

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE E MATHER (1955) PARA O MUNICÍPIO DE MANICORÉ, NA MESORREGIÃO SUL DO AMAZONAS

PAULO ANDRÉ DA SILVA MARTINS¹; CARLOS ALEXANDRE SANTOS QUERINO²; MARCOS ANTÔNIO LIMA MOURA³; JULIANE KAYSE ALBUQUERQUE DA SILVA QUERINO⁴; LÉIA BEATRIZ VIEIRA BENTOLILA⁵ E PAULA CAROLINE DOS SANTOS SILVA⁶

¹Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Rondônia -UNIR, membro pesquisador do grupo de pesquisa Interação biosfera atmosfera na Amazônia – GPIBA, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM e grupo de pesquisa geografia e planejamento ambiental - LABOGEOPA, da Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Rua 29 de agosto s/n, centro, CEP: 69800-000, Humaitá, Amazonas, Brasil. E-mail: martins_silvaandre@yahoo.com.br

²Departamento de Hidro meteorologia e pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Rua 29 de agosto s/n, centro, CEP: 69800-000, Humaitá, Amazonas, Brasil. E-mail: carlosquerino@ufam.edu.br

³Instituto de Ciências Atmosféricas Universidade Federal de Alagoas – ICAT/UFAL. Avenida Lourival Melo Mota, S/N Tabuleiro dos Martins, CEP: 57072-900 Maceió, Alagoas, Brasil. E-mail: malm@ccen.ufal.br

⁴Departamento de Hidro meteorologia e pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Rua 29 de agosto s/n, centro, CEP: 69800-000, Humaitá, Amazonas, Brasil. E-mail: julianekayse@hotmail.com

⁵Engenheira Ambiental, membra do grupo de pesquisa Interação biosfera atmosfera na Amazônia – GPIBA, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Rua 29 de agosto s/n, centro, CEP: 69800-000, Humaitá, Amazonas, Brasil. E-mail: leiabentolila@gmail.com

⁶Mestra em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Membro do grupo de pesquisa Interação biosfera atmosfera na Amazônia – GPIBA, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM Rua 29 de agosto s/n, centro, CEP: 69800-000, Humaitá, Amazonas, Brasil. E-mail: ss.paulacarol@icloud.com

1 RESUMO

O padrão climático é descrito pelas condições das variáveis meteorológicas que exercem influência nas atividades humanas. Por sua vez, a agricultura é condicionada pela disponibilidade hídrica que pode ser conhecida através do balanço hídrico. Objetivou-se analisar a precipitação e a temperatura do ar, bem como realizar o balanço hídrico climatológico e a classificação climática em Manicoré-AM. Os dados foram coletados a partir da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia entre os anos de 2010 a 2018. A evapotranspiração potencial foi calculada pelo modelo de Thornthwaite (1948). O balanço hídrico e a classificação climática foram estimados pela metodologia de Thornthwaite e Mather (1955). Os resultados foram analisados através de estatística descritiva. A precipitação média anual foi de 2.946,20 mm dos quais 90% ocorreram no período chuvoso. A temperatura do ar (Tar) média anual variou entre 25 e 27 °C. A deficiência hídrica anual média foi de 267,91 mm entre maio e setembro. O excedente hídrico médio anual foi de 1.609,26 mm entre dezembro e abril. A evapotranspiração potencial média anual foi de 1.604,85 mm, com máxima em agosto e mínima em julho. Por fim, a Classificação climática foi AwA'a', clima super úmido megatérmico com moderada deficiência hídrica no inverno.

Palavras-Chaves: Precipitação, Temperatura do ar, Padrão climático.

MARTINS, P. A. da S.; QUERINO, C. A. S.; MOURA, MARCOS A. L.; QUERINO, J. K. A. da S.; BENTOLILA, L. B. V.; SILVA, P. C. dos S.
**CLIMATIC WATER BALANCE AND THORNTHWAITTE AND MATHER (1955)
CLIMATE CLASSIFICATION FOR MANICORÉ MUNICIPALITY IN AMAZONAS
SOUTH MESOREGION**

2 ABSTRACT

Climate pattern can be described by the conditions of the meteorological variables that exert influence on human activities. Agriculture, in its turn, is conditioned by water availability, which can be known through water balance. This paper aimed to analyze precipitation and air temperature, as well as to perform the climatic water balance and climatic classification in the municipality of Manicoré (Amazonas State, Brazil). Data were collected from the meteorological station of the National Institute of Meteorology from 2010 through 2018. Potential evapotranspiration was calculated by the Thornthwaite model (Thornthwaite, 1948). Water balance and climatic classification were estimated by Thornthwaite and Mather (1955) methodology. The results were analyzed with descriptive statistics. The mean annual precipitation was 2.946.20 mm, of which 90% occurred in the rainy season. The average annual air temperature ranged from 25 to 27 ° C. The mean annual water deficit was 267.91 mm from May through September. The average annual water surplus was 1,609.26 mm from December through April. The annual average potential evapotranspiration was 1,604.85 mm, with maximum in August and minimum in July. Finally, the climatic classification was Awa'a ', super humid megathermal climate with moderate water deficiency in winter.

Keywords: Precipitation, Air temperature, Southern Amazonas.

3 INTRODUÇÃO

A mesorregião sul do Amazonas desempenha papel importante na produção agrícola regional. O município de Manicoré é responsável por grande parte da produção agrícola do estado do Amazonas, segundo o IDAM (2018), o município em 2018 produziu 1300 T de Frutas além de 3 milhões de Melancia, sendo o maior produtor do fruto no estado. Dada a importância que este Município tem no contexto regional amazônico, entender a dinâmica climática e sua influência nessas atividades agrícolas é fundamental para contribuir com o aumento da produção agrícola destas culturas.

As variações do clima e seus elementos fazem das atividades agrícolas um elemento sensível, pois é sensível as

menores variações climáticas (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA 2007).

As mudanças no clima trazem impactos significativos em muitos setores, sejam naturais, sociais e econômicos (MIRO et al., 2012). Conhecer as modificações climáticas através das variáveis meteorológicas como Temperatura do ar (Tar) e Precipitação pluviométrica (Ppt) é fundamental para previsão de melhor época de plantio, de colheita e quantidade de água necessária para a planta (SOUZA et al., 2013). Uma das maneiras de se estimar a época que a planta precisará de irrigação é através do Balanço Hídrico Climatológico (BHC) (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS 2002).

O Balanço Hídrico Climatológico tem a finalidade de auxiliar o planejamento agropecuário, através das características do

regime climático de uma região, tornando-se fundamental no auxílio do zoneamento agroclimático (SILVA; MOURA; KLAER 2014). O BHC é a avaliação pioneira para o conhecimento da disponibilidade hídrica de uma região (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS 2012). Através dele é possível determinar a quantidade de água em distintas camadas do solo, podendo assim definir períodos secos (déficit hídrico) e úmidos (excesso hídrico) (MORANDO et al., 2014).

O BHC foi desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) e tem a finalidade de determinar o fluxo hídrico de uma região de forma rápida e simples sem necessidade de medidas diretas e da condição do solo (ROLIM et al., 2007). As variáveis indispensáveis para o BHC de Thornthwaite e Mather (1955) são precipitação (Ppt), o armazenamento máximo no solo (ARM), a capacidade de água disponível (CAD), a temperatura do ar (Tar) e a evapotranspiração potencial (ETP). Através destas variáveis calcula-se diversos outros parâmetros do BHC, como, o total de água retirada do solo, a evapotranspiração real (ETR) o déficit (DEF) ou excedente hídrico (EXC) (MONTEIRO et al., 2011).

Os dados obtidos através do BHC trazem subsídios que podem ser utilizados na agricultura, informando o comportamento da água no solo ao longo do ano, verificando a necessidade ou não de irrigação, além de fornecer dados que são utilizados em classificações climáticas, responsáveis por

definir os limites geográficos do clima através das variáveis meteorológicas (COUTINHO et al., 2015).

Desta forma este trabalho objetivou analisar a precipitação e a temperatura do ar, bem como calcular o balanço hídrico climatológico e realizar a classificação climática pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) para o município de Manicoré-AM.

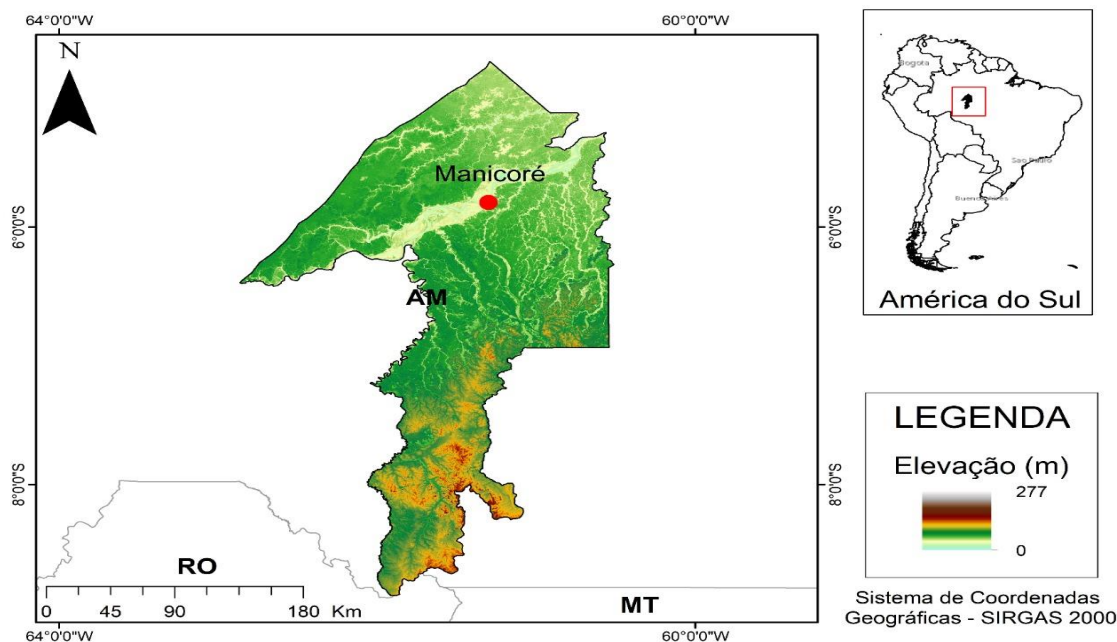
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O município de Manicoré (Figura 1), localiza-se na mesorregião sul amazonense e microrregião do Madeira, estando localizado entre os paralelos de 05° 0' 0'' S e 08° 0' 0'' S, e entre os meridianos de 60° 0' 0'' W e 64° 0' 0'' W, altitude de 50 m. Faz fronteira com as cidades de Borba e novo Aripuanã. Sua extensão territorial é de 48283Km² com população estimada em 56.583 habitantes (IBGE, 2020).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am (monção) com precipitação média anual de 2.699,2 mm (ALVARES et al., 2013). O período chuvoso acontece entre outubro e março e o período seco ocorre entre junho a agosto, sendo maio e setembro considerados períodos de transição (PEDREIRA JUNIOR et al., 2018).

Figura 1. Localização espacial do município de Manicoré no estado do Amazonas, Brasil e América do Sul.



4.2 Dados meteorológicos

Os dados de Temperatura do ar (T_a), e Precipitação pluviométrica (P_{pt}) foram coletados a cada minuto entre abril de 2010 e abril de 2018, na estação Meteorológica Automática (EMAS) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na seguinte coordenada lat. $-5^{\circ}47'18''$ e Long. $-61^{\circ}17'79''W$ com numeração A-133 e registro na Organização meteorológica mundial (OMM), código 81810. Posteriormente, os registros foram integralizados a cada uma hora e disponibilizado no banco de dados do INMET (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2019).

4.3 Processamento dos dados

4.3.1 Balanço hídrico climatológico (BHC)

O balanço hídrico climatológico (BHC) foi estimado pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) que, por sua vez, depende da evapotranspiração potencial (ETP) determinada pelo método de Thornthwaite (1948) (Equação 1) e da capacidade de água disponível ($CAD = 150$ mm), determinada através de técnicas de sensoriamento remoto por Rossato (2001) para todo o Brasil.

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

Onde T é a temperatura média do mês em $^{\circ}C$; e I é o nível de calor da região estudada (Equação 2), e que depende do ritmo anual da temperatura, integrando o efeito térmico de cada mês em que o expoente “a” (Equação 3), é uma função de I (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS 2002).

$$I = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (2)$$

$$a = 0,675.10^{-6}.I^3 - 0,771.10^{-4}.I^2 + 1,792.10^{-2}.I + 0,49239 \quad (3)$$

O valor de ETP representa o total mensal de evapotranspiração que ocorreria nas condições térmicas de um mês padrão de 30 dias, e cada dia com 12 horas de fotoperíodo (N). Portanto, a ETP deve ser corrigida em função de N e do número de dias do período (NDP) (Equação 4).

$$COR = \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{NDP}{31}\right) \quad (4)$$

4.3.2 Classificação climática (Thornthwaite; Mather, 1955)

A classificação climática foi realizada a partir do método proposto por Thornthwaite e Mather (1955). Através da proposição de Cunha et al. (2009), as equações (5, 6 e 7) avaliaram a resultante dos

valores de excesso e déficit hídrico tendo como produto o índice hídrico (Ih), índice de aridez (Ia) e índice de umidade (Iu).

$$I_h = CAD \cdot \frac{EXC}{ETP} \quad (5)$$

$$I_a = CAD \cdot \frac{DEF}{ETP} \quad (6)$$

$$I_u = I_h - 0,6I_a \quad (7)$$

A classificação climática foi baseada em variações do índice de umidade (Tabela 1), nos índices de aridez e umidade (Tabela 2), nos índices térmicos (Tabela 3) e nas variações das evapotranspirações potenciais de verão e anual (Tabela 4) (SOUZA et al., 2013).

Tabela 1. Chave inicial da classificação climática, segundo Thornthwaite e Mather (1955), baseados no índice de umidade.

| Tipos climáticos | Índice de umidade (Iu) |
|--------------------------------|--------------------------|
| A – superúmido | $100 \leq I_u$ |
| B ₄ – úmido | $80 \leq I_u < 100$ |
| B ₃ – úmido | $60 \leq I_u < 80$ |
| B ₂ – úmido | $40 \leq I_u < 60$ |
| B ₁ – úmido | $20 \leq I_u < 40$ |
| C ₂ – subúmido | $0 \leq I_u < 20$ |
| C ₁ – subúmido seco | $-33,33 \leq I_u < 0$ |
| D – semiárido | $-66,7 \leq I_u < -33,3$ |
| E – árido | $-100 \leq I_u < -66,7$ |

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2013)

Tabela 2. Segunda chave de classificação climática, segundo Thornthwaite e Mather (1955), baseados no índice de aridez (Ia) e umidade (Iu).

| Climas úmidos (A, B₄, B₃, B₂, B₁ e C₂) | (Ia) | Climas secos (C₁, D e E) | (Iu) |
|--|-------------|--|-------------|
| r- Pequena ou nenhuma deficiência hídrica | 0-16,7 | D - pequeno ou nenhum excesso hídrico | 0-10 |
| s- Moderada deficiência no verão | 16,7-33,3 | s - moderado excesso no inverno | 10-20 |
| w- Moderada deficiência no inverno | 16,7-33,3 | w - moderado excesso no verão | 10-20 |
| s ₂ - Grande deficiência no verão | >33,3 | s ₂ - grande excesso no inverno | 20 |
| w ₂ - Grande deficiência no inverno | >33,3 | w ₂ - grande excesso no verão | 20 |

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2013)

Tabela 3. Terceira chave da classificação climática, segundo Thornthwaite e Mather (1955), baseados no índice térmico anual.

| Tipos climáticos | Índice térmico (It) (ETP anual) |
|-------------------------------|--|
| A – megatérmico | ≥1140 |
| B ₄ – mesotérmico | 997-1140 |
| B ₃ – mesotérmico | 855-997 |
| B ₂ – mesotérmico | 712-855 |
| B ₁ – mesotérmico | 570-712 |
| C ₂ – microtérmico | 427-570 |
| C ₁ – microtérmico | 285-427 |
| D' – tundra | 142-285 |
| E – gelo perpétuo | <142 |

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2013)

Tabela 4. Quarta chave da classificação climática, segundo Thornthwaite e Mather (1955), baseados na relação entre a ETP de verão e anual.

| Concentração da ETP no verão (%) | Sub – tipo climático |
|---|-----------------------------|
| <48% | a' |
| 48 – 51,9 | b' ₄ |
| 51,9 – 56,3 | b' ₃ |
| 56,3 – 61,6 | b' ₂ |
| 61,6 – 68,0 | b' ₁ |
| 68,0 – 76,3 | c' ₂ |
| 76,3 – 88,0 | c' |
| >88,0 | d' |

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2013)

4.3.3 Estatística descritiva

Foram analisadas a série histórica de temperatura do ar (Tar) e precipitação (Ppt), estatisticamente através das médias dos totais mensais (\bar{X}_m), média dos totais horários (\bar{X}_D), erro padrão (EP) (Equação 8), desvio padrão (DP) (Equação 9), mediana (MD) (Equação 10), variância (V) (Equação 11), curtose (K) (Equação 12) e assimetria (As) (Equação 13).

$$EP = \frac{DP}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (9)$$

$$MD = \frac{(n+1)}{2} \quad \text{se "n" for ímpar} \quad (10)$$

$$MD = \frac{\left(\frac{n}{2}\right) + \left(\frac{n}{2} + 1\right)}{2} \quad \text{se "n" for par}$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (11)$$

$$K = \frac{1}{n} \sum \left[\frac{X_i - \bar{X}}{DP} \right]^4 - 3 \quad (12)$$

$$A_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left[\frac{X_i - \bar{X}}{DP} \right]^3 \quad (13)$$

Onde n é o número de observações, X_i o valor de Tar e Ppt observados e \bar{X} é a média dos valores que foram observados das respectivas variáveis meteorológicas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises Estatísticas

Os valores de temperatura máximos médios ocorreram no mês de setembro (27,5 °C). O desvio padrão (DP) e mediana (MD) foram próximos à média mensal (\bar{X}_m). Dados do DP e Variância também são indicativos que há proximidade dos valores com a \bar{X}_m . A distribuição negativa é um indicativo que a mediana foi superior a \bar{X}_m diária (Tabela 5).

Tabela 5. Estatística descritiva da Temperatura do Ar (°C).

| | \bar{X}_m | MD | DP | V | EP | K | As |
|-----|-------------|-------|------|------|------|------|-------|
| Jan | 26,02 | 26,85 | 1,98 | 4,64 | 0,04 | 0,29 | -0,18 |
| Fev | 25,73 | 26,85 | 1,98 | 4,66 | 0,04 | 0,30 | -0,18 |
| Mar | 26,13 | 26,86 | 2,00 | 4,71 | 0,04 | 0,33 | -0,19 |
| Abr | 26,50 | 26,87 | 2,00 | 4,70 | 0,04 | 0,36 | -0,20 |
| Mai | 26,56 | 26,89 | 2,00 | 4,71 | 0,04 | 0,36 | -0,20 |
| Jun | 26,63 | 26,90 | 2,00 | 4,71 | 0,04 | 0,36 | -0,21 |
| Jul | 26,46 | 26,93 | 2,02 | 4,76 | 0,05 | 0,48 | -0,27 |
| Ago | 26,62 | 26,94 | 2,03 | 4,82 | 0,05 | 0,49 | -0,28 |
| Set | 27,25 | 26,94 | 2,00 | 4,71 | 0,04 | 0,35 | -0,23 |
| Out | 26,93 | 26,93 | 2,00 | 4,69 | 0,04 | 0,35 | -0,24 |
| Nov | 26,73 | 26,91 | 2,00 | 4,68 | 0,04 | 0,35 | -0,23 |
| Dez | 26,40 | 26,86 | 1,99 | 4,63 | 0,04 | 0,40 | -0,25 |

\bar{X}_m : Média mensal; EP: Erro padrão; MD: Mediana; DP: Desvio padrão; V: Variância; K: Curtose; AS: Assimetria dos dados de Temperatura média mensal do ar (Tar) no período de abril de 2010 a abril de 2018 para o município de Manicoré/AM.

O maior total pluviométrico médio mensal foi registrado em março 725,40 mm, enquanto os menores nos meses de junho e julho, 41,60 e 0,20 mm, respectivamente. O DP, V e MD foram elevados para os meses

que registraram os maiores volumes de Ppt. O DP e V indicaram dispersão dos dados em relação a \bar{X}_m , no qual o mês de março apresenta maior variação (436,39) e julho a menor (12,56) (Tabela 6). A MD denota que

boa parte da série histórica dos dados mensais estão abaixo ou são próximas a \bar{X}_m . A série de dados apresenta distribuição positiva tendo em vista que todos os valores de MD são inferiores a \bar{X}_m . Todos os meses

apresentaram curtose com uma distribuição positiva (curva leptocúrtica), ou seja, verifica-se que há uma relativa regularidade dos dados de Ppt e Tar ao longo dos meses.

Tabela 6. Estatística descritiva da Precipitação (mm).

| | \bar{X}_m | MD | DP | V | EP | K | As |
|-----|-------------|------|-------|--------|------|-------|------|
| Jan | 570,00 | 7,40 | 18,60 | 383,56 | 2,60 | 3,40 | 1,90 |
| Fev | 398,20 | 5,32 | 22,45 | 513,45 | 2,87 | 7,50 | 2,80 |
| Mar | 765,40 | 6,21 | 21,54 | 436,89 | 2,56 | 6,85 | 2,60 |
| Abr | 232,80 | 5,05 | 14,00 | 187,65 | 1,89 | 8,45 | 2,95 |
| Mai | 74,40 | 4,78 | 7,90 | 62,12 | 1,20 | 4,21 | 2,41 |
| Jun | 41,60 | 4,56 | 3,80 | 45,32 | 1,00 | 2,41 | 1,66 |
| Jul | 0,20 | 0,30 | 3,60 | 12,56 | 0,70 | 5,16 | 2,39 |
| Ago | 69,00 | 0,50 | 6,70 | 13,24 | 1,89 | 13,89 | 3,45 |
| Set | 91,20 | 2,80 | 15,90 | 219,23 | 2,56 | 14,78 | 1,86 |
| Out | 148,60 | 3,15 | 13,70 | 210,78 | 3,40 | 3,30 | 2,56 |
| Nov | 214,20 | 4,50 | 14,60 | 178,23 | 3,74 | 3,90 | 2,74 |
| Dez | 340,60 | 5,70 | 14,80 | 183,45 | 2,13 | 3,70 | 2,19 |

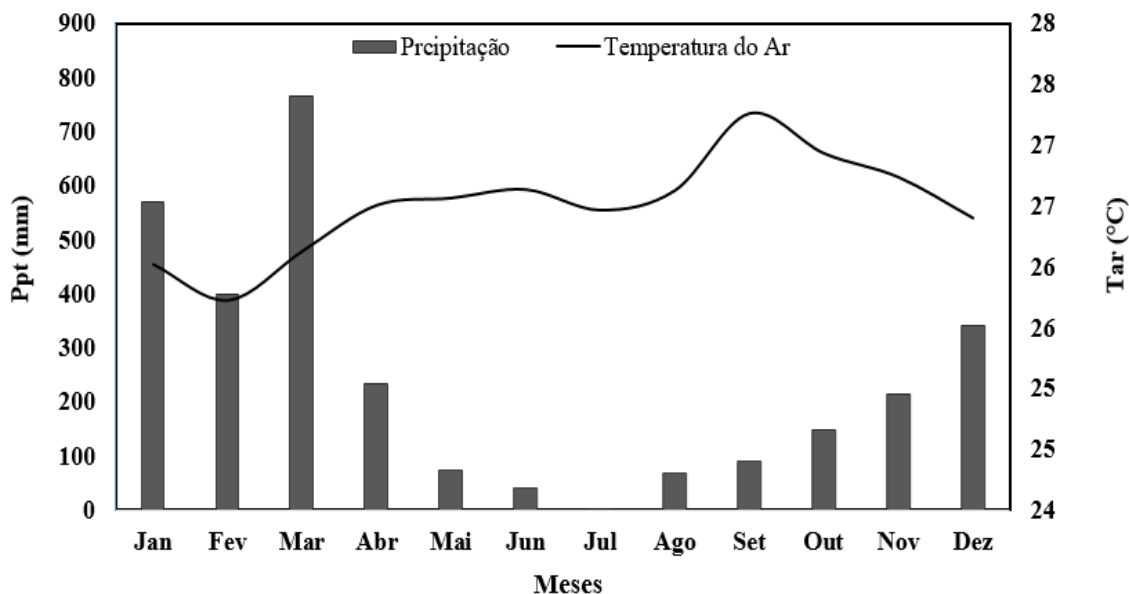
\bar{X}_m : Média mensal; EP: Erro padrão; MD: Mediana; DP: Desvio padrão; V: Variância; K: Curtose; AS: Assimetria dos totais pluviométricos médios mensais (Ppt) no período de abril de 2010 a abril de 2018 no município de Manicoré/AM.

5.2 Totais pluviométricos (Ppt) e temperaturas médias do ar (Tar)

A precipitação teve média anual de 2.949,20 mm ano⁻¹. Os meses mais chuvosos foram março e janeiro os quais correspondem conjuntamente a 49% do total anual. . A Ppt apresentou três períodos bem definidos; chuvoso (outubro a abril),

correspondendo a 90% de toda precipitação anual. De transição (maio e setembro) ambos com valores inferiores a 80 mm mensais correspondendo a 6% da Ppt anual. Seco (junho a agosto) com valores médios de 50 mm em cada mês e 4% da Ppt anual, no qual julho (20 mm) foi considerado mês mais seco (Figura 2).

Figura 2. Temperatura média mensal do ar (Tar) e totais pluviométricos médios mensais (Ppt) para a município de Manicoré –AM no período de 2008 a 2018.



O período chuvoso da região que compreende o estudo ocorre nas estações de verão e outono. A Monção da América do Sul, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que se estende da Amazônia até o sudeste do país, e a Alta da Bolívia, juntos, são os sistemas responsáveis pela Ppt no período chuvoso (SEIXAS, 2011; GAN; KOUSKY; ROPELEWSKI 2004). O sistema meteorológico Alta da Bolívia (AB) é um anticiclone em altos níveis da troposfera (200 hPa). É resultante da convergência do ar mais aquecido e umidade em baixos níveis (850 hPa) juntamente com a divergência do ar que se resfria em altos níveis da atmosfera e varia de forma intra-sazonal e interanual (TURCO; FARIA; FERNANDES 2005).

O período seco ocorre na estação de inverno. Nessa época são registradas altas temperaturas e baixa umidade. Durante o período seco destaca-se a circulação da baixa troposfera que se move para o norte do cavado equatorial, proporcionando um deslocamento do ramo descendente da célula de Hadley sobre a Amazônia que inibe a formação de nuvens e, consequentemente, de chuvas nessa região (FISCH, 1995; SOUZA; AMBRIZZI 2004; REBOITA,

2010; SANTOS NETO et al., 2014; PEDREIRA JUNIOR et al., 2018).

O período de transição seco-chuvoso ocorre entre as estações de inverno e primavera (setembro) e ocorre devido ao início das atividades convectivas proporcionadas pelas altas temperaturas e incremento de umidade que proporciona a formação de Ppt (MONTEIRO et al., 2011). Os sistemas frontais deslocam-se para a região sul do Amazonas facilitando a atuação da Zona de convergência intertropical (ZCAS) e dos sistemas de Monção da América do Sul (SMAS) (GAN; KOUSKY; ROPELEWSKI 2004; ROLIM; SANTOS; ROCHA 2006).

A transição dos períodos chuvoso para seco tem abril como último mês do período chuvoso. Maio representa a transição chuvoso-seco e ocorre no outono e, por fim, o início do primeiro mês seco, junho. A transição ocorre entre as estações de outono e inverno.

As maiores temperaturas médias do ar (Tar) ocorreram em junho 26,5° C no período seco e setembro 27,5° C transição do seco para o chuvoso. As menores foram registradas nos meses de verão, em fevereiro 25,8 °C (Figura 2). No inverno ocorre a

chegada das frentes frias que atingem baixas latitudes e provocam quedas consideráveis na temperatura do ar (PEDREIRA JUNIOR et al., 2018). Está baixa na temperatura também foi observada por Santos neto et al. (2014) em Porto Velho – RO.

Já a amplitude térmica anual foi de 1,7 °C. Normalmente a amplitude térmica na região Amazônica não apresenta grande variação em escala sazonal em razão dos grandes valores de radiação solar incidente ao longo do ano pela proximidade com trópico do Equador (NOBRE et al., 2009).

5.3 Balanço hídrico climatológico – BHC

A deficiência hídrica (DEF) média anual foi de 267,91 mm e concentrou-se entre maio e setembro enquanto o excedente hídrico (EXC) anual foi de 1.609,26 mm e concentrou-se entre dezembro e abril (Tabela 7). Já a evapotranspiração potencial (ETP) média anual foi de 1.604,85 mm, com máxima ETP média mensal em agosto (157 mm) e mínima em julho (117,17 mm) (Tabela 7). A baixa ETP em agosto ocorre em razão da menor quantidade de Ppt, pois elas são proporcionalmente inversas, uma

vez que, à medida que uma cresce, a outra diminui (SANTOS et al., 2016).

O BHC mostrou que o período úmido ($P - ETP > 0$) concentrou-se nos meses de outubro a abril com valores máximos em março (632,8 mm) (Figura 3A). No entanto, os períodos que apresentaram déficit hídrico ocorreram durante cinco meses, que correspondem ao período de transição dos períodos chuvoso-seco e seco-chuvoso (maio e setembro) e seco (junho a agosto) com déficit máximo de 85,66 mm em julho. O excesso hídrico foi observado também em cinco meses (dezembro a abril), dentro do período chuvoso, uma vez que, quanto maior a precipitação, maior será o excesso hídrico (ROSSATO; TOMASELLA 2004).

Especificamente o mês de outubro mostra que há neutralidade, ou seja, não existe déficit e excessos, o solo encontra-se no período de retirada e posteriormente reposição que se estende até dezembro.

A curva da ETR tem comportamento semelhante a ETP de outubro a maio e apresenta-se inferior nos demais meses, onde o menor valor foi em julho (31,52 mm) e o maior em outubro (145,38 mm) (Figura 3C).

Figura 3. A - Extrato mensal do balanço hídrico, B - Déficit e excesso hídrico C - Balanço hídrico normal mensal das variáveis: Precipitação, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real para o município de Manicoré - AM, localizada na mesorregião Sul do Amazonas.

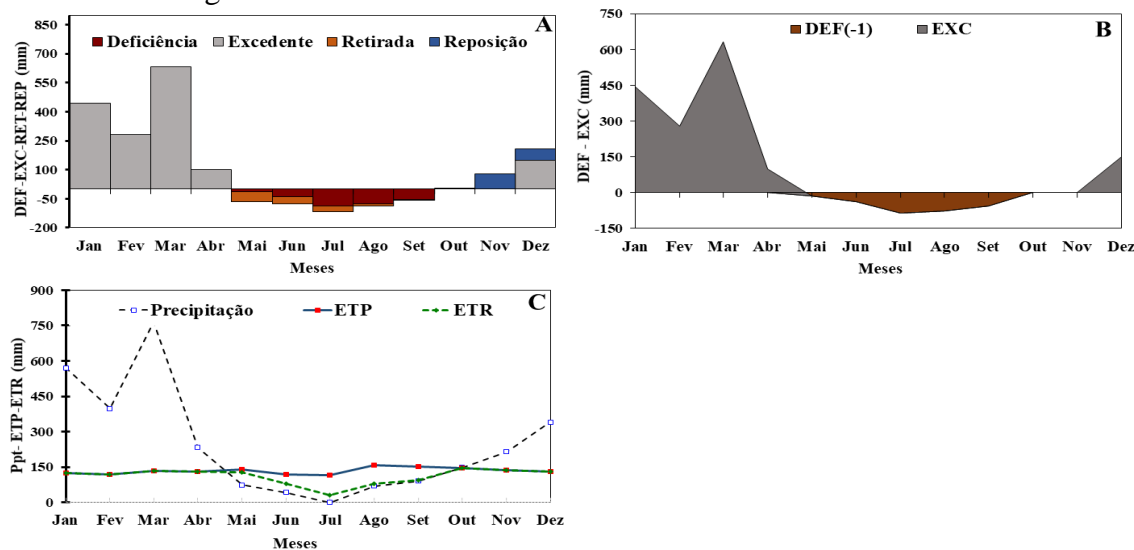


Tabela 7. Balanço hídrico climatológico do Município de Manicoré – AM.

| Meses | TAR (°C) | ETP (MM) | P (MM) | P-ETP |
|--------|----------|----------|----------|----------|
| Jan | 25,80 | 125,11 | 570,00 | 444,89 |
| Fev | 25,90 | 117,67 | 398,20 | 280,53 |
| Mar | 26,10 | 132,59 | 765,40 | 632,81 |
| Abr | 26,40 | 131,99 | 232,80 | 100,81 |
| Mai | 26,70 | 140,37 | 74,40 | -65,97 |
| Jun | 25,80 | 118,60 | 41,60 | -77,00 |
| Jul | 25,50 | 117,17 | 0,20 | -116,97 |
| Ago | 27,59 | 157,69 | 69,00 | -88,69 |
| Set | 27,40 | 150,60 | 91,20 | -59,40 |
| Out | 26,80 | 145,38 | 148,60 | 3,22 |
| Nov | 26,50 | 136,73 | 214,20 | 77,47 |
| Dez | 25,90 | 130,96 | 340,60 | 209,64 |
| Totais | | 1604 | 2946 | 1341 |
| Meses | ARM (MM) | ALT (MM) | ETR (MM) | DEF (MM) |
| Jan | 150 | 0 | 125,11 | 0,00 |
| Fev | 150 | 0 | 117,67 | 0,00 |
| Mar | 150 | 0 | 132,59 | 0,00 |
| Abr | 150 | 0 | 131,99 | 0,00 |
| Mai | 96,63 | -53,37 | 127,77 | 12,59 |
| Jun | 57,83 | -38,79 | 80,39 | 38,20 |
| Jul | 26,51 | -31,32 | 31,52 | 85,66 |
| Ago | 14,68 | -11,84 | 80,84 | 76,86 |
| Set | 9,88 | -4,80 | 96,00 | 54,60 |
| Out | 13,10 | 3,22 | 145,38 | 0,00 |
| Nov | 90,57 | 77,47 | 136,73 | 0,00 |
| Dez | 150,00 | 59,43 | 130,96 | 0,00 |
| Totais | 1059 | 0 | 1336 | 267 |

5.4 Classificação climática

O índice de Umidade (Iu), de aridez e índice hídrico foram de 98,5 – 24,96 – 150,46 respectivamente. A Evapotranspiração potencial (ETP) anual foi de 1.604,85 mm, dos quais 31,54% ocorreram no verão (506,33 mm). Desta forma, o clima de Manicoré enquadra-se como **AwA'a**, que é caracterizado por ser super-úmido, com moderada deficiência hídrica na estação de inverno, megatérmico com pouca deficiência de água (Tabela 6).

Ao comparar-se com a classificação de Köppen, pesquisa recente (ALVARES et al., 2013), identificou mudanças nos totais precipitados na parte norte em relação aos outros pontos do território de Manicoré,

desta forma foi realizada novas classificações. Anteriormente a classificação climática de Köppen indicava clima “Af” com precipitação anual entre 1.900 mm a 2.400 mm na parte norte do município. A outra parte do município tem o clima “Am”, ou seja, clima tropical com temperaturas do mês mais frio acima de 18 °C e com chuvas de monção e totais anuais acima de 1.500 mm, mas com total mensal abaixo de 60 mm no mês mais seco (ALVARES et al., 2013).

Desta forma a classificação por Thornthwaite e Mather (1955), para a município de Manicoré – AM, assemelha-se a primeira de Köppen, considerando que os valores encontrados de Ppt estão acima de 2.400 mm anuais como sugerido por Alvares et al. (2013), os valores anuais

correspondem a 2.900 mm. Entretanto, a classificação de Thornthwaite e Mather (1955) traz maior confiabilidade quanto a classificação climática em razão do maior número de critérios a serem avaliados como evapotranspiração potencial anual e de verão, índice hídrico, índice de umidade e valores médios de temperatura do ar e precipitação (ROLIM et al., 2007).

Estudo realizado no estado de São Paulo, utilizando esta metodologia, alterou uma única classificação de Köppen em ao menos vinte outras classificações de Thornthwaite e Mather (1955), levando em consideração as variações de Tar e Ppt, isso ocorreu porque a abrangência espacial da classificação de Köppen faz com que pequenas mudanças no regime de Ppt e Tar

não sejam percebidas, e a percepção destas modificações são fundamentais em zoneamento agroclimático e planejamento urbano (ROLIM et al., 2007).

As pequenas variações nos regimes de Ppt e Tar também foram sentidas em estudos realizados no estado do Rio de Janeiro, onde o modelo proposto por Thornthwaite e Matter (1955), trouxe melhores resultados, pois o mesmo apresentou um leque maior de variações desde um clima superúmido mesotérmico ao subúmido seco megatérmico. Já a classificação de Köppen apresenta apenas três variedades de classificação climática, quente, úmida e tropical de altitude para a região do estudo (SANTANA et al., 2005).

Tabela 8. Classificação climática realizada através do BHC proposto por Thornthwaite e Mather (1955), para o município de Manicoré – AM.

| Índice de umidade (Iu) | Índice de aridez (Ia) | Índice Térmico (ETP Anual) | ETP no verão (%) |
|---------------------------|--|-------------------------------|---------------------|
| A Superúmido | W Moderada deficiência hídrica no inverno | A Megatérmico | a' < 48 |

6 CONCLUSÕES

A precipitação apresentou três períodos bem definidos: chuvoso (dezembro a abril), transição chuvoso-seco (maio), seco (junho a agosto) e transição seco-chuvoso (setembro).

A temperatura do ar média anual variou de 25 °C no mês mais frio (Fevereiro) a 27 °C no mês mais quente (Setembro).

A ETP apresentou deficiência hídrica no inverno (período seco) e excesso hídrico no verão (período chuvoso).

O município de Manicoré pode ser classificado climatologicamente como AwA'a' superúmido megatérmico, com moderada deficiência hídrica no inverno e ETP no verão menor que 48%.

Contudo, ressalta-se que estudos futuros são importantes no município de Manicoré-Amazonas, com um período maior de dados de superfície de Tar e Ppt, para proporcionar um BHC mais consistente.

7 AGRADECIMENTOS

A CAPES pelo apoio concedido ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pela concessão da bolsa de mestrado do primeiro autor através do Edital: RESOLUÇÃO N. 002/2016 - POSGRAD 2017 – UFAM. Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilidade dos dados.

8 REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Viena -AT, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- COUTINHO, M. D. L.; COSTA, M. S.; SILVA, A. R.; SANTOS, T. S.; GOMES, A. C. S.; MORAIS, M. D. C.; SANTOS, P. V. Balanço hídrico mensal para dois municípios do estado da Paraíba. **Ciência e Natura**, Santa Maria - RS, v. 37, n 4 p. 160-170, 2015.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Revista Irriga**, Botucatu - SP, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras - MG, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Caracterização da temperatura do ar no estado de Goiás e no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 11, n. 8, p. 119-134, 2012.
- IBGE. **Cidade e Estados: Manicoré**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manicore/panorama>. Acesso em: 14.10.2020
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO E FLORESTAL SUS. TENTÁVEL DO ESTADO DO AMAZONAS. **Relatório de acompanhamento trimestral: jan./dez. 2017**. Manaus: IDAM, 2018. Disponível em: <http://www.idam.am.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Produ%C3%A7%C3%A3o-Vegetal-2017.pdf>. Acesso em: 26.05.2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normas Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, DF: INMET, 2009.
- FISCH, G. **Camada Limite Amazônica: aspectos observacionais e de modelagem**. 1995. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1995.
- GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, Boston - USA, v. 17, n. 1, p. 47-66, 2004.
- MIRO, J. M. R.; LIMA, V. S.; CORREA, W. S. C.; COELHO, A. L. N. O balanço hídrico climatológico como subsídio ao planejamento e gestão da lagoa feia na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Geonorte**, Manaus - BRA, v. 1, n. 5, p. 1060-1069, 2012.
- MORANDO, R.; SILVA, A. O.; CARVALHO, L. C.; MEDEIROS, M. P. M. A. Déficit hídrico: Efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n.Especial, p. 114-129, 2014.

MONTEIRO, R. N. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; LEITE, K. N.; SILVA, A. O.; BRITO, R. R. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite para o município de Groaíras-CE. *In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM*, 21., 2011, Petrolina. **Anais** [...]. Petrolina: ABID, 2011. p. 1-6.

NOBRE, C.; OBREGON, G.; MARENGO, J. A.; FU, R.; POVEDA, G. Characteristics of Amazonian Climate: Main Features. *In: GASH, J.; KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; DIAS, P. S. (org.). Amazonia and Global Change*. 1. ed. Washington: American Geophysical Union, 2009. v. 186, p. 149-162.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

PEDREIRA JUNIOR, A. L.; QUERINO, C. A. S.; QUERINO, K. A. S. J.; SANTOS, L. O. F.; MOURA, A. R. M.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Variabilidade horária e intensidade sazonal da precipitação no município de Humaitá-AM. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 22, p. 463-475, 2018.

REBOITA, M. S. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862010000200004&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 27.05.2018.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 257-533, 2007.

ROLIM, P. A. M.; SANTOS, D. M.; ROCHA, E. J. P. Variabilidade da Precipitação na Amazônia: Implicações Socioeconômicas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 14., 2006, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: SBMET, 2006. p. 28-40.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. 2001. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

ROSSATO, L.; TOMASELLA, J. Validação de modelo de umidade do solo para áreas de pastagem e de floresta da região Amazônica. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, XIII., 2004, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: SBMET, 2004. p.52-64.

SANTOS NETO, L. A.; MANIESI, V.; SILVA, M. J. G.; QUERINO, C. A. S.; LUCAS, E. W. M.; BRAGA, A. P.; ATAÍDE, K. R. P. Distribuição horária da precipitação em Porto Velho-RO no período de 1998 – 2013. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 14, p. 213-228, 2014.

SANTOS, A. P. P.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. D. F. S. S.; RODRIGO Q. D.; SILVA, F. D. D. S.; ARAÚJO, H. A. D. Precipitação na Cidade de Salvador: Variabilidade Temporal e Classificação em Quantis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 454-467, dez. 2016.

SANTANA, J. P. M.; SILVA, B. B. G.; PENNA, L.; FIALHO, E. S. Classificação climática: um estudo comparativo entre os métodos de Köppen e Thornthwaite para o município do Rio de Janeiro. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 11., 2005, São Paulo. **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada [...]**. São Paulo: USP, 2005. p. 2106-2119

SEIXAS, I. M. **Geotecnologias aplicadas ao estudo de precipitação e desmatamento na porção sul da Amazônia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, 2011.

SILVA, A. O.; MOURA, G. B. A.; KLAR, A. E. Classificação climática de Thornthwaite e sua aplicabilidade agroclimatológica nos diferentes regimes de precipitação em Pernambuco. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 1, p. 46-60, 2014.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação Climática e Balanço Hídrico Climatológico no Estado de Mato Grosso. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Cuiabá, v. 1, n.1, p. 34-43, 2013.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise**, São José dos Campos, v. 2, n. 1, p. 1-20, 2004.

SOUZA, S. O.; CORREA, W. S. C.; FILETE, R.; VALE, C. C. Balanço Hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Caravelas (BA) como Subsídio ao Planejamento Agrícola. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 1, p. 83-92, 2014.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. (Climatology, v. 8, n. 1).

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geography Review**, Nova Iorque, v. 38, n. 1, p. 54-101, 1948.

TURCO, J. E. P.; FARIA, M. T.; FERNANDES, E. J. Influência da forma de obtenção do saldo de radiação na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 215-228, 2005.