



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE GURUPI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

EDUARDO CÔRTEZ RIBEIRO FERREIRA

**ANÁLISE TEMPORAL DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E
CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE PARA IMPERATRIZ - MA**

Gurupi, TO

2021

EDUARDO CÔRTEZ RIBEIRO FERREIRA

**ANÁLISE TEMPORAL DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E
CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE PARA IMPERATRIZ - MA**

Monografia apresentada à Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Gurupi para obtenção do título de bacharel em Engenharia Florestal.
Orientador: Prof. Dr. José de Oliveira Melo Neto.

Gurupi-TO

2021

<https://sistemas.uft.edu.br/ficha/>

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- F383a Ferreira, Eduardo Côrtes Ribeiro Ferreira.
ANÁLISE TEMPORAL DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THÓRTHWAITE PARA IMPERATRIZ - MA. / Eduardo Côrtes Ribeiro Ferreira Ferreira. – Gurupi, TO, 2021.
25 f.
Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Engenharia Florestal, 2021.
Orientador: José De Oliveira Melo Neto.
1. Evapotranspiração. 2. Clima. 3. Déficit hídrico. 4. Excedente hídrico. I. Título

CDD 577.272

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

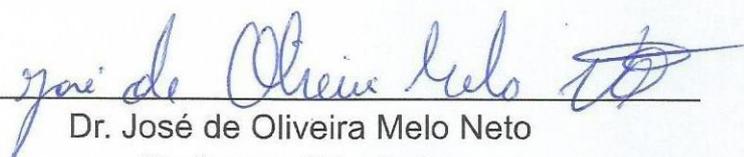
EDUARDO CÔRTEZ RIBEIRO FERREIRA

ANÁLISE TEMPORAL DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E
CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORTHWAITE PARA IMPERATRIZ - MA

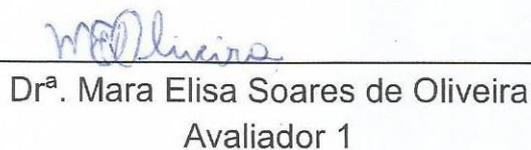
Monografia apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi, Curso de Engenharia Florestal foi avaliada para obtenção do título de Engenheiro Florestal e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 19/04/2021

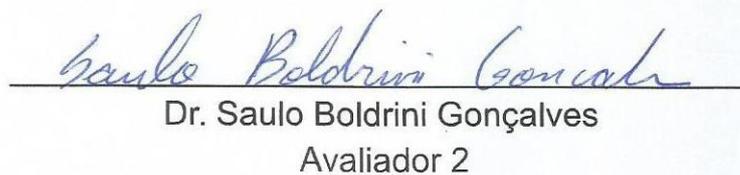
Banca Examinadora



Dr. José de Oliveira Melo Neto
Professor Orientador



Dr^a. Mara Elisa Soares de Oliveira
Avaliador 1



Dr. Saulo Boldrini Gonçalves
Avaliador 2

Dedico esse trabalho a minha mãe dona Célia Côrtes Gonçalves, a minha vó Rita Côrtes Riberio, essas mulheres que foram minha base durante todo esse período de graduação, dedico também este trabalho a todo o município de Imperatriz – Maranhão, cidade que fez parte da minha infância, e em especial a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Imperatriz para que faça bom uso deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Quando o SENHOR trouxe do cativo os que voltaram a Sião, estávamos como os que sonham.

Então a nossa boca se encheu de riso e a nossa língua de cântico; então se dizia entre os gentios: Grandes coisas fez o Senhor a estes.

Grandes coisas fez o Senhor por nós, pelas quais estamos alegres.

Traze-nos outra vez, ó Senhor, do cativo, como as correntes das águas no sul.

Os que semeiam em lágrimas segarão com alegria.

Aquele que leva a preciosa semente, andando e chorando, voltará, sem dúvida, com alegria, trazendo consigo os seus molhos.

Salmos 126:1-6.

Com este salmo que marca a minha história sou grato a Deus por, até aqui, ter me ajudado. Foram 5 longos anos, e o ano de 2021 com essa pandemia atrasou muitas coisas, porém, chegamos aqui na reta final. Agradeço a minha Mãe, dona Célia Côrtes, juntamente com seu Jaquilândio Gonçalves, meu padrasto, que foram aqueles que me deram forças todo esse tempo para nunca desistir deste curso, às orações da minha avó, dona Rita Côrtes, e a Tia Cristina Guida, que pagou 1 ano do meu aluguel na época mais difícil da minha graduação. Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Florestal do campus de Gurupi, em especial ao meu Orientador, Prof. Dr. José de Oliveira Melo Neto, pela paciência comigo ao longo de todo esse tempo, sendo meu mentor e amigo. Obrigado Professora Mara Elisa e Professor Saulo Boldrini, pelas contribuições no meu TCC, e pelo apoio e palavras de incentivo na avaliação do TCC. A minha colega de trabalho Ana Gabriela que me auxiliou durante esse período de escrita do TCC, ao meu amigo Luís Júnior que estava assistindo a apresentação e sempre me deu apoio nessa jornada, ao meu amigo que fiz nessa universidade Eduardo Lourenço, em nome dele, a todos os colegas que tive nessa instituição, em nome do Raimundo Nonato da Secretaria acadêmica, eu deixo meus agradecimentos a todos os servidores da UFT. Quero agradecer a Carla Leal e a Andressa Bruna por me receberem, juntamente, com minha mãe na época de matrícula, sou imensamente grato pelo apoio.

RESUMO

Tomou-se como objetivo neste trabalho a análise temporal da aplicação do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Matter e a aplicação do procedimento de classificação climática proposto por Thornthwaite para o município de Imperatriz – MA. Foram utilizados dados da estação climatológica do município de Imperatriz compreendendo dados diários de precipitação pluvial e temperatura média compensada no período entre 01/01/1961 a 31/12/2020. Os dados foram organizados em termos de normais climatológicas com a finalidade de representar dois períodos distintos: 1961 a 1990 e 1991 a 2020. Para a análise do balanço hídrico, adotou-se o modelo proposto por Thornthwaite e Matter e posterior aplicação dos procedimentos vinculados ao sistema de classificação climática de Thornthwaite. Foi observado um aumento no total precipitado entre os períodos analisados de 54,9 mm (3,81 %) e um aumento da temperatura média compensada em 1,2 °C (4,55 %) no mesmo período. Houve um aumento na ETP anual no período entre 1991 e 2020 quando comparado ao período anterior (1961-1990), corroborando um acréscimo de 37,0 % no déficit hídrico em relação ao período anterior e uma redução de 9,8 % do excedente hídrico em relação ao mesmo período. O produto da classificação climática pelo método de Thornthwaite foi semelhante, enquadrando ambos os períodos como clima sub-úmido seco (C_1), megatérmico (A') e com baixa concentração da ETP no verão (a'). A divergência ocorreu em relação a adequação sazonal da umidade onde no período de 1961 a 1990 foi classificado como w_2 (grande excesso de umidade no verão) e no período de 1991 a 2020 foi classificado como w (moderado excesso de umidade no verão). Este fato indica uma mudança no padrão da distribuição da precipitação pluvial ao longo do tempo.

Palavras-chave: Evapotranspiração. Clima. Déficit hídrico. Excedente hídrico.

ABSTRACT

The objective of this work was the temporal analysis of the application of the climatological water balance proposed by Thornthwaite and Matter and the application of the climate classification procedure proposed by Thornthwaite for the municipality of Imperatriz - MA. Data from the climatological station in the municipality of Imperatriz were used, comprising daily data on rainfall and compensated average temperature in the period between 01/01/1961 to 12/31/2020. The data were organized in terms of climatological normals with the purpose of representing two distinct periods: 1961 to 1990 and 1991 to 2020. For the analysis of the water balance, the model proposed by Thornthwaite and Matter was adopted and subsequent application of the procedures linked to the Thornthwaite climate classification system. It was observed an increase in the total precipitate between the analyzed periods of 54.9 mm (3.81%) and an increase in the average temperature compensated by 1.2 °C (4.55%) in the same period. There was an increase in the annual ETP in the period between 1991 and 2020 when compared to the previous period (1961-1990), corroborating an increase of 37.0% in the water deficit in relation to the previous period and a reduction of 9.8% in the water surplus over the same period. The product of the climatic classification by the Thornthwaite method was similar, framing both periods as dry sub-humid climate (C_1), megathermic (A') and with low concentration of ETP in the summer (a'). The divergence occurred in relation to the seasonal adequacy of humidity where in the period from 1961 to 1990 it was classified as w_2 (great excess of humidity in the summer) and in the period from 1991 to 2020 it was classified as w (moderate excess of humidity in the summer). This fact indicates a change in the pattern of rainfall distribution over time.

Keywords: Evapotranspiration. Climate. Water deficit. Water surplus.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização geográfica do município de Imperatriz no estado do Maranhão.....	15
Figura 2- Distribuição da precipitação pluvial em termos médios mensais para Imperatriz/MA.....	18
Figura 3- Distribuição da temperatura média compensada mensal para Imperatriz/MA.....	19
Figura 4- Relação entre ETP e ETR para Imperatriz/MA no período entre 1961 e 1990.....	20
Figura 5- Extrato do BHC para o município de Imperatriz/MA, no período de 1961 a 1990.....	21
Figura 6- Relação entre ETP e ETR para Imperatriz/MA no período entre 1991 e 2020.....	22
Figura 7- Extrato do BHC para o município de Imperatriz/MA, no período de 1991 a 2020.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de correção da ETP em função da latitude para Imperatriz/MA.	16
Tabela 2 - Balanço Hídrico Climatológico Normal para o município de Imperatriz – Ma, durante o período de 1961 – 1990.....	19
Tabela 3 - Balanço Hídrico Climatológico Normal para o município de Imperatriz – Ma, durante o período de 1991 – 2020.....	21
Tabela 4 - Índices vinculados ao sistema de classificação climática de Thornthwaite.....	23
Tabela 5 - Classificação climática segundo Thornthwaite.....	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARM	Armazenamento do mês
ALT	Alteração
BHC	Balanço Hídrico Climatológico.
BHC-T	Balanço Hídrico Climatológico Thornthwaite
CAD	Capacidade de Água Disponível.
COR	Correção
DEF	Déficit Hídrico.
ET	Eficiência térmica
ETP	Evapotranspiração Potencial.
<i>ETP_p</i>	Evapotranspiração Potencial Padrão
ETR	Evapotranspiração Real.
ET _v	Evapotranspiração Potencial Acumulada no Verão
EXC	Excedente Hídrico.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia.
mm	Milímetro
NegAc	Negativo Acumulado do mês
P	Precipitação
R	Reposição
SCC	Sistema de Classificação Climática
T	Temperatura
UFT	Universidade Federal do Tocantins

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO	14
3	METODOLOGIA.....	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
5	CONCLUSÕES.....	25
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1 INTRODUÇÃO

A compreensão do clima e seu comportamento dinâmico são imprescindíveis para o estabelecimento e desenvolvimento de diversas atividades antrópicas. Esta dinâmica climática é alterada devido às modificações, principalmente, no balanço de energia no planeta.

O clima representa, segundo Vianello e Alves (2012), a integração das condições meteorológicas em um dado período de tempo e determinada localização geográfica. Já a condição meteorológica corresponde a um estado instantâneo da atmosfera estando em constante modificação ao longo do dia. Torna-se relevante avaliar os efeitos sazonais dos elementos meteorológicos no clima e possíveis tendências de modificação deste.

O clima, considerado em diferentes escalas, é o fator mais importante de variação da vegetação e é influenciado, em grande parte, pelo balanço da radiação solar. Os efeitos da radiação solar sobre condições de temperatura, luminosidade e disponibilidade hídrica afeta diretamente os vegetais (PILLAR, 1995).

Entender o comportamento do clima é fundamental para o planejamento urbano, pois permite tomar decisões mais específicas em relação a diversos fatores, como a projeção de redes de esgotamento pluviais, épocas de estiagem e período chuvoso.

Com o aumento da demanda por água, em conjunto com a limitação dos recursos hídricos, devido à existência de conflitos entre alguns usos e prejuízos causados pelo excesso ou escassez, exigisse cada vez mais, o planejamento racional e otimizado para aumento da eficiência do uso da água. O conhecimento da distribuição espacial e temporal da disponibilidade hídrica permite estabelecer diretrizes para a implementação de políticas públicas e ambientais para a gestão deste recurso (HORIKOSHI; FISCH, 2007). Groisman et al. (2005) relataram tendências positivas de aumentos sistemáticos e de eventos extremos de chuva na região subtropical, no Sul e Nordeste do Brasil.

O balanço hídrico climatológico (BHC) consiste na análise dos componentes do ciclo hidrológico, fundamental para compreender condições climáticas, comportamento e o consumo de água pelas plantas, e recargas subterrâneas (ÁVILA, 2011).

Segundo MATOS et al. (2015) a elaboração do balanço hídrico climatológico para uma região é de suma importância no planejamento das formas de manejo do solo e da água. O BHC é adotado para quantificar a disponibilidade hídrica, pois permite revelar as variações sazonais em relação ao excedente e déficit hídrico local, a partir da relação entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração (OLIVEIRA, 2019).

De maneira geral, a utilização dos dados de precipitação e evapotranspiração, aliados a temperatura do ar, podem ser consideradas como os principais elementos do clima, pois indicam os níveis energéticos, bem como a disponibilidade hídrica de uma região de interesse (ROLIM, et al., 2007).

As classificações climáticas se baseiam na delimitação e descrição de diferentes parâmetros climáticos, tendo como intuito final sistematizar, sintetizar, simplificar, condensar e comunicar a grande quantidade de informações referentes às características do clima de dada localidade, denominada de região ou de domínio climático. Contudo, ressalta-se que não é possível delimitar espacialmente com exatidão os limites climáticos, pois o que se verifica é uma transição gradual de um tipo climático para outro (NASCIMENTO et al., 2016).

O sistema de classificação climática (SCC) é de grande importância, pois, permite a analisa e define o clima em diferentes regiões, levando em consideração vários elementos climáticos ao mesmo tempo, facilitando a troca de informações e análises posteriores para diferentes objetivos.

Nesse aspecto, o sistema de classificação climática desenvolvido por Thornthwaite (1948) é universalmente utilizado, sendo baseado nas características térmicas e na distribuição sazonal da precipitação. Segundo Ayoade (2010), a classificação climática é de fundamental importância para estudos de ecologia, agricultura e gestão de recursos hídricos.

Diversos trabalhos já foram desenvolvidos para definição das classificações climáticas no território brasileiro, principalmente a de Thornthwaite e Mather (1955), mas em função da grande extensão territorial do país, e a diferença dos biomas de cada região, algumas diferenças espaciais são omitidas. É importante que as mesmas sejam aplicadas para regiões geográficas de menor extensão como um estado, cidade ou uma grande bacia hidrográfica (KUNCHTNER; BURIOL, 2001),

Diversos modelos podem ser utilizados para calcular o BHC, porém o método desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) é amplamente utilizado por ser um método prático devido a sua baixa exigência de dados de entrada e a obtenção de estimativas coerentes dos parâmetros do balanço, além de possibilitar o monitoramento do armazenamento da água no solo, com a utilização de médias mensais de dados de temperatura e precipitação pluvial (DOURADO-NETO, 2010).

O conhecimento das características climáticas da cidade de Imperatriz se faz necessário devido ao pouco estudo da temática e pela necessidade de geração de informações que subsidiem as atividades agropecuárias e antrópicas na região.

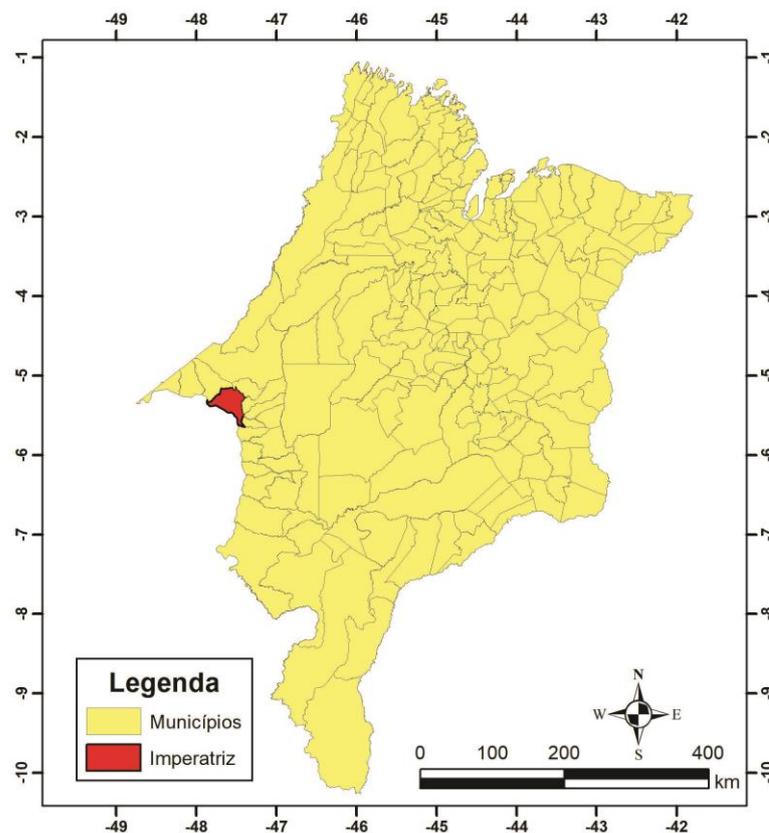
2 OBJETIVO

Tomou-se como objetivo neste trabalho a análise temporal da aplicação do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Matter e a aplicação do procedimento de classificação climática proposto por Thornthwaite para o município de Imperatriz – MA.

3 METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado para o município de Imperatriz, localizado na região sudoeste do estado do Maranhão. O município possui uma área 1.369,039 km², população estimada em 259.337 pessoas e localizada a 639 km da capital: São Luís (IBGE, 2020). Os biomas originais do município são a Floresta Amazônica e o Cerrado. Na Figura 1 é apresentada a localização geográfica do município de Imperatriz no estado do Maranhão.

Figura 1: Localização geográfica do município de Imperatriz no estado do Maranhão.



Fonte: IBGE (2021).

Para realização do trabalho foram utilizados dados oriundos do banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (INMET, 2021). O posto de origem dos dados é a estação meteorológica do município de Imperatriz/MA localizada nas coordenadas geográficas 5,53 ° Sul e 47,47 ° Oeste e altitude de 126,33 metros.

Foram utilizados dados de precipitação pluvial e temperatura média compensada, ambos na escala diária. Os dados foram separados em dois conjuntos com 30 anos de observações cada, onde o primeiro conjunto representou o período entre os anos de 1961 e

1990 e o segundo conjunto representou o período entre os anos de 1991 e 2020. Os dados foram trabalhados em termos de médias mensais para os períodos analisados representando normais climatológicas para aplicação dos procedimentos de cálculo objeto deste estudo.

Para aplicação do balanço hídrico climatológico para cada um dos períodos proposto por Thornthwaite e Matter faz-se necessário definir o armazenamento máximo de água no solo representado pela sua capacidade de água disponível – CAD. Na ausência de parâmetros físico-hídricos do solo adota-se o valor de 100 mm para a CAD do solo (THORNTWAITE; MATTER, 1955).

A evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada pelo método proposto por Thornthwaite (1948) conforme Equação 1.

$$ETP = 16 \times \left(\frac{10T}{I}\right)^a \times Cor \quad (1)$$

Em que T representa a temperatura média do mês i em °C, I representa o índice calorífico anual (Equação 2), a corresponde ao índice térmico regional (Equação 3) e Cor trata da correção do método que estima a ETP para um mês com 30 dias e insolação de 12 horas diárias em função da latitude.

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{T'_j}{5}\right)^{1,514} \quad (2)$$

Onde T'_j representa a temperatura normal do mês j .

$$a = (6,75 \times 10^{-7} \times I^3) - (7,71 \times 10^{-5} \times I^2) + (1,7912 \times 10^{-2} \times I) + 0,49239 \quad (3)$$

A ETP foi corrigida em função da latitude do posto de observação no município de Imperatriz conforme valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Fatores de correção da ETP em função da latitude para Imperatriz/MA.

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1,06	0,96	1,05	1,00	1,02	0,98	1,00	1,01	0,98	1,03	1,01	1,06

Fonte: O autor, 2021.

Com a estimativa da evapotranspiração potencial e os dados de precipitação, procedeu-se a aplicação do balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Matter (1955) para estimativa da dinâmica do armazenamento da água no solo (ARM), variação do armazenamento (Δ ARM), evapotranspiração real (ETR), déficit hídrico (DEF), excedente hídrico (EXC) e reposição de água no solo (R) para os períodos analisados.

Com o resultado do balanço hídrico climatológico foram realizadas as estimativas dos índices hídricos (I_h), de aridez (I_a) e de umidade (I_u) de acordo com as Equações 4, 5 e 6, respectivamente.

$$I_h = \frac{EXC}{ETP} \times 100 \quad (4)$$

$$I_a = \frac{DEF}{ETP} \times 100 \quad (5)$$

$$I_u = I_h - I_a \quad (6)$$

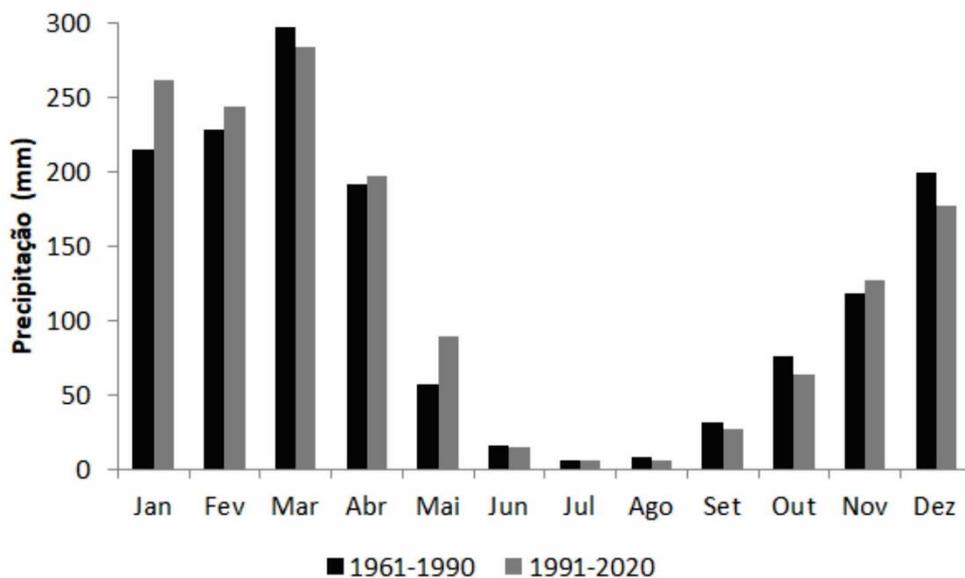
Com base nos valores dos índices e na evapotranspiração potencial procedeu-se a análise do chaveamento proposto por Thornthwaite (1948) para classificação climática dos períodos analisados para o município de Imperatriz/MA. Todos os procedimentos foram realizados com o auxílio do software Excel® em sua versão 2015.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A precipitação pluvial normal anual para o período de 1961 a 1990 foi de 1439,4 mm com desvio padrão de 120,1 mm. Já para o período de 1991 a 2020 a precipitação pluvial normal anual foi 1494,3 mm e desvio padrão de 129,2 mm. Percebe-se um aumento no total precipitado entre os períodos analisados de 54,9 mm (3,81 %). O período chuvoso no município ocorre nos meses de novembro a abril e o período seco nos meses de maio a outubro com médias totais mensais variando entre 296,7 (março) e 5,4 (julho) no período analisado.

No período chuvoso tem-se o registro de 86,5 % do volume de chuva do ano, enquanto que o período seco apresenta 13,5 % do total anual. Esse padrão persiste em ambos os períodos estudados. A Figura 2 apresenta a distribuição média mensal da precipitação para os dois períodos analisados.

Figura 2: Distribuição da precipitação pluvial em termos médios mensais para Imperatriz/MA.

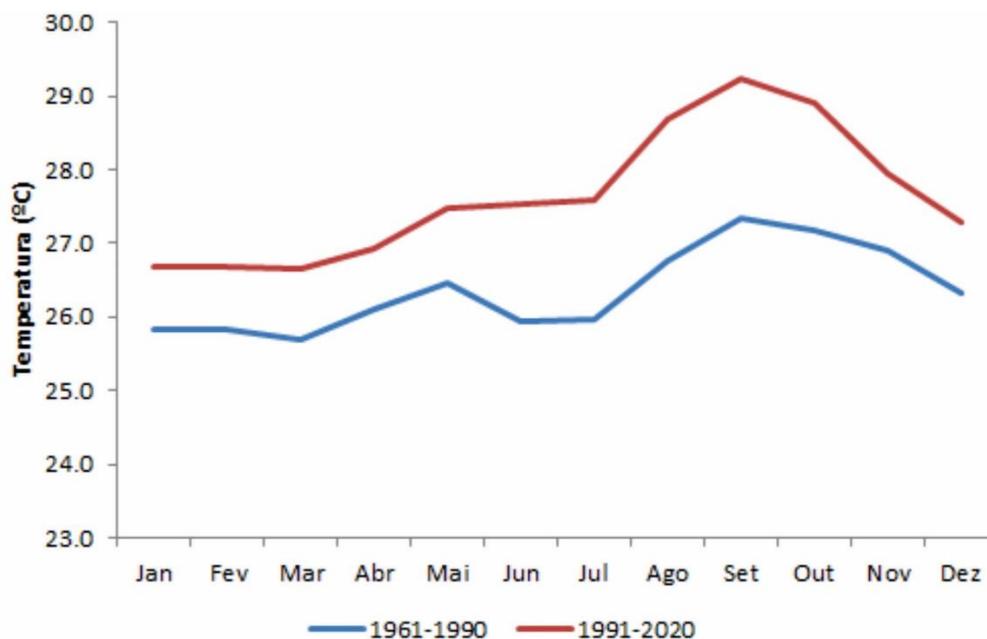


Fonte: Dados do Autor (2021).

A temperatura média compensada normal anual para o período de 1961 a 1990 foi de 26,4 °C com desvio padrão de 0,84 °C. Já para o período de 1991 a 2020 a temperatura média compensada normal anual foi 27,6 °C e desvio padrão de 1,09 °C. Percebe-se um aumento na temperatura média anual entre os períodos analisados de 1,2 °C (4,55 %). O mês com maior

temperatura média é setembro e o mês com menor temperatura média é março. A Figura 3 apresenta a distribuição da temperatura média compensada para os dois períodos analisados.

Figura 3: Distribuição da temperatura média compensada mensal para Imperatriz/MA.



Fonte: Dados do Autor (2021).

Na Tabela 2 são apresentados os valores normais provenientes do Balanço Hídrico Climatológico para o período entre 1961 e 1990.

Tabela 2: Balanço Hídrico Climatológico para o município de Imperatriz/MA, no período de 1961 – 1990.

Mês	T	ETP	P	ARM	ETR	DEF	EXC	R
	(°C)	(mm)						
JAN	25,8	128,2	214,3	100	128,2	0	47,9	166,4
FEV	25,8	116,1	227,7	100	116,1	0	111,6	116,1
MAR	25,7	125,2	296,7	100	125,2	0	171,5	125,2
ABR	26,1	126,2	191,5	100	126,2	0	65,3	126,2
MAI	26,5	136,1	56,6	45,2	111,4	24,6	0	111,4
JUN	25,9	120,2	15,6	15,9	44,9	75,3	0	44,9
JUL	26	124,4	5,4	4,8	16,4	108	0	16,4
AGO	26,8	140,4	8,1	1,3	11,6	128,8	0	11,6
SET	27,3	145,8	31,2	0,4	32,1	113,7	0	32,1
OUT	27,2	151,2	75,2	0,2	75,4	75,8	0	75,4
NOV	26,9	142,4	117,9	0,1	117,9	24,4	0	117,9

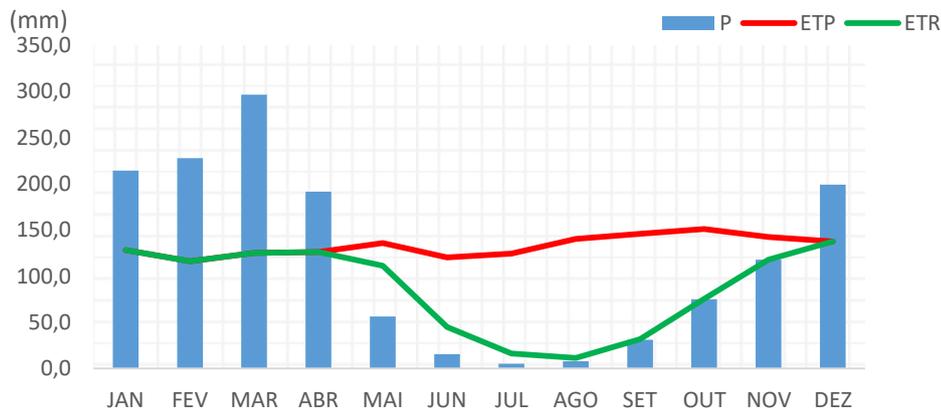
DEZ	26,3	137,5	199,2	61,8	137,5	0	0	199,2
Σ	26,4	1593,6	1439,4		1043	550,6	396,4	1142,8

Observação: T → Temperatura, P → Precipitação, ARM → Armazenamento, ETR → Evapotranspiração Real, DEF → Déficit Hídrico, EXC → Excedente Hídrico, R → Reposição.

Fonte: Dados do Autor (2021).

Observa-se que durante boa parte do período chuvoso (janeiro-abril) o solo encontra-se em sua capacidade de água disponível definida em 100 mm, este comportamento favorece o desenvolvimento pleno dos vegetais equiparando a evapotranspiração real a potencial. Em contrapartida, percebe-se o rápido decaimento do armazenamento da água no solo no início do período seco culminando em um reservatório praticamente vazio durante um período de quase seis meses até o retorno das chuvas em novembro. Na Figura 4 é apresentada a relação entre a ETP e a ETR em termos normais para o período de 1961 a 1990.

Figura 4: Relação entre ETP e ETR para Imperatriz/MA no período entre 1961 e 1990.



Fonte: Dados do Autor (2021).

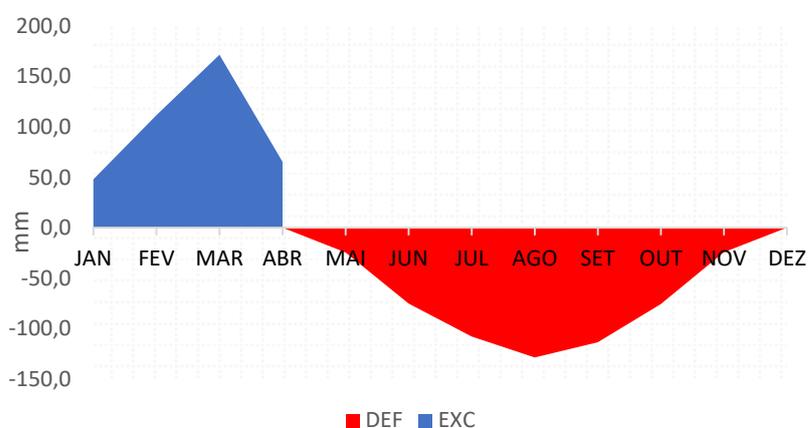
Destaca-se ao analisar a Figura 4 o distanciamento da ETR em relação à ETP no período seco. A maior divergência entre a demanda atmosférica e o que de fato está sendo atendido ocorre no mês de agosto com a ETR do mês representando apenas 8,3 % da ETP mensal. A ETR equivale a 65,4 % da ETP em termos anuais. Esta informação reforça o alto grau de estresse dos indivíduos vegetais nesse período que tem seu crescimento estagnado devido à minimização das trocas gasosas.

Na Figura 5 é apresentado o extrato do balanço hídrico climatológico para o município de Imperatriz no período de 1961 a 1990. São observados sete meses com déficit hídrico na região com um total normal anual de 550,6 mm o que equivale a 34,6 % da demanda da ETP

anual. Avaliar a dinâmica temporal do déficit hídrico é de suma importância para um planejamento agrícola eficiente e economicamente viável (MATOS et al., 2015).

Em termos de excedente hídrico temos o fenômeno ocorrendo entre os meses de janeiro e abril com um valor total anual de 396,4 mm representando 27,5 % da precipitação anual. Destaca-se também que cerca de 80,0 % do total precipitado é utilizado para recarregar a água no solo recompondo o reservatório ao longo do ano.

Figura 5: Extrato do BHC para o município de Imperatriz/MA, no período de 1961 a 1990.



Fonte: Dados do Autor (2021).

Na Tabela 3 são apresentados os valores normais provenientes do Balanço Hídrico Climatológico para o período entre 1991 e 2020.

Tabela 3: Balanço Hídrico Climatológico para o município de Imperatriz/MA, no período de 1991 – 2020.

Mês	T	ETP	P	ARM	ETR	DEF	EXC	R
	(°C)	(mm)						
JAN	26,7	141,4	261,4	100	141,4	0	41,6	219,8
FEV	26,7	128,4	243,2	100	128,4	0	114,8	128,4
MAR	26,7	140,1	283,4	100	140,1	0	143,3	140,1
ABR	26,9	138,9	196,8	100	138,9	0	57,9	138,9
MAI	27,5	154,2	89,6	52,4	137,2	17	0	137,2
JUN	27,6	149,5	14,2	13,5	53,1	96,5	0	53,1
JUL	27,6	153,3	5,6	3,1	16	137,2	0	16
AGO	28,7	182,3	6,2	0,5	8,8	173,5	0	8,8
SET	29,3	191,6	26,5	0,1	26,9	164,7	0	26,9
OUT	28,9	191,9	63	0	63,1	128,8	0	63,1
NOV	28	163,8	127,1	0	127,1	36,7	0	127,1

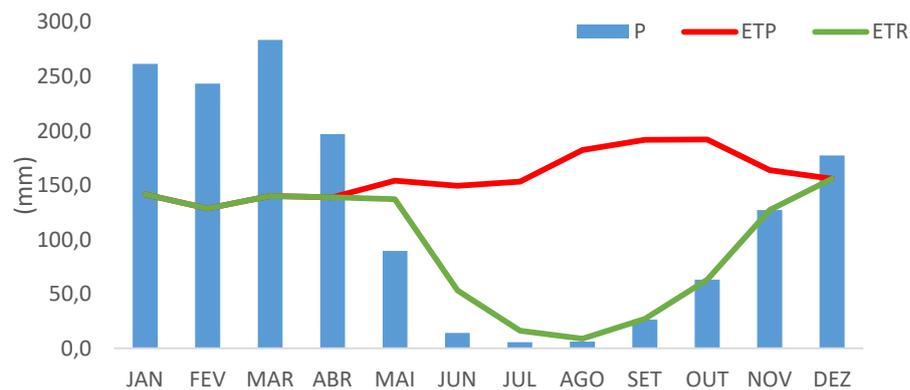
DEZ	27,3	155,7	177,3	21,6	155,7	0	0	177,3
Σ	27,6	1891,1	1494,3		1136,7	754,4	357,6	1236,6

Observação: T → Temperatura, P → Precipitação, ARM → Armazenamento, ETR → Evapotranspiração Real, DEF → Déficit Hídrico, EXC → Excedente Hídrico, R → Reposição
 Fonte: Dados do Autor (2021).

O resultado do BHC para o período de 1991 a 2020 é semelhante ao observado para o período de 1961 a 1990. O armazenamento encontra-se em sua capacidade máxima nos quatro meses iniciais do ano. A reposição de água no solo corresponde a 82,8 % da precipitação anual no período indicando a alta remoção de água do solo pelo processo evapotranspirativo.

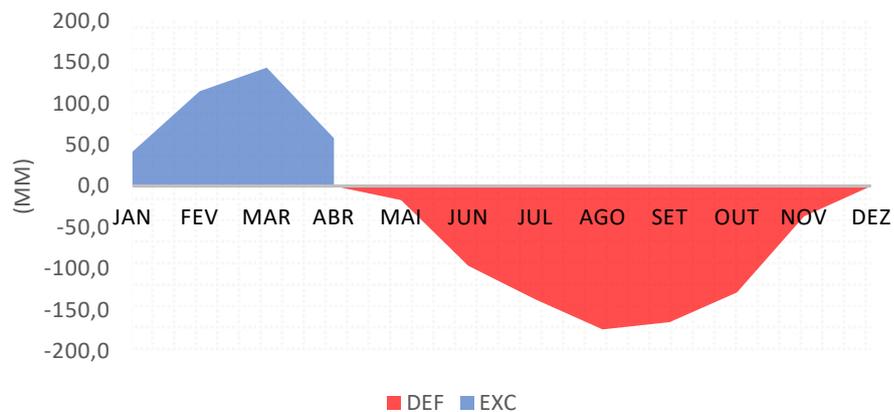
Nas Figuras 6 e 7 são apresentadas a relação entre a ETP e a ETR em termos normais e o extrato do BHC para o município de Imperatriz/MA para o período de 1991 a 2020.

Figura 6: Relação entre ETP e ETR para Imperatriz/MA no período entre 1991 e 2020.



Fonte: Dados do Autor (2021).

Figura 7: Extrato do BHC para o município de Imperatriz/MA, no período de 1991 a 2020.



Fonte: Dados do Autor (2021).

Houve um aumento na ETP anual no período entre 1991 e 2020 quando comparado ao período anterior (1961-1990). Este fato pode ser explicado pelo acréscimo da temperatura média compensada no período em 1,2 °C e pelo fato do método utilizado para cálculo da ETP ser baseado na temperatura.

A maior divergência no período entre 1991 e 2020 também ocorreu no mês de agosto com a ETR do mês representando apenas 4,8 % da ETP mensal. A ETR equivale a 60,1 % da ETP em termos anuais.

Também foram observados sete meses com déficit hídrico no período de 1991 a 2020 com um total normal anual de 754,4 mm o que equivale a 39,9 % da demanda da ETP anual. Percebeu-se um acréscimo de 37,0 % em relação ao período anterior, potencializando assim eventuais estresses a cobertura vegetal.

Em termos de excedente hídrico temos o fenômeno ocorrendo entre os meses de janeiro e abril com um valor total anual de 357,6 mm representando 23,9 % da precipitação anual e representando uma redução de 9,8 % em relação ao período anterior.

Na Tabela 4 é apresentado o resultado dos índices que dão suporte ao sistema de classificação climática de Thornthwaite.

Tabela 4: Índices vinculados ao sistema de classificação climática de Thornthwaite.

Índices / Período	Ih	Ia	Iu	ETv
		(%)		
1961 - 1990	24,9	34,6	-9,7	24,0
1991 - 2020	18,9	39,9	-21,0	22,5

Observação: Ih → Índice hídrico, Ia → Índice de aridez, Iu → Índice de Umidade, ETv → Evapotranspiração Potencial Acumulada no Verão.

Fonte: Dados do Autor (2021).

Fica nítida a redução da água disponível e conseqüentemente aumento do déficit hídrico entre os períodos estudados em função dos índices apresentados.

A ETv representa a evapotranspiração acumulada nos meses compreendidos na estação denominada verão (dezembro, janeiro e fevereiro). Os resultados da ETv para ambos os períodos demonstram a alta demanda hídrica da atmosfera e sua boa distribuição ao longo do ano.

Na Tabela 5 é apresentado o resultado da classificação climática pelo método de Thornthwaite para os períodos analisados.

Tabela 5: Classificação climática segundo Thornthwaite.

Período	Classificação climática de Thornthwaite
1961 – 1990	C ₁ w ₂ A'a'
1991 - 2020	C ₁ wA'a'

Fonte: Dados do Autor (2021).

Em termos de umidade, ambos os períodos foram classificados como sub-úmido seco (C₁). A divergência foi encontrada no subtipo climático a adequação sazonal da umidade, onde no período entre 1961 e 1990 foi classificado como de grande excesso de umidade no verão e no período entre 1991 e 2020 foi classificado como moderado excesso no verão.

Ambos os períodos foram classificados como megatérmico (A') e com baixa concentração da ETP no período do verão (a').

5 CONCLUSÕES

Foi observado um aumento no total precipitado entre os períodos analisados de 54,9 mm (3,81 %) e um aumento da temperatura média compensada em 1,2 °C (4,55 %) no mesmo período.

Observa-se que durante boa parte do período chuvoso (janeiro-abril) o solo encontra-se em sua capacidade de água disponível definida em 100 mm em ambos os períodos e reposição de água no solo consome cerca de 80,0 % da precipitação anual nos períodos analisados.

Houve um aumento na ETP anual no período entre 1991 e 2020 quando comparado ao período anterior (1961-1990), corroborando um acréscimo de 37,0 % no déficit hídrico em relação ao período anterior e uma redução de 9,8 % do excedente hídrico em relação ao mesmo período.

O produto da classificação climática pelo método de Thornthwaite foi semelhante enquadrando ambos os períodos como clima sub-úmido seco (C_1), megatérmico (A') e com baixa concentração da ETP no verão (a').

A divergência ocorreu em relação a adequação sazonal da umidade onde no período de 1961 a 1990 foi classificado como w_2 (grande excesso de umidade no verão) e no período de 1991 a 2020 foi classificado como w (moderado excesso de umidade no verão). Este fato indica uma mudança no padrão da distribuição da precipitação pluvial ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁVILA, L. F. **Balanço hídrico em um remanescente de Mata Atlântica da Serra da Mantiqueira, MG**. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos: Sistemas Agrícolas, Lavras, 2011.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 332p.
- DOURADO-NETO, D. et al. General procedure to initialize the cyclic soil water balance by the Thornthwaite and Mather method. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 1, p. 87-95, fevereiro/2010.
- GROISSMAN, P. et al. Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, n.18, p.1326-50, 2005.
- HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 2, n. 2, p. 32-46, jul./dez. 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados: Imperatriz (MA)**. IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/imperatriz.html>. Acesso em: 13 abril. 2021.
- INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS (ICRISAT). **ICRISAT Annual Report 1979 - 1980**. Disponível em: <http://oar.icrisat.org/668/>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados climatológicos da estação de Imperatriz -MA**. Fornecimento via correio eletrônico, em planilhas Excel. INMET, 2021
- KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science**. Berlin: Walter de Gruyter, p. 388, 1931.
- KUINCHTNER, A.; BURIOL, G.A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v.2, n.1, p.171-182, jan./dez. 2001.
- MATOS, R. M., et al. Caracterização e aptidão climática de culturas para o município de Alhandra - PB, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, n.3, p.183-192, 2015.
- MEDEROS, R.M., et al. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de cultivo de banana em Lagoa Seca – PB. **Revista Verde**, v. 10, n.1, p.223-228, 2015
- NASCIMENTO, D. T. F., et al. Panorama dos sistemas de classificação climática e as diferentes tipologias climáticas referentes ao estado de Goiás e ao Distrito Federal (Brasil). **Elisée**, v. 5, n. 2, p. 59-86. 2016.

OLIVEIRA, J. A. M. Balanço hídrico e classificação climática para o município de Januária – MG. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos-PB, v. 15, n. 1, p. 86 -91, mar./2019.

PILLAR, V.D. 1995. **Clima e vegetação**. UFRGS, Departamento de Botânica. Disponível em <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>. Acessado em abril. 2021.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. (Org.) **Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990**. Brasília, DF: INMET, p. 253, 2009.

ROLIM, G. S. et al. Classificação climática de Koppen e Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.711-720, out./dez. 2007

THORNTHWAITE, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. **Geography Review**, New York, v.38, n.1, p.55-94, jan. 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance: publications in climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, p. 104, 1955.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA JÚNIOR, B. F. P. (Org.) **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Ed. ABRH, Porto Alegre, 2003.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Ed. UFV, Viçosa, p. 449, 2012.