, N.J.; Silva, M.G.A.J.; Dias M.A.F.S. (Eds.). *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos, São Paulo, p.259–275.
- Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones P.G.; Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25 1965-1978.
- Imbach, P.; Molina, L.; Locatelli, B.; Rouspard, O.; Ciaís, P.; Corrales, L.; Mahé, G. 2010. Climatology-based regional modelling of potential vegetation and average annual long-term runoff for Mesoamerica. *Hydrology and Earth System Sciences* 14 (10) 1801–1817.
- IPCC. 2019. Summary for Policymakers. In: *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*.
- IPCC. 2021. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Jensen, M.E.; Allen, R.G. 2016. *Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements: Task Committee on Revision of Manual 70*. American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Lilliefors, H.W. 1967. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association* 62(318) 399-402.
- Lopes, I.; Melo, J.M.M. de; Carvalho, A.A. de; Moura, G.B. de A.; Leal, B.G. 2018. Análise multivariada no estudo da variação do Índice de Aridez da Bahia e Pernambuco. *Agrometeoros* 26(1) 93-102.
- Lugato, E.; Paustian, K.; Panagos, P.; Jones, A.; Borrelli, P. 2016. Quantifying the erosion effect on current carbon budget of European agricultural soils at high spatial resolution. *Global Change Biology* 22(5) 1976-1984.
- Marchi, M.; Chiavetta, U.; Castaldi, C.; Ducci, F. 2017. Does complex always mean powerful? A comparison of eight methods for interpolation of climatic data in Mediterranean area. *Italian Journal Agrometeorology* 1 59-72.
- Marchi, M.; Sinjur, I.; Bozzano, M.; Westergren, M. 2019. Evaluating WorldClim Version 1 (1961–1990) as the Baseline for Sustainable Use of Forest and Environmental Resources in a Changing Climate. *Sustainability* 11(11) e3043.
- Marengo, J.A.; Chou, S.C.; Kay, G.; Alves, L. M.; Pesquero, J.F.; Soares, W.R.; Santos, D.C.; Lyra, A.A.; Sueiro, G.; Betts, R.; Chagas, D.J.; Gomes, J.L.; Bustamante, J.F.; Tavares, P. 2012. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta Cptec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. *Climate Dynamics* 38 1829-1848.

- Marengo, J.A.; Nobre, C.A. Clima da Região Amazônica. In: Cavalcanti, I.F.A.; Ferreira, N.J.; Silva, M.G.A.J.; Dias M.A.F.S. 2009. Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos, São Paulo, p.197–212.
- Mbogga, M.S.; Hamann, A.; Wang, T. 2009. Historical and projected climate data for natural resource management in western Canada. *Agric. For. Meteorol.* 149 881-890.
- Medeiros, R.M. de; Francisco, P.R.M.; Matos, R.M. de; Santos, D.; Saboya, L.M.F. 2015. Diagnósticos das flutuações pluviométricas no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(4) 1017-1027.
- Medeiros, R.M. de; Francisco, P.R.M.; Santos, D.; Silva, L.L. da; Bandeira, M.M. 2015. Variabilidade da Temperatura Média do Ar no Estado da Paraíba-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(1) 128-135.
- Medeiros, R.M. de; Francisco, P.R.M.; Tavares, A. L. 2011. Classificação e análises das indicações de mudanças climáticas no município de Sobral – Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física* 5 1056-1067.
- Moreno, A.; Hasenauer, H. 2016. Spatial downscaling of European climate data. *International Journal of Climatology* 36(3) 444-1458.
- Mosier, T.M.; Hill, D.F.; Sharp, K.V. 2018. Update to the Global Climate Data package: analysis of empirical bias correction methods in the context of producing very high resolution climate projections. *International Journal of Climatology* 38(2) 825-840.
- Mutti, P.R.; Abreu, L.P.; Andrade, L.M.B.; Spyrides, M.H.C.; Lima, K.C.; Oliveira, C.P. de; Bezerra, B.G. 2020. A detailed framework for the characterization of rainfall climatology in semi-arid watersheds. *Theoretical and Applied Climatology* 139(1-2) 109-125.
- Nimer, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. 421p.
- Nogueira, V.F.B.; Correia, M.F.; Nogueira, V.S. 2012. Impacto do plantio de soja e do Oceano Pacífico Equatorial na precipitação e temperatura na cidade de Chapadinha-MA. *Revista Brasileira de Geografia Física* 5 708-724.
- Nunes, L.H.; Vicente, A.K.; Candido, D.H. 2009. Clima da Região Sudeste do Brasil. In: Cavalcanti, I.F.A.; Ferreira, N.J.; Silva, M.G.A.J.; Dias, M.A.F.S. (Eds.). *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos, São Paulo, p.197–212.
- Oliveira, G.A. de; Batista, L.F.D.R.; Cirilo, J.A.; Ribeiro Neto, A.; Montenegro, S.M.G.L. 2019. Validação de dados matriciais do projeto WORLDCLIM para caracterização de precipitações no Estado de Pernambuco, Brasil. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 23, 2019, Foz do Iguaçu. *Anais...Foz do Iguaçu*.
- Oliveira, R.C.S.; Medeiros, R.M. de; Costa Neto, F. de A.; Gomes Filho, M.F. 2014. Estudo das oscilações da temperatura máxima do ar e precipitação em Lagoa Seca-PB visando mudanças climáticas. In: *Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e Workshop Internacional sobre Mudanças Climáticas e Biodiversidade*, 6, 2014, Recife. *Anais...Recife*.
- Osejo, B.B.; Vargas, T.B.; Martinez, J.A. 2019. Spatial distribution of precipitation and evapotranspiration estimates from Worldclim and Chelsa datasets: improving long-term water balance at the watershed-scale in the Urabá region of Colombia. *Int. J. Sus. Dev. Plann.* 14(2) 105–117.
- Panagos, P.; Ballabio, C.; Meusburger, K.; Spinon, J.; Alewell, C.; Borrelli, P. 2017. Towards estimates of future rainfall erosivity in Europe based on {REDES} and WorldClim datasets. *Journal of Hydrology* 548 251-262.
- Pandey, P.K.; Nyori, T.; Pandey, V. 2017. Estimation of reference evapotranspiration using data driven techniques under limited data conditions. *Model Earth Syst. Environ.* 3 1449–1461.
- PERNAMBUCO. 1998. *Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH/PE*. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Governo do Estado de Pernambuco. Recife.
- Reboita, M.S.; Rodrigues, M.; Silva, L.F.; Alves, M.A. 2015. Aspectos climáticos do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia* 11(17) 206-226.
- Sobreiro, J.F.F.; Streher, A.S.; Silva, T.S.F. 2017. Análise comparativa de produtos geoespaciais para monitoramento de precipitação em uma região montanhosa tropical. In: *Congresso Nacional de Geografia Física*, 1, 2017, Campinas. *Anais...Campinas*.
- Souza, W.G. de; Ribeiro, A.; Amorim, R.C.F.; Souza, M.J.H. de; Ribeiro, C.A.A.S.; Facco, A.G. 2004. Geoespacialização da evapotranspiração potencial e real para a bacia do rio Doce – Minas Gerais. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 13, 2004, Fortaleza. *Anais...Fortaleza*.
- Trabucco, A.; Zomer, R.J. 2019. Global Aridity Index and Potential Evapo-Transpiration (ET0) Climate Database v2. Disponível em: <https://classes.engr.oregonstate.edu/cce/spring2019/ce202/Data/global->

- ai_et0/ai_et0/Global%20AI_PET%20v2%20-%20Readme.pdf. Acesso em: 5 de abril de 2024.
- Valipour, M.; Bateni, S.M.; Sefidkouhi, M.A. G.; Raeini-Sarjaz, M.; Singh, V.P. 2020. Complexity of forces driving trend of reference evapotranspiration and signals of climate change. *Atmosphere-Basel* 11 1081.
- Varejão-Silva, M.A. 2006. *Meteorologia e Climatologia*. Recife: INMET.
- Viana, P.C. 2010. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas com base em um modelo digital de elevação para o Estado do Ceará. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Graduação em Tecnologia em Irrigação e Drenagem. Instituto Federal de Educação e Ciência Tecnologia. Campus Iguatu.
- Von Storch, H. 1995. Inconsistencies at the interface of climate impact studies and global climate research. *Meteorologische Zeitschrift* 4 72–80.
- WORDCLIM. Historical climate data. Disponível em: <https://worldclim.org/data/worldclim21.html>. Acesso em: 5 de abril de 2024.
- Xavier, A.C.; Scanlon, B.R.; King, C.W.; Alves, A.I. 2022. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). *International Journal of Climatology* 1–15.
- Yigini, Y.; Panagos, P. 2016. Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and land cover changes in Europe. *Science of The Total Environment* 557–558 838–850.
- Zarch, M.A.A.; Sivakumar, B.; Malekinezhad, H.; Sharma, A. 2017. Future aridity under conditions of global climate change. *Journal of Hydrology* 554 451–469.
- Zomer, R.J.; Xu, J.; Trabucco, A. 2022. Version 3 of the Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database. *Scientific Data* 9 e409.
- Zotarelli, L.; Dukes, M.D.; Romero, C.C.; Migliaccio, K.W.; Morgan, K.T. 2018. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). University of Florida. IFAS Extension.