

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Eliton Sancler Gomes Sales**

**Classificação de áreas semiáridas e subúmidas secas  
utilizando diferentes índices climáticos**

**Campina Grande, Fevereiro de 2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - UACA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA – PPGMET**

**CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS SEMIÁRIDAS E SUBÚMIDAS SECAS**  
**UTILIZANDO DIFERENTES ÍNDICES CLIMÁTICOS**

**ELITON SANCLER GOMES SALES**

**Campina Grande – PB**

**Fevereiro de 2019**

**ELITON SANCLER GOMES SALES**

**CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS SEMIÁRIDAS E SUBÚMIDAS SECAS  
UTILIZANDO DIFERENTES ÍNDICES CLIMÁTICOS**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

**Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas**

**Orientador:** Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito.

**Campina Grande – PB**

**Fevereiro de 2019**

S163c

Sales, Eliton Sancler Gomes.

Classificação de áreas semiáridas e subúmidas secas utilizando diferentes índices climáticos / Eliton Sancler Gomes Sales. – Campina Grande, 2019.

66 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito".

Referências.

1. Meteorologia de Meso e Grande Escalas. 2. Evapotranspiração. 3. Penman-Monteith-FAO. 4. Thornthwaite-Mather. 5. Classificação Climática – UNEP. I. Brito, José Ivaldo Barbosa de. II. Título.

CDU 551.515.6(043)

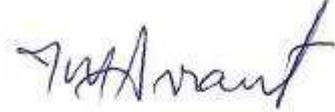
ELITON SANCLER GOMES SALES

CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS SEMIÁRIDAS E SUBÚMIDAS SECAS  
UTILIZANDO DIFERENTES ÍNDICES CLIMÁTICOS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/02/2019

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Profa. Dra. JOSEFINA MORAES ARRAUT  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. JOÃO HUGO BARACUY DA CUNHA CAMPOS  
Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde  
Universidade Estadual da Paraíba

*À Deus.*

*Ao meu pai Eliel Lucas de Sales (In memoriam).*

*A toda minha família, em especial minha mãe Maria da Salete Gomes Sales e minha segunda mãe, minha tia Josefa Gomes dos Santos.*

*Aos meus amigos que me acompanharam e sempre estiveram ao meu lado me apoiando.*

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por ter me concedido a vida, saúde, inteligência e perseverança para nunca desistir dos meus sonhos.

À toda minha família, meus pais Maria da Salete Gomes Sales e Eliel Lucas de Sales, meus irmãos Evanuzia Suzana Sales, Maria Elizete Sales, Erica Maria Sales, Eraldo Gomes Sales, José Vanilson Sales, Erasmo Carlos Sales e a minha segunda mãe, minha tia Josefa Gomes dos Santos, pela força e apoio que me deram desde a graduação e continuam me dando, principalmente nos momentos mais difíceis.

À Universidade Federal de Campina Grande, em especial ao Programa de Pós Graduação em Meteorologia onde tive a oportunidade de cursar o Mestrado com ensino de qualidade onde me proporcionou uma ótima capacitação profissional e me mostrou que sou e fui capaz de vencer os diversos obstáculos colocados em minha vida no decorrer destes dois anos. Aos meus amigos de caminhada da Pós Graduação, Karla Caren, Mayara Moura, Alfredo, Wendy e demais.

Aos meus amigos e irmãos, Manuel Galdino pelo apoio, torcida e carinho no decorrer destes anos, Fabiano Araújo, Ghislayne Tavares, Sarah Lourrayne, Tatyane Medeiros, Emanuelle Ferreira, Daniel Góes e demais, meu obrigado pela amizade e contribuições direta ou indiretamente para a realização deste meu sonho.

À todos os professores e técnicos que fazem parte dessa instituição e que fizeram parte durante minha caminhada desta Pós Graduação. Em especial, ao meu Professor, amigo e orientador, José Ivaldo de Brito por ter confiado e acreditado na minha capacidade, que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa, pelas orientações, dicas, conselhos, incentivos e por sempre ter me ajudado nas horas em que precisei.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa que me possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores que aceitaram em participarem da banca de defesa, Dr. João Hugo Baracuy da Cunha Campos e Dra. Josefina Moraes Arraut, meu sincero obrigado pela participação e sugestões para a melhoria do trabalho.

*“Eu nunca perco. Ou eu ganho, ou eu aprendo!”*

*Nelson Mandela.*

## RESUMO

O presente trabalho visa mostrar que, utilizando métodos objetivos, a delimitação das áreas do semiárido pode sofrer alterações, conforme o método utilizado. Para tanto, foram usados dados climatológicos das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET dos nove estados do Nordeste, do norte de Minas Gerais e Espírito Santo e do oeste de Goiás. Para classificação climática foram usados os índices efetivo de umidade de Thornthwaite ( $I_m$ ) e de aridez do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente ( $I_{aUNEP}$ ), enquanto, para a estimativa da evapotranspiração potencial foram utilizados os métodos de Thornthwaite e Penman Monteith FAO - PMF, também foi empregado valores fixos da capacidade máxima de água disponível no solo (CAD) de 100 e 50 mm para verificar sua influência na classificação climática conforme o Índice Efetivo de Umidade calculados pela estimativa da  $ET_0$  por PMF e Thornthwaite. Os resultados mostram que o uso da evapotranspiração estimada por PMF apresentam uma  $ET_0$  bem mais elevada quando comparada por Thornthwaite, levando a uma classificação climática mais árida, para as áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas. Para as áreas áridas e semiáridas estimadas com  $I_m$  e  $ET_0$  por PMF apresentam um aumento percentual de 185,000 km<sup>2</sup> (377,46%) para o clima árido e 78,500 Km<sup>2</sup> (10,1%) para o semiárido, quando comparado com o  $I_m$  e  $ET_0$  por Thornthwaite, obtendo-se condições de aridez e semiaridez mais elevada. A classificação climática com o  $I_{aUNEP}$  e  $ET_0$  por PMF apresentou também um aumento de quase 100% para o clima semiárido quando comparada o  $I_{aUNEP}$  e  $ET_0$  por Thornthwaite, mas com uma redução de até 50% do clima árido quando comparado o  $I_{aUNEP}$  e  $ET_0$  por PMF com  $I_m$  e  $ET_0$  por PMF. Ao analisar os valores fixos da CAD que foram utilizados para calcular o índice  $I_m$  com a estimativa da  $ET_0$  por PMF e Thornthwaite, observamos que a redução do valor da CAD em 50% não apresentou variações significativas que alterassem o tipo de clima das áreas em estudo.

**Palavras-Chave:** Nordeste Brasileiro, Penman-Monteith-FAO, Thornthwaite-Mather, UNEP.

## ABSTRACT

The present research aims to show that even using quantifying methods, the delimitation of the semiarid areas can undergo changes, according to the method used. Climatological data from the meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET) were used of the nine states of the Northeast, northern Minas Gerais and Espírito Santo and western Goiás. The climate classification was based on effective moisture indexes of Thornthwaite ( $I_m$ ) and aridity of the United Nations Environment Program ( $I_{aUNEP}$ ). For the estimation of potential evapotranspiration, we used the Thornthwaite and PMF methods. We also used fixed values of the available water capacity in the soil (AWC) of 100 and 50 mm to verify AWC influence on the climate classification according to the effective moisture index and the  $ET_0$  estimate by PMF and Thornthwaite. The results show that the use of potential evapotranspiration estimated by PMF has a much higher  $ET_0$  when compared to that estimated by Thornthwaite, leading to a more arid climatic classification for the arid, semi-arid, dry sub-humid and humid sub-humid lands. For the arid and semi-arid areas estimated with  $I_m$  and  $ET_0$  by PMF, there is an increase of approximately 185,000 km<sup>2</sup> (377%) for the arid climate and 78,500 Km<sup>2</sup> (10%) for the semiarid, when compared to  $I_m$  and  $ET_0$  by Thornthwaite, resulting in higher conditions of aridity and semi-aridity. The climate classification with  $I_{aUNEP}$  and  $ET_0$  by PMF also showed an almost 100% increase in the semi-arid climate when compared to  $I_{aUNEP}$  and  $ET_0$  by Thornthwaite, but with a reduction of up to 50% in the arid climate when compared to  $I_{aUNEP}$  and  $ET_0$  by PMF with  $I_m$  and  $ET_0$  by PMF. When analyzing the AWC fixed values, which were used to calculate the  $I_m$  index with  $ET_0$  estimate by PMF and Thornthwaite, we note that reducing the value of AWC by 50% did not show significant variations that alter the type of climate of the study geographic area.

**Keywords:** Northeast Brazil, Penman-Monteith-FAO, Thornthwaite-Mather, UNEP.

## LISTA DE SIGLAS

<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>ZCIT</b>	Zona de Convergência Intertropical
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>AR5</b>	Quinto Relatório de Avaliação do IPCC
<b>UNEP</b>	United Nations Environment Programme
<b>I<sub>a</sub></b>	Índice de Aridez
<b>I<sub>u</sub></b>	Índice de Umidade
<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	Índice de Aridez da UNEP
<b>I<sub>m</sub></b>	Índice Efetivo de Umidade
<b>FAO</b>	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
<b>ET<sub>0</sub></b>	Evapotranspiração Potencial
<b>ETR</b>	Evapotranspiração Real
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>TSM</b>	Temperatura da Superfície do Mar
<b>ENOS</b>	El Niño Oscilação do Sul
<b>SUDENE</b>	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
<b>GTI</b>	Grupo de Trabalho Interministerial
<b>CONDEL</b>	Conselho Deliberativo da SUDENE
<b>CAD</b>	Capacidade de Água Disponível no Solo
<b>PMF</b>	Penman Monteith - FAO

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b>	Médias climatológicas anuais: (a) precipitação (mm/ano), (b) evapotranspiração potencial (mm/ano), (c) insolação (horas/ano) e (d) umidade relativa do ar (%) no Nordeste do Brasil.	09
<b>Figura 2.2</b>	Mapa da delimitação do Semiárido Brasileiro para os anos de 2005 e 2017.	17
<b>Figura 3.1</b>	Distribuição espacial das 110 estações meteorológicas do INMET utilizadas na presente pesquisa.	22
<b>Figura 4.1</b>	Configuração espacial da precipitação média anual (mm/ano) sobre o Nordeste e norte de Minas Gerais usando dados de 110 estações meteorológicas do INMET.	30
<b>Figura 4.2</b>	Configurações espaciais da evapotranspiração potencial, no Nordeste do Brasil, obtidas pelos métodos: (a) Thornthwaite e (b) PMF.	32
<b>Figura 4.3</b>	Configuração espacial do CAD (mm) no Nordeste do Brasil.	33
<b>Figura 4.4</b>	Classificação climática de acordo com o $I_m$ quando estima a $ET_0$ pelos métodos: (a) Thornthwaite e (b) PMF.	35
<b>Figura 4.5</b>	Classificação climática de acordo com o $I_{aUNEP}$ quando estima a $ET_0$ pelos métodos: (a) Thornthwaite e (b) PMF.	36
<b>Figura 4.6</b>	Classificação climática de acordo com o Índice Efetivo de Umidade ( $I_m$ ) quando calculado pela $ET_0$ de Thornthwaite empregando CAD = 100 e 50 mm.	39
<b>Figura 4.7</b>	Classificação climática de acordo com o Índice Efetivo de Umidade ( $I_m$ ) quando calculado pela $ET_0$ de PMF empregando CAD = 100 e 50.	40

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 2.1</b>	Número de municípios abrangidos pelo semiárido brasileiro conforme a portaria de 2005 do Ministério da Integração Nacional.	15
<b>Tabela 2.2</b>	Número de municípios abrangidos pelo semiárido brasileiro conforme a Resolução nº 115, de 23 de novembro de 2017.	16
<b>Tabela 3.1</b>	Classificação Climática de acordo com o $I_{aUNEP}$ .	24
<b>Tabela 3.2</b>	Classificação do tipo de Clima de acordo com o $I_m$ .	25
<b>Tabela 3.3</b>	Valor do NDA de cada mês.	29
<b>Tabela 4.1</b>	Cálculo das áreas para cada tipo de clima classificado com o índice efetivo de umidade e aridez da UNEP quando calculados com a $ET_0$ de Thornthwaite e PMF. Dados referentes às Figuras 03 – A, B e Figuras 04 - C, D, respectivamente.	38

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	5
<b>1.1. OBJETIVOS</b> .....	7
1.1.1. Objetivo Geral.....	7
1.1.2. Objetivos Específicos.....	7
<b>1.2. JUSTIFICATIVA</b> .....	7
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	8
2.1. O Clima do Nordeste Brasileiro.....	8
2.2. Variabilidade Climática do Seminário do Nordeste do Brasil .....	12
2.3. A delimitação do Semiárido Brasileiro .....	14
2.4. Classificação Climática.....	18
2.5. Índices de Aridez, Umidade e Efetivo de Umidade.....	20
2.6. Capacidade de Água Disponível no Solo.....	21
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	22
3.1. Área de Estudo.....	22
3.2. Dados .....	23
3.4. Metodologia .....	23
3.4.1. Cálculo do Índice de aridez do UNEP .....	24
3.4.2. Cálculo do Índice de Aridez de Thornthwaite .....	24
3.4.3. Cálculo do Índice de umidade de Thornthwaite .....	24
3.4.4. Cálculo do Índice efetivo de umidade de Thornthwaite .....	25
3.4.5. Cálculo da Evapotranspiração Penman-Monteith-FAO .....	25
3.4.6. Cálculo da Evapotranspiração Potencial Método de Thornthwaite.....	28
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	30
4.1. Configurações espaciais.....	30
4.2. Classificação Climática.....	34

4.3. Classificação Climática com CAD Fixo .....	39
<b>5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>42</b>
5.1. Conclusões .....	42
5.2. Sugestões.....	42
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>49</b>
Apêndice A – Capacidade de Água Disponível no Solo .....	49
Apêndice B – Valores dos Índices de Aridez e de Umidade .....	52
Apêndice C – Classificação Climática de cada Município .....	55

## 1. INTRODUÇÃO

O Semiárido Brasileiro compreende 1,128 milhão de km<sup>2</sup> (13,2% da área do País) e reúne uma população de 27,87 milhões de pessoas (estimativa do IBGE para 2017) (13,4% da população brasileira) vivendo em 1.262 municípios de dez estados da Federação: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, além da região norte do estado de Minas Gerais, constituindo um dos maiores e mais populosos do mundo (Brasil, 2017).

A disponibilidade natural de água na região Semiárido do Brasil é caracterizada pela distribuição espacial e temporal das chuvas, que são bastante irregulares, apresentam baixos totais médios anuais e extensos períodos de estiagem (Nys e Engle, 2014; Hastenrath, 2012). Os distintos sistemas de circulação atmosférica que atuam nesta região tornam a climatologia complexa, refletindo em uma extensa variabilidade climática, considerando as chuvas, com eventos de precipitação variando no tempo e no espaço, como por exemplo, os extensos períodos de estiagem que são influenciados pelo El Niño, trazendo como consequência danos irreparáveis à população da região, particularmente àqueles que retiram seu sustento da atividade agrícola, em especial a agricultura familiar. (Rodriguez et al., 2015; Cavalcanti, 2012).

A propósito, regiões semiáridas recebem este nome por estarem inseridas em áreas de clima semiárido, ou seja, que apresenta um grau de aridez relativamente elevado, conforme Oliveira (2014), o clima, de um determinado local, é composto por diversos elementos, como radiação solar, precipitação, temperatura do ar, umidade do ar, vento, pressão atmosférica, evapotranspiração entre outros, e que é importante avaliar a ação desses no ambiente. A variabilidade é um dos meios mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto provocado por essa variabilidade, mesmo dentro do aguardado pode ter representações expressivos nas atividades humanas.

Vale salientar que a área semiárida do Brasil é limitada ao leste por uma região úmida, a mata atlântica, ao oeste pela floresta tropical chuvosa da Amazônia e ao sul e sudoeste pelas áreas subúmida úmida de Minas Gerais, Goiás e Tocantins. Além disso, sobre o oceano Atlântico ao norte do Nordeste observa-se um gradiente positivo de precipitação em direção à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Mesmo estando em uma área circuladas por regiões úmidas e subúmida úmida, pesquisas apontam para um aumento da aridez na região Nordeste, principalmente devido ao aumento da temperatura do ar, a exemplo de Almeida et al. (2015) que expõe uma tendência significativa de avanço da temperatura média para o Nordeste do Brasil para o período

de 2017 a 2100. No quinto relatório de avaliação (AR5) do IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change – (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) registra, para o RCP4.5, aumento da temperatura média no Nordeste de 1,7°C a 2,5°C, em relação ao valores atuais, para o período de 2017 a 2100, enquanto, para a precipitação aponta uma diminuição de até 7% (IPCC, 2013).

Além dos números apresentados no AR5 do IPCC (2013), Marengo et al. (2011) descreveram que para todo o Nordeste há uma tendência de acentuação do clima mais seco, diminuições da precipitação e, por consequência, aumento da carência hídrica, ambos integrados com os acréscimos da temperatura do ar. As alterações climáticas que originam diminuição da disponibilidade hídrica têm consequências prejudiciais nos âmbitos social e econômico, como desemprego, desestruturação do setor agrícola, dificuldades de saúde e aumento de emigração.

Devido às discussões sobre mudanças climáticas globais e em particular no Nordeste do Brasil apontar para um aumento da área semiárida, em 2004 o Ministério da Integração, instituiu um grupo de trabalho interministerial objetivando estabelecer critérios técnicos para delimitação da área semiárida do Brasil (SUDENE, 2017). Entre os critérios definidos pelo grupo de trabalho, um foi o índice de aridez do UNEP (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – sigla em inglês – United Nations Environment Programme), que apresenta um valor numérico para classificar uma área como semiárida. Também ficou estabelecido que a delimitação das áreas semiáridas deveria ser revista a cada dez anos.

É oportuno descrever que mesmo apresentado um valor numérico para fazer uma classificação climática, o índice de aridez do UNEP ( $I_{aUNEP}$ ) (UNEP, 1992) depende da estimativa da evapotranspiração potencial, que pode apresentar valores diferentes para a mesma localidade e período, conforme o método de estimativa utilizado. Além disso, o  $I_{aunep}$  não é o único método que informa um valor numérico para executar uma classificação climática, existe outro, com, por exemplo, o índice efetivo de umidade de Thornthwaite ( $I_m$ ) (Thornthwaite, 1948).

Deste modo, o presente estudo propõem calcular os índices climáticos  $I_m$  e  $I_{aunep}$  para o nordeste brasileiro, utilizando para estimativa da evapotranspiração potencial,  $ET_0$ , pelos métodos de Thornthwaite (1948) e Penman-Monteith-FAO (PMF) (Allen et al., 1998), neste último, nos estudo agroclimáticos a  $ET_0$  é denominada de evapotranspiração de referência, entretanto, para os propósitos desta pesquisa é

apropriado denominar de evapotranspiração potencial, por fim, realizar a classificação climática e analisar possíveis discrepâncias obtidas conforme o índice utilizado e o método de estimativa da evapotranspiração.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Verificar possíveis variações na delimitação de áreas semiárida no Nordeste do Brasil, conforme o índice climático utilizado para classificação do clima regional  $I_{aUNEP}$  e  $I_m$  e o método de estimativa da  $ET_0$ , Thornthwaite (1948) e PMF.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Executar a classificação do clima das localidades do Nordeste e Norte de Minas que dispõem de estação meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia);
- Realizar a classificação climática do Nordeste Brasileiro, utilizando os índices climáticos de aridez ( $I_a$ ) de Thornthwaite (1948), umidade ( $I_u$ ), efetivo de umidade ( $I_m$ ) e o índice de aridez da UNEP ( $I_{aUNEP}$ ) por meio dos dados de estações meteorológicas no período de 1981 a 2010;
- Verificar se a modificação da capacidade máxima de água disponível no solo (CAD) pode levar a classificação climática diferente.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

A demarcação da área do semiárido brasileiro tem gerado muitas discussões técnicas e políticas, tanto em relação aos critérios a serem adotados e os métodos de estimativas dos critérios definidos. Como já mencionado anteriormente, um dos critérios é o  $I_{aUNEP}$ , que mesmo apresentando um valor numérico para cada localidade tem sido motivo de controvérsia, em relação ao valor a ser adotado, 0,50 ou 0,65. Portanto, realizar pesquisa buscando informações para verificar a eficácia e a robustez do critério adotado, a sua independência do método utilizado para a sua estimativa, ou seja, se um valor do índice obtido por um método apresenta o mesmo grau de aridez de um outro método, bem como a comparação do índice utilizado com outros da literatura, também cientificamente aceito como um bom estimador do grau de aridez, é relevante e plenamente justificável.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

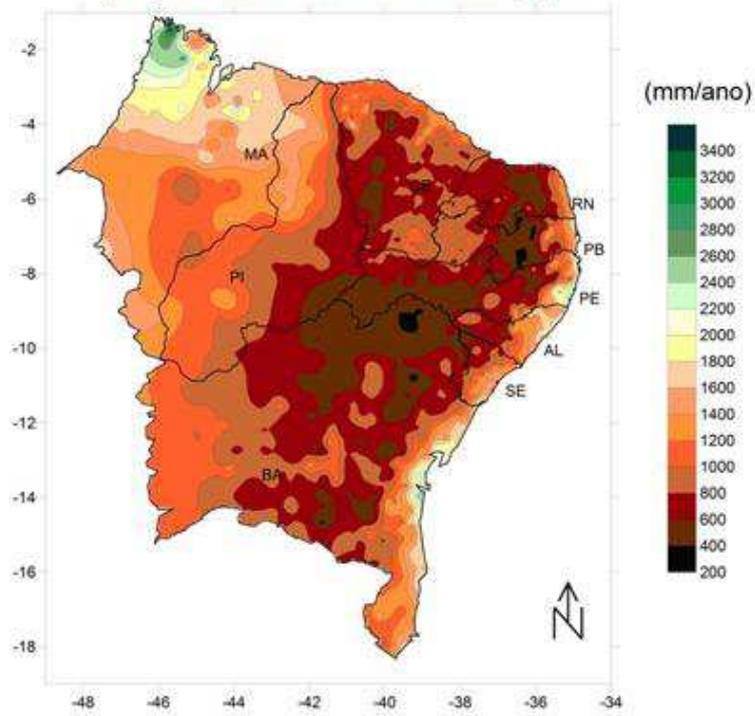
### **2.1. O Clima do Nordeste Brasileiro**

O nordeste brasileiro localiza-se entre os paralelos de 1 e 18 graus de latitude sul, o que poderia ser um fator de intensa influência para uma adequada distribuição e volume de chuvas. No entanto, as precipitações médias na parte do interior da região variam entre 500 a 800 mm/ano, valores estes que poderiam ser considerados elevados em comparação com as precipitações médias de outras áreas semiáridas do mundo. Entretanto, o balanço hídrico na região nordeste do Brasil é altamente deficitário devido às elevadas taxas de evapotranspiração, decorrentes dos altos índices de insolação que excedem de 3.200 horas/ano, ventos moderados e umidade relativa do ar relativamente baixa (Nimer, 1989).

A proposito, as Figuras 2.1a, 2.1b, 2.1c e 2.1d, mostram as configurações médias climatológicas anuais, respectivamente, da precipitação (mm/ano), evapotranspiração potencial (mm/ano), insolação (horas/ano) e umidade relativa do ar (%) no Nordeste Brasileiro, conforme a Normal Climatológica do Brasil (1981-2010), exceto a precipitação que abrange as estações do INMET e outras localidades de órgãos públicos estaduais. Na Figura 2.1a observa-se que na parte central da região, em uma grande área que se estende do litoral norte do Rio Grande do Norte até o extremo sul da Bahia, precipitação inferior a 800 mm/ano. Ressalta-se que este valor foi escolhido pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) no ano de 1989 como limitador de áreas semiáridas. Entretanto, as características de áreas semiáridas também podem ser observadas em outras variáveis meteorológicas, tais como: evapotranspiração potencial, com valores superiores a 2200 mm/ano na parte central do Nordeste (Figura 2.1b), insolação superior a 2500 h/ano (Figura 2.1c) e umidade relativa do ar inferior a 68% (Figura 2.1d). Portanto, no computo de delimitação de áreas áridas, semiáridas, subúmidas secas e subúmidas úmidas é oportuno considera mais de uma variável meteorológica.

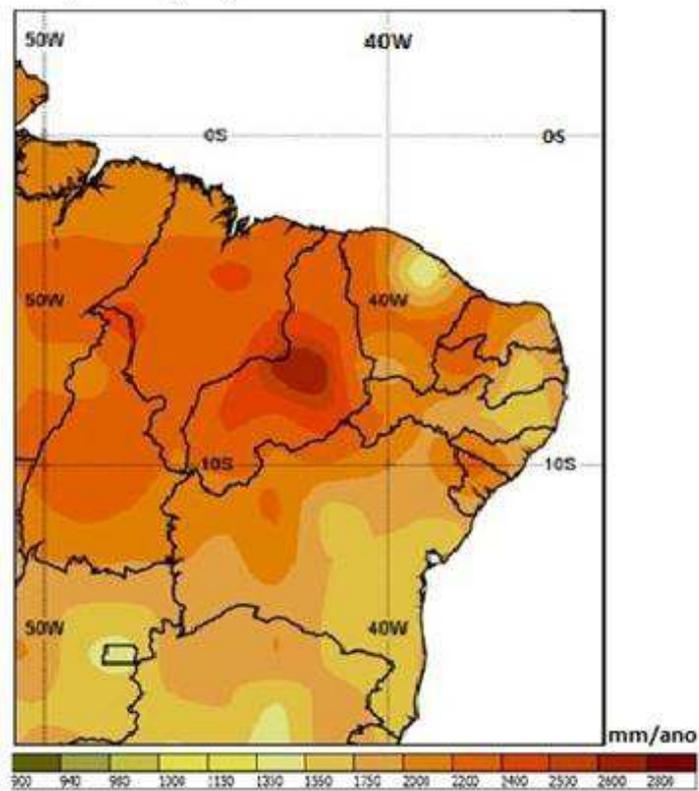
(a)

### Precipitação Média Anual (Órgãos Estaduais de Meteorologia)

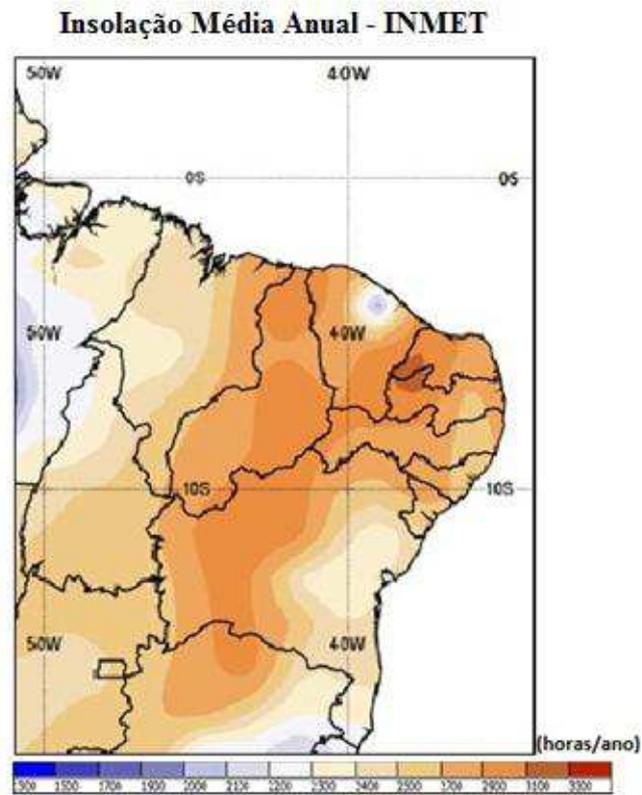


(b)

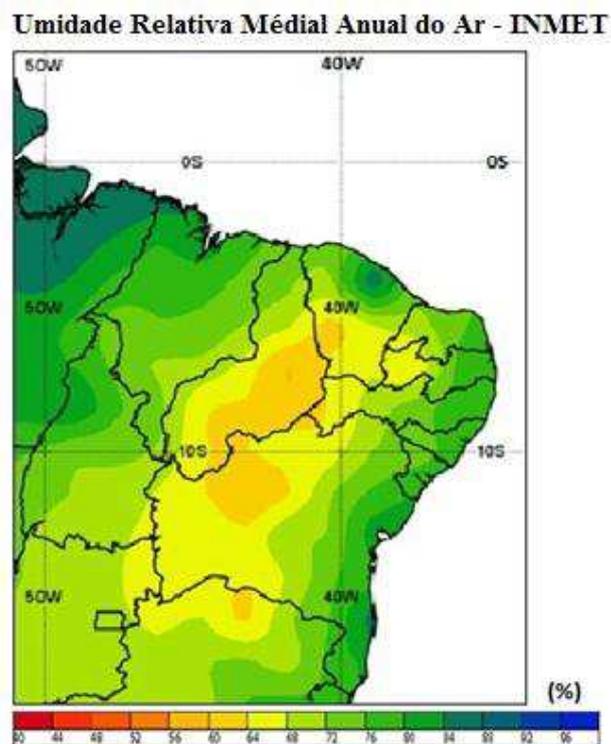
### Evapotranspiração Medial Anual - INMET



(c)



(d)



**Figura 2.1.** Médias climatológicas anuais: (a) precipitação (mm/ano), (b) evapotranspiração potencial (mm/ano), (c) insolação (horas/ano) e (d) umidade relativa do ar (%) no Nordeste do Brasil.

**Fonte:** Adaptado de INMET (2018), exceto 2.1a Órgãos Estaduais de Meteorologia.

Segundo Nóbrega e Santiago (2016) as regiões semiáridas são uma das mais vulneráveis às mudanças climáticas porque em condições de aumento de temperatura e mudanças na precipitação podem se tornar regiões áridas, implicando em alterações não só climáticas, mas fitogeográficas, práticas econômicas e sociais. Na América do Sul existem três grandes áreas semiáridas: a região de Guajira, na Venezuela e Colômbia, a diagonal seca do Cone Sul ao longo de Argentina, Chile, Bolívia, Peru e Equador, e a região do Nordeste do Brasil, que é caracterizada por temperaturas médias anuais elevadas e alta variabilidade espaço temporal da precipitação, com predomínio fitogeográfico da caatinga.

A princípio, uma das razões que torna o semiárido do Brasil vulnerável as mudanças climáticas é ser a região semiárida mais povoada do mundo. De maneira geral, a influência climática oceânica desempenha papel primordial nos níveis pluviométricos da região, surgindo assim questionamentos sobre o comportamento da climatologia da temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico Tropical e do Pacífico Equatorial em um período aonde se busca ênfases de mudanças climáticas globais e os impactos que podem ser potencializados ou até mesmo surgir (Nóbrega e Santiago, 2016).

Quando se fala de vulnerabilidade e variações climáticas em muitas ocasiões são empregados os modelos de previsão de mudanças climáticas para projetar cenários. Marengo (2008) avaliou os diferentes modelos e as previsões de precipitação e temperatura para o Brasil. O autor analisou que sobre o nordeste do Brasil há abundante divergência entre os modelos, com previsões de redução a aumento de chuva. Entretanto, são comuns ao identificar mudanças nas temperaturas, com acréscimo dos valores, o que provocaria em mudanças no balanço hídrico da região.

A variabilidade climática e os seus impactos sempre foram presentes na história da humanidade e ultimamente vêm deixando o mundo em alerta e provocando aos pesquisadores descobrir as aceleradas e severas mudanças do clima no mundo. Uma projeção quase que unânime é que a intensidade desses eventos aumentará, adicionando a este fato, o problema de gerenciamento de planos para a adaptação e a diminuição de seus efeitos, devido à impossibilidade de prevê-los com precisão (Kobiyama et al., 2011).

## **2.2. Variabilidade Climática do Seminário do Nordeste do Brasil**

As consequências da variabilidade climática e provavelmente das mudanças climáticas vêm comprometendo todo o planeta com desastres em ampla escala, com alterações na agricultura e recursos hídricos no passar dos anos, tornando necessário compreender esta variabilidade para a busca de melhores adaptações e diminuição de seus efeitos (Pereira et al., 2017). Assis et al., (2015) descreveram que as mudanças do clima têm influenciado cada vez mais a escassez hídrica, especialmente em áreas áridas e semiáridas do planeta, destacando o semiárido do Nordeste do Brasil, sendo que a região apresenta uma ampla tendência à aridização, seguida de redução da oferta hídrica em função de alterações nos padrões pluviométricos, com provável diminuição da frequência e intensidade das chuvas e aumento da temperatura do ar.

Ressalta-se que, Assis et al. (2015) e Nobre et al. (2001) mencionaram que a acentuada variabilidade da precipitação agregada aos totais anuais pluviométricos relativamente baixos, sobre a Região Nordeste do Brasil, constitui uma característica marcante do clima da região com a ocorrência dos eventos de “secas”, as quais são distinguidas por marcante redução do total pluviométrico sazonal durante o período de fevereiro a maio. Essa região também é caracterizada com elevado potencial para evaporação da água, devido à grande disponibilidade de energia solar, as temperaturas elevadas e a baixa umidade do ar.

Com relação ao período de fevereiro a maio, enfatizado por Assis et al. (2015) e Nobre et al. (2001), torna-se conveniente informar que o Nordeste exibe uma variabilidade espacial e intrasazonal das chuvas, o que determina pelo menos três regimes de precipitação em três áreas distintas: uma área mais ao norte, aonde as precipitações expressivas acontecem de fevereiro a maio; a faixa litorânea leste que se estende do Rio Grande do Norte ao sudeste da Bahia, com estação chuvosa entre maio-julho; e uma terceira região que compreende boa parte da Bahia e sul do Piauí e Maranhão, nos quais os máximos de precipitação acontecem de novembro a janeiro (Menezes et al., 2003).

Conforme De Souza (2017), a aridez do semiárido nordestino, ao longo dos anos, pode ser acentuada ou enfraquecida diretamente pelos modos de variabilidade climática global, principalmente, o El Niño Oscilação do Sul (ENOS) e o Gradiente do Atlântico Tropical. O ENOS incide de uma componente oceânica, o El Niño (EN) (aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico equatorial central leste), modo

acoplado oceano-atmosfera e de uma componente atmosférica, a Oscilação Sul (OS) (flutuação no campo de anomalia de pressão ao nível médio do mar entre as regiões da alta subtropical do Pacífico Sudeste e do sistema de baixa pressão Pacífico Oeste próximo ao norte da Austrália). O nome El Niño faz referência ao “Menino Jesus”, uma vez que desde o século XVI, os pescadores do Peru/Equador nomearam o aquecimento das águas do mar com esse nome, já que ocorria próximo do Natal. O El Niño está diretamente relacionado com precipitações abaixo da média no Norte e Nordeste do Brasil. O fenômeno que causa anomalias opostas ao do El Niño é conhecido como La Niña (Kayano e Capistrano, 2014).

Outro fenômeno oceânico/atmosférico que apresenta grande influência na variabilidade do clima do Nordeste é o gradiente meridional de anomalia de TSM no Atlântico Tropical, conhecido como Gradiente do Atlântico Tropical, que consiste em uma configuração espacial de anomalia de TSM apresentando um gradiente na direção sul-norte com sinais opostos, em diferentes anos. Nos anos em que no período da estação chuvosa do Semiárido o gradiente é positivo tende a ser um ano com poucas chuvas, ou seja, precipitação inferior à média, o inverso é observado nos anos com gradiente negativo (Hastenrath, 2012).

A variabilidade interanual da pluviometria sobre o Nordeste está associada a variações de padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, os quais afetam a posição e a intensidade da ZCIT sobre o Oceano Atlântico, modulando assim a pluviometria sobre o norte do Nordeste (Hastenrath e Heller, 1977; Hastenrath, 1984; Moura e Shukla, 1981). De acordo com Corrêa et al., (2017 apud Uvo, 1989) o máximo de precipitação no norte do Nordeste, principalmente nos estados do Maranhão, Ceará, oeste do Rio Grande do Norte e interior da Paraíba e Pernambuco, ocorre no período de fevereiro a maio e deve-se ao deslocamento da ZCIT para latitudes mais ao sul, a qual influencia diretamente na qualidade do período chuvoso da região.

No semiárido brasileiro, ainda em períodos considerados de não estiagem, há uma alta ocorrência de veranicos, que são caracterizados como consecutivos dias sem precipitação, apresentando forte insolação, calor intenso, baixa umidade relativa e, por conseguinte uma máxima taxa de evapotranspiração durante a estação chuvosa, o que compromete o desenvolvimento da agricultura nesta região (Nobre et al., 2004).

Os modos de variabilidade climática global que influenciam a variabilidade intrasazonal das chuvas sobre Nordeste brasileiro, provocando maior ou menor aumento dos veranicos. As influências mais acentuadas são inteiramente sentidas na migração

latitudinal da ZCIT que está unida ao gradiente meridional de TSM sobre o Atlântico Tropical. Por sua vez, alterações anômalas ou naturais nas características da ZCIT vislumbram diretamente na distribuição temporal e espacial da precipitação regional, que pode levar a ciclos de estiagem intercalados com eventos de chuvas intensas em escalas intrasazonal sazonal e interanual (Moura e Shukla, 1981; Mechoso et al., 1990).

A breve análise dos artigos citados nesta seção demonstra que há destaques observacionais de que as chuvas no Semiárido do Nordeste Brasileiro são influenciadas pelas condições de grande escala dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. Assim sendo, o conhecimento da Climática do Semiárido do Nordeste do Brasil é substancial para a definição de políticas públicas preocupadas com a convivência das estiagens e planos de abastecimentos de água em anos anômalos.

### **2.3. A delimitação do Semiárido Brasileiro**

O Semiárido brasileiro teve sua primeira delimitação realizada conforme a Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989, na qual foi definida como a região inserida na área de atuação da SUDENE com precipitação média pluviométrica anual igual ou inferior a 800 mm, tendo sua primeira atualização em 1995, por meio da portaria nº 1.181 da SUDENE. Em 29 de março de 2004, através da Portaria Interministerial nº 6, foi constituído o Grupo de Trabalho Interministerial (GTI) para, em 120 dias, apresentar estudos e propostas de critérios que definissem a área compreendida pelo semiárido brasileiro. O GTI definiu os seguintes critérios para a inclusão de municípios no Semiárido: (1) precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; (2) índice de aridez do UNEP de até 0,5 (considerando o período entre 1961 e 1990); (3) risco de seca maior que 60% (período de 1970 a 1990), e (4) a contiguidade dos municípios (SUDENE, 2017). Seguindo as recomendações do GTI, no dia 10 de março de 2005, o Ministro da Integração Nacional assinou, na cidade de Almenara, no nordeste de Minas Gerais, a portaria interministerial nº 01 de 2005, que instituiu, até então, a nova delimitação do semiárido brasileiro.

Ressaltando-se a metodologia do GTI da portaria interministerial nº 06 de 2004, foi aplicada consistentemente a todos os municípios que pertenciam à área de atuação da SUDENE à época, resultando em 1.133 municípios pertencentes ao semiárido. A Tabela 2.1 apresenta um resumo da evolução do número de municípios pertencente ao semiárido anterior a 2005 e após a portaria interministerial nº1 de 2005 do Ministério da Integração Nacional. A área total informada na Tabela 2.1 é referente à área geográfica

de atuação da SUDENE, que abrangem os nove estados do Nordeste e o norte de Minas Gerais e do Espírito Santo

**Tabela 2.1.** Número de municípios abrangidos pelo semiárido brasileiro conforme a portaria de 2005 do Ministério da Integração Nacional

Estado	Total de Municípios	Nº municípios no semiárido				Área Total (Km²)	Área no semiárido	
		Anterior a 2005	Incluídos em 2005	Total em 2005	%		(km²)	%
Alagoas	102	35	3	38	37.25	27.819	12.687	45.61
Bahia	417	257	8	265	63.55	564.693	393.056	69.61
Ceará	184	134	16	150	81.52	148.825	126.515	85.01
Minas Gerais	853	40	45	85	9.96	586.528	103.590	17.66
Paraíba	223	170	0	170	76.23	56.440	48.785	86.44
Pernambuco	185	118	4	122	65.95	98.312	86.710	88.2
Piauí	223	109	18	127	56.95	251.530	150.454	59.82
R. G. do Norte	167	140	7	147	88.02	52.797	49.590	93.93
Sergipe	75	28	1	29	38.67	21.910	11.176	51.01
<b>Total</b>	<b>2.429</b>	<b>1.031</b>	<b>102</b>	<b>1.133</b>	<b>46.6</b>	<b>1.808.854</b>	<b>982.563</b>	<b>54.32</b>

**Fonte:** Adaptado de BRASIL, Ministério da Integração Nacional (2005).

De acordo com as sugestões do relatório do GTI de 2004, devido a possíveis mudanças e variabilidades climáticas, a delimitação do Semiárido deveria ser revista a cada década. Deste modo, o Ministério da Integração Nacional criou, em 27 de maio de 2014, um Grupo de Trabalho (GT-2014) que, após revisões, decidiu conservar tanto os critérios definidos pelo GTI em 2004 como a questão da contiguidade, modernizando apenas os dados meteorológicos para o período de 1981-2010, para os três primeiros critérios. Como consequência, a nova delimitação passou a ser composta por 1.189 municípios.

O relatório conclusivo do GT-2014, assim como sua minuta de resolução, ficaram submetidos à apreciação e aprovados em 27 de julho de 2017 na XXI Reunião do Conselho Deliberativo (CONDEL) da SUDENE, admitindo aos Estados da Superintendência, no prazo de até 60 dias, recursos à delimitação proposta. Os estados do Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Bahia recorreram com o objetivo de inserir municípios no Semiárido. O GT-2014, após o diagnóstico dos pedidos dos estados e recálculo dos indicadores, recomendou a abrangência de 49 municípios à delimitação. A SUDENE, após a análise do novo relatório, indicou ao CONDEL que, além daqueles municípios acrescentados pela revisão do GT-2014, fossem incluídos mais 24 municípios, provenientes dos recursos dos estados, que fazem fronteiras com o

limite do Semiárido, sendo 22 municípios por variabilidade nos indicadores, e dois por contiguidade. Todas estas sugestões foram aceitas pelo CONDEL que, por meio da Resolução n° 115, de 23 de novembro de 2017, definiu a nova delimitação do Semiárido brasileiro com 1.262 municípios (Brasil, 2017).

Atualmente, o Semiárido brasileiro possui uma nova configuração com 127 municípios a mais em comparação com a resolução de 2005. A Tabela 2.2 mostra o número de município de cada estado referente à nova delimitação do Semiárido brasileiro realizada em 2017.

**Tabela 2.2.** Número de municípios abrangidos pelo semiárido brasileiro conforme a Resolução n° 115, de 23 de novembro de 2017.

Semiárido	N° de Municípios	Área (Km <sup>2</sup> )	N° de habitantes	Densidade (Hab/km <sup>2</sup> )
Alagoas	38	12.646	962.641	76
Bahia	278	445.613	7.675.656	17
Ceará	175	146.945	5.827.192	40
Maranhão	2	3.547	213.693	60
Minas Gerais	91	121.215	1.492.198	12
Paraíba	194	51.335	2.498.117	49
Pernambuco	123	86.145	3.993.975	46
Piauí	185	200.301	2.805.394	14
Rio G. do Norte	147	49.098	1.922.440	39
Sergipe	29	11.106	478.935	43
<b>Total</b>	<b>1.262</b>	<b>1.127.953</b>	<b>27.870.241</b>	<b>25</b>

**Fonte:** Adaptado de BRASIL, Ministério da Integração Nacional (2017).

A importância do município está inserido na região semiárida o torna apto a ter acesso a políticas públicas específicas, como, por exemplo, crédito diferenciado em financiamentos do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste e condições favoráveis de negociações de débitos com o Governo Federal conforme estabelecido pela Lei n. 13.349, de 28 de setembro de 2016. Além disso, as prefeituras podem solicitar o apoio federal para ações emergenciais de enfrentamento ao período de seca, entre outras medidas que reduzam os impactos da escassez hídrica nas regiões em situação de emergência ou calamidade pública.

As Figuras 2a e 2b mostram o aumento das áreas oficialmente semiáridas no Brasil, ao longo do tempo, para os anos de 2005 e 2017, respectivamente. A Figura 2.1a mostra o limite do semiárido brasileiro com o número de 1.135 municípios e a Figura 2.2b com 1.262 municípios e área de atuação da SUDENE, conforme a Resolução n° 115, de 23 de novembro de 2017.

(a)



(b)



**Figura 2.2.** Mapa da delimitação do Semiárido Brasileiro para o ano de 2005 e 2017.  
**Fonte:** Adaptado de BRASIL, Ministério da Integração Nacional (2017).

## 2.4. Classificação Climática

A classificação climática tem o objetivo de identificar em uma grande área ou região, zonas com características climáticas e biogeográficas relativamente homogêneas provendo indicações fundamentais sobre as condições ecológicas, suas potencialidades agrícolas, diversidades biológicas e o meio ambiente regional (Da Silva et al., 2018).

Segundo Valadão et al. (2010), as populações que habitam as regiões semiáridas vivem em constante situação de vulnerabilidade devido às irregularidades na distribuição de precipitação e limitações relacionadas com disponibilidade de água. Valadão et al. (2010) ainda descreveram que nos anos em que as condições hídricas são favoráveis propiciam a permanência da população na região, ao passo que naqueles cujas condições são de seca levam ao êxodo destas para áreas mais propícias ou centros urbanos maiores. Tais situações de vulnerabilidade afetam profundamente a vida destas populações, provocando profundas implicações socioeconômicas, tornando o conhecimento sobre a estimativa da evapotranspiração, uma informação preciosa no manejo da água em qualquer região do planeta e, em especial, nas regiões áridas e semiáridas.

O Semiárido Brasileiro é caracterizado pelas secas, gerada por diversos fatores, entre eles os anteriormente mencionados: oceânicos/atmosféricos e geográficos. A região está situada na zona tropical da Terra, assim, por razão da abundância de luz que incide na superfície do local, a temperatura se torna elevada durante todo o ano, com exceção das áreas serranas localizadas nas partes mais meridional da Região, nas quais a temperatura no inverno é mais amena. Tomando como base a classificação climática de Köppen, são identificados cinco tipos de climas na região Nordeste: os tropicais sem estação seca, de monções, estação seca de inverno e estação seca de verão e semiárido de baixa latitude e altitude. Clima tropical sem estação seca: acontece no litoral da Bahia; tropical de monções: noroeste do Maranhão e litoral do litoral sul da Paraíba ao litoral de Sergipe; tropical com estação seca de inverno: no Maranhão, exceto no noroeste e litoral, na parte centro, oeste e sul do Piauí e oeste da Bahia; tropical com estação seca de verão litoral do Maranhão, Piauí e Ceará, Serra da Ibiapaba e Araripe no Ceará; litoral leste do Rio Grande do Norte, litoral e oeste da Paraíba, parte do Agreste de Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, Chapada Diamantina e Norte de Minas Gerais; semiárido: compreende principalmente a região central do Nordeste, onde as

temperaturas são elevadas durante o ano todo, as chuvas são irregulares e há caso de prolongada estiagem (Lucena et al., 2015).

Existem diferentes sistemas de classificações climáticas, entre os quais destaca-se o de Köppen-Geiger, referido no parágrafo anterior, amplamente utilizado em estudos climatológicos e geográficos e o de Thornthwaite-Mather (1955), que empregam índices climáticos determinados com base no balanço hídrico climatológico, estabelecendo-se duas das metodologias mais clássicas de regionalização climática.

A classificação climática de Köppen-Geiger é fundamentada em valores médios anuais e mensais de temperatura e precipitação, e a vegetação nativa é empregada para determinar os limites climatológicos de sua classificação, que expõe cinco grandes climas representados pelas letras A, B, C, D e E. Cada clima é caracterizado mais detalhadamente e ganhando duas ou três letras minúsculas do alfabeto. É uma classificação utilizada há mais de 80 anos, tendo um estilo didático, e aceitando adaptá-la para diversos níveis, sendo ao mesmo tempo, simples e detalhada. A facilidade de composição de letras colabora para uma máxima difusão desta classificação em todos os setores interessados: arquitetura, agronomia, botânica, engenharia civil, hidrologia, geologia e geografia (Da Cunha et al., 2018).

Thornthwaite e Mather (1955) criaram um modelo de balanço hídrico climatológico para gerar o regime hídrico de um local, sem a obrigação de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração, é necessário determinar a capacidade de armazenamento máximo do solo, do total de precipitação e da estimativa da evapotranspiração potencial em cada período. Com estas três informações o balanço hídrico climatológico admite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico, e o total de água retida no solo em cada período. A seriedade desse estudo deve-se a seu bom emprego no cálculo do potencial agroclimático, uma vez que os índices deduzidos do seu cálculo admitem avaliar a realidade climática das regiões pesquisadas, tais como os índices hídricos e de aridez, refletindo a relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial.

De acordo com Nimer (1989), o Nordeste Brasileiro possui uma classificação climática considerada como uma das climatologias mais complexas do mundo, devido à anormalidade espacial e temporal na distribuição de chuvas. Como consequência desse fenômeno é possível localizar na região Nordeste do Brasil mesorregiões geográficas muito particulares, nos quais climas vão do superúmido, característico das zonas

litorâneas, até o clima seco quase desértico do sertão, conforme a classificação climática de Thornthwaite-Mather.

## 2.5. Índices de Aridez, Umidade e Efetivo de Umidade

Com o objetivo de realizar a classificação climática, Thornthwaite (1948) criou os índices de aridez ( $I_a$ ), umidade ( $I_u$ ) e efetivo de umidade ( $I_m$ ). Logo em seguida Thornthwaite e Mather (1955) indicaram um balanço hídrico possuindo como variáveis de saída a evapotranspiração potencial total anual, déficit anual hídrico, excedente anual de água no solo.

O índice de aridez, elaborado por Thornthwaite (1948), calcula a diferença entre evapotranspiração potencial ( $ET_0$ ) e a evapotranspiração real (ETR) dividida pela evapotranspiração potencial, este índice é um indicativo da quantidade de água necessária para a atmosfera atingir a saturação, ou seja, uma medida de déficit de água na atmosfera. Enquanto, o índice de umidade indica a quantidade de água precipitada além da evaporação real e da saturação do solo e é calculado pela razão do excedente anual de água no solo a evapotranspiração potencial. Estes índices são de relevante importância e são utilizados nos estudos não apenas de áreas secas, como também de terras úmidas (Varejão Silva, 2001).

Pode-se definir  $ET_0$  como a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água, enquanto ETR é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo. Vale salientar que a ETR é igual ou menor que a  $ET_0$  (Jensen et al., 1990).

O índice efetivo de umidade ( $I_m$ ) é um indicativo do balanço hídrico anual climatológico de uma determinada localidade e das condições climática reinantes das condições da atmosfera local e do solo, tais como se há excesso, déficit, recarga do lençol freático ou utilização das reservas do solo (Varejão Silva, 2001).

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) adotou uma avaliação de classificação climática agregada ao valor do Índice de Aridez ( $I_{aUNEP}$ ). O cálculo deste índice, como já mencionado anteriormente é a razão da precipitação média total anual e evapotranspiração potencial média total anual. Para a classificação climática usam-se as denominações de clima hiperárido, árido, semiárido, subúmido seco, subúmido úmido e úmido, conforme os valores obtidos de  $I_{aUNEP}$  (UNEP, 1992).

Esse índice foi usado inicialmente para constatação dos efeitos antropogênicos nas condições climáticas e hoje é também utilizada para conhecimento de zoneamento agrícola e das mudanças climáticas de modo geral.

## **2.6. Capacidade de Água Disponível no Solo**

A definição clássica do conceito de capacidade de CAD (água disponível no solo) foi proposta por Veihmeyer & Hendrickson (1927; 1931; 1949) definindo-o como a diferença entre a quantidade de água existente no solo na capacidade de campo (CC) e a existente no ponto de murcha permanente (PMP), que representa a quantidade de água máxima retida em determinado tipo de solo que está disponível às plantas ou evaporação.

Souza Filho e Gomes (2007), ao analisar a dinâmica do armazenamento de água em duas classes de textura do solo (arenoso e argiloso), na região de Ponta Grossa, Estado do Paraná, descreveram a importância de obter valores fidedigno da CAD, uma vez que valores errôneos da CAD pode levar a estimativa da umidade do solo completamente falsa. Além disso, Souza Filho e Gomes (2007) mostram que a CAD decresce de solo argiloso-limoso para solos arenoso.

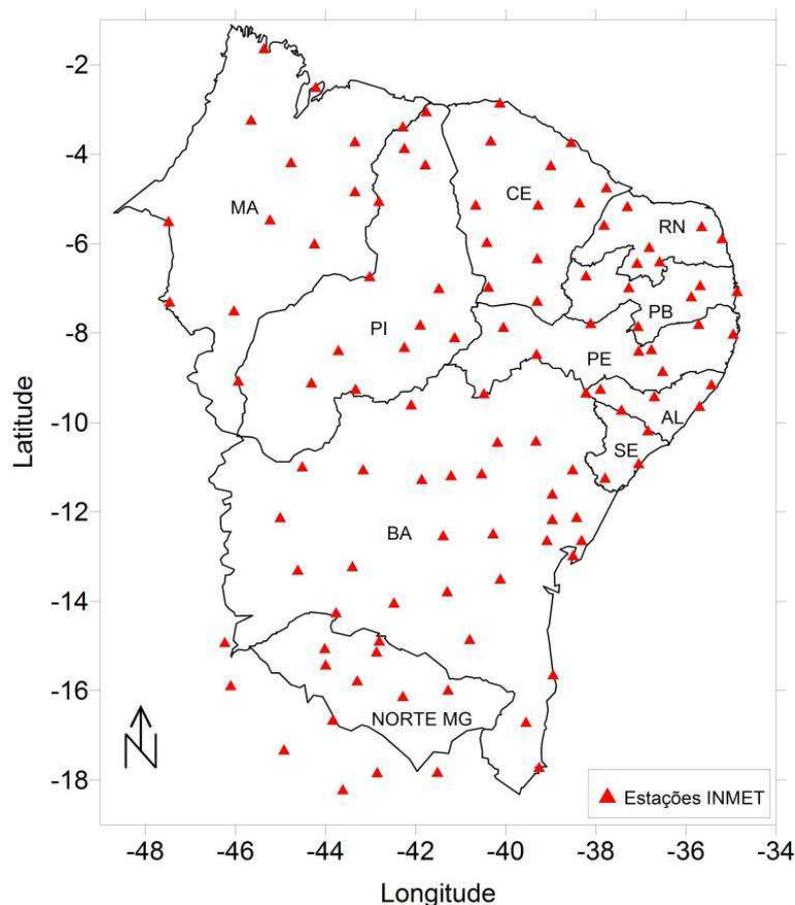
No obstante a relevância da CAD na estimativa da umidade do solo, a CAD também é de grande importância para o cálculo do balanço hídrico, definindo o déficit de água no solo, a época de plantio, zoneamento agrícola e, particularmente, para a realização de projetos de irrigação eficiente, o que torna a CAD um parâmetro de grande importância no planejamento do uso da terra (Silva et al., 2014).

A capacidade de água no solo pode ser entendida como uma propriedade do solo que indica duração e intensidade do déficit de água no solo, com a vantagem de depender principalmente da taxa de uso da água e as propriedades físicas do solo (textura, estrutura, densidade, porosidade, dentre outros). A variabilidade espacial das propriedades físicas do solo ocorre devido aos processos de formação e às práticas de manejo, e que acabam influenciando a CAD (Da Silva et al., 2016).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Área de Estudo

No presente trabalho a área de estudo é o nordeste do Brasil e o norte de Minas Gerais, com um olhar voltado para delimitação de áreas classificadas como áridas ou semiáridas e em menor escala subúmida seca. A Figura 3.1 apresenta a espacialização das estações 110 estações meteorológicas do INMET utilizadas.



**Figura 3.1.** Distribuição espacial das 110 estações meteorológicas do INMET utilizadas na presente pesquisa.

**Fonte:** Fonte do próprio autor.

Conforme dados do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010), o nordeste brasileiro apresenta uma extensão territorial de 1.554.257,0 km<sup>2</sup>, com uma população somando 53.081.950 habitantes, abrigando cerca de 28% da população residente no Brasil e densidade demográfica de 34,1 hab./Km<sup>2</sup>.

A região norte de Minas Gerais se faz presente na classificação do semiárido brasileiro compreendendo 91 municípios, uma área de 121.215 km<sup>2</sup>, 1.492.198 habitantes e uma densidade demográfica de 12 Hab/km<sup>2</sup>. As condições climáticas desta região se expressam por elevadas temperaturas, baixos índices de nebulosidade, forte

insolação, elevadas taxas de evaporação e pela acentuada irregularidade das chuvas no tempo e no espaço (Brasil, 2017).

Assim, para a classificação climática da área em estudo, por meio dos índices climáticos efetivo de umidade ( $I_m$ ) e aridez ( $I_a$ ) de Thornthwaite (1948) e o índice de aridez da UNEP ( $I_{aunep}$ ) e o método de estimativa da  $ET_0$ , Thornthwaite (1948) e PMF, foram utilizados dados de 110 estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) no período de 1981 a 2010.

### **3.2. Dados**

Os dados para a realização desta pesquisa foram de temperaturas do ar ( $^{\circ}C$ ), precipitação (mm), velocidade do vento (m/s), insolação total (horas), umidade relativa (%), pressão atmosférica ao nível do barômetro (kPa), médias mensais do período de 1981 a 2010, ou seja, valores médios de janeiro a dezembro de cada ano, dos nove estados que compõe o nordeste brasileiro (Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais). Estes dados foram oriundos das estações do INMET.

### **3.4. Metodologia**

O cálculo do índice de aridez do UNEP, é dado pela razão entre a precipitação total anual da localidade e a evapotranspiração potencial total anual. Neste trabalho, para estimar a evapotranspiração potencial total anual, foi empregado o método de Thornthwaite (1948) e PMF e em seguida calculado o respectivo índice utilizando a estimativa da evapotranspiração pelos dois métodos citados.

Os índices de aridez ( $I_a$ ) e efetivo de umidade ( $I_m$ ) de Thornthwaite (1948) para os nove estados que compõem o nordeste brasileiro, foram calculadas por meio do Balanço Hídrico seriado segundo o modelo proposto por Thornthwaite & Mather (1955) e desenvolvido em planilha eletrônica por Rolim e Sentelhas (1998). O balanço hídrico foi calculado para os nove estados do nordeste brasileiro em 29 anos de dados.

O valor da capacidade de água disponível (CAD) usada foi referente a cada tipo de solo do respectivo município que possuía estações do INMET, foram obtidos por meio de interpolação do mapa de Distribuição espacial da máxima capacidade de água disponível pelo solo (CAD) em mm, para o Nordeste do Brasil (Brito, 2000).

Para a confecção das figuras foi feito a interpolação dos dados por meio do Software Surfer 8.1.

### 3.4.1. Cálculo do Índice de aridez do UNEP

Para realizar o cálculo do índice de aridez do UNEP para o período de 1981 a 2010, foi utilizada a equação utilizada no relatório da UNEP para terras susceptíveis a desertificação (UNEP, 1992).

$$I_{aUNEP} = PR_{total}/ET_0 \quad (1)$$

em que:

$PR_{total}$  → Precipitação total anual;

$ET_0$  → Evapotranspiração potencial anual.

A Tabela 3.1 mostra a classificação climática de acordo com o  $I_{aUNEP}$ .

**Tabela 3.1.** Classificação climática de acordo com o  $I_{aUNEP}$ .

Índice de Aridez	Classes Climáticas
$IA \geq 1,00$	Úmido
$0,65 < IA < 1,00$	Subúmido Úmido
$0,50 < IA \leq 0,65$	Subúmido Seco
$0,20 < IA \leq 0,50$	Semiárido
$0,05 < IA \leq 0,20$	Árido
$IA \leq 0,05$	Hiperárido

Fonte: Adaptado de UNEP(1992).

### 3.4.2. Cálculo do Índice de Aridez de Thornthwaite

Para calcular o Índice de Aridez no período de 1981 a 2010, foi utilizada a fórmula preparada por Thornthwaite (1948):

$$I_a = DEF/ET_0 \times 100 \quad (2)$$

em que:

DEF → Déficit anual de água na atmosfera.

$ET_0$  → Evapotranspiração potencial anual.

### 3.4.3. Cálculo do Índice de umidade de Thornthwaite

De acordo com os dados obtidos do balanço hídrico para cada período estudado, utiliza-se para definir o índice de umidade, que é a relação em percentagem entre o excesso de água e a evapotranspiração potencial, fórmula organizada por Thornthwaite (1948):

$$I_u = EXC / ET_0 \times 100 \quad (3)$$

em que:

EXC → Excedente anual de água no solo.

ET<sub>0</sub> → Evapotranspiração potencial anual.

#### 3.4.4. Cálculo do Índice efetivo de umidade de Thornthwaite

Para o cálculo do Índice efetivo de umidade (I<sub>m</sub>), relaciona os dois índices acima, a expressão que fornece este índice é:

$$I_m = I_u - 0,6xI_a \quad (4)$$

A Tabela 3.2 mostra a classificação do tipo de clima de uma região, de acordo com o I<sub>m</sub>. Esse índice tem sido utilizado com medidor das áreas sujeitas aos processos de desertificação, segundo a definição das Nações Unidas.

**Tabela 3.2.** Classificação do tipo de Clima de acordo com o I<sub>m</sub>.

I <sub>m</sub>	Tipo de Clima
I <sub>m</sub> ≤ -60	Hiper-árido
-60 < I <sub>m</sub> ≤ -40	Árido
-40 < I <sub>m</sub> ≤ -20	Semiárido
-20 < I <sub>m</sub> ≤ 0	Subúmido Seco
0 < I <sub>m</sub> ≤ 20	Subúmido Úmido
20 < I <sub>m</sub> ≤ 40	Úmido 1
40 < I <sub>m</sub> ≤ 60	Úmido 2
60 < I <sub>m</sub> ≤ 80	Úmido 3
80 < I <sub>m</sub> ≤ 100	Úmido 4
I <sub>m</sub> ≤ 100	Superúmido

**Fonte:** Adaptado de Brito (2000).

#### 3.4.5. Cálculo da Evapotranspiração Penman-Monteith-FAO

A evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi estimada para as localidades que dispõem de dados de estações meteorológicas do INMET, de acordo com a equação da FPM, conforme mostra a seguir:

$$\lambda ET_0 = \frac{\Delta(R_n - G) + \frac{86,4 \rho_c \gamma (e_s(z) - e(z))}{r_a}}{\left[ \Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right]} \quad (5)$$

donde  $\lambda$  [ $\text{MJkg}^{-1}$ ] é o calor latente de evaporação da água,  $\Delta$  [ $\text{kPa}^0\text{C}^{-1}$ ] é a derivada da pressão de saturação do vapor d'água com em função da temperatura do ar ( $d(e_s(T))/dT$ ),  $R_n$  [ $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ] é o saldo de radiação,  $G$  [ $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ] é o fluxo vertical de calor do solo,  $\rho$  [ $\text{kgm}^{-3}$ ] é a densidade do ar,  $c_p$  [ $\text{kJkg}^{-1}\text{C}^{-1}$ ] é o calor específico do ar a pressão constante,  $e_s(z)$  [ $\text{kPa}$ ] é a pressão de saturação de vapor do ar medido na altura  $z$ ,  $e(z)$  [ $\text{kPa}$ ] é a pressão de vapor do ar medido na altura  $z$ ,  $r_a$  [ $\text{sm}^{-1}$ ] é a resistência aerodinâmica para a difusão do vapor d'água na camada limite superficial,  $r_c$  [ $\text{sm}^{-1}$ ] é a resistência do dossel da vegetação à transferência do vapor d'água,  $\gamma$  é o parâmetro psicrométrico ( $\gamma=10^{-3}Pc_p/(0,622\lambda)$ ),  $\lambda = 2,501 - 2,361 \times 10^{-3}\underline{T}$ ,  $\lambda$  calor latente de vaporização [ $\text{MJkg}^{-1}$ ],  $\underline{T}$  temperatura do ar [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $P$  pressão atmosférica na superfície [ $\text{kPa}$ ] e 86,4 é o fator de conversão de [ $\text{kJ s}^{-1}$ ] para [ $\text{MJd}^{-1}$ ].

Para estimar a  $ET_0$ , usando a equação (5) Allen et al. (1994) introduziram as seguintes parametrizações:

densidade do ar ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{3,486P}{1,01(\underline{T} + 273)} \quad (6)$$

calor específico do ar a pressão constante ( $c_p$ ):

$$c_p = \frac{622\lambda\gamma}{P} \quad (7)$$

resistência aerodinâmica ( $r_a$ ):

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z_w - d_0}{z_{om}}\right) \ln\left(\frac{z_p - d_0}{z_{ov}}\right)}{k^2 U(z_w)} \quad (8)$$

em que  $z_w$  e  $z_p$  são as alturas do anemômetro (velocidade do vento) e do psicrômetro (umidade), respectivamente,  $d_0$  é a altura de deslocamento do plano de velocidade do vento zero,  $z_{om}$  é o comprimento de rugosidade para transferência de momentum,  $z_{ov}$  é o comprimento de rugosidade para transferência de vapor,  $k$  é a constante de von Kármán e  $U(z_w)$  é a velocidade do vento medida na altura  $z_w$ . A equação (8) é válida para atmosfera neutra (sem convecção) na escala de tempo de um dia ou maior, que é uma condição típica do semiárido do Nordeste em quase todos os meses do ano. A vegetação de referência será tomada como sendo grama de altura  $h_c = 12$  cm e resistência do

dossel  $r_c$  de 70 s/m. Jensen et al. (1990) sugeriram  $d_0 = 0,67h_c$ ,  $z_{om} = 0,123h_c$ ,  $z_{ov} = z_{om}$  e  $k = 0,41$ . Substituindo esses valores na equação (5) e usando a velocidade do vento a 2m da superfície e introduzindo as equações (6), (7) e (8) na equação (5) obtém-se:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (9)$$

sendo  $ET_0$  é obtida em mm/dia,  $U_2$  [m/s] é a velocidade do vento em 2 m de altura da superfície,  $e_a$  [kPa] é a pressão de vapor a saturação e  $e_d$  [kPa] é a pressão real de vapor, estimados para medidas no abrigo meteorológico.

O balanço de radiação na superfície é parametrizado usando-se a insolação, a temperatura do ar e a pressão de vapor, de acordo com a equação sugerida por Allen et al. (1994):

$$R_n = Q_0(0,25 + 0,50n/N)(1 - \alpha) - \varepsilon 2,45 \times 10^{-9} (0,34 - 0,14e_d^{1/2})(0,1 + 0,9n/N)(T_x^4 + T_m^4) \quad (10)$$

onde  $\alpha$  é o albedo da superfície, com valor de 0,23, para a grama de referência, no cálculo da  $ET_0$  (Allen, et al., 1994),  $\varepsilon$  é a emissividade do ar tomada igual à unidade (um),  $Q_0$  é a radiação solar no topo da atmosfera para o dia 15 de cada mês,  $n$  é a insolação diária, valor médio mensal, medida na estação meteorológica,  $T_x$  e  $T_m$  são as médias mensais das temperaturas máxima e mínima do ar, respectivamente, dadas em graus Kelvin,  $N$  é o número máximo teórico de brilho solar em horas para o dia 15 de cada mês,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ) e  $e_d$  é a pressão de vapor média mensal dada em kPa, calculada multiplicando a pressão de vapor a saturação na superfície ( $e_a$ ) pela umidade relativa do ar média mensal, observada na estação meteorológica, dividida por 100. A pressão de vapor à saturação na superfície ( $e_a$ ) em kPa é dada pela relação de Clausius-Clapeyron (Hartmann, 1994):

$$e_a = 0,611 \exp(\lambda/R_v(1/273 - 1/T)) \quad (11)$$

em que  $\lambda$  é o calor latente de vaporização ( $\lambda = 2,501 \text{ MJkg}^{-1}$ ),  $R_v$  constante dos gases para o vapor d'água ( $R_v = 461 \times 10^{-6} \text{ MJK}^{-1}\text{kg}^{-1}$ ) e  $T$  é a temperatura do ar média mensal, em K.

Para período de tempo superior a 10 dias, a magnitude do fluxo de calor no solo ( $G$ ) é muito pequena e, portanto, deve ser desprezada (Allen et al., 1994) ou seja tomada igual a zero.

### 3.4.6. Cálculo da Evapotranspiração Potencial Método de Thornthwaite

A estimativa da evapotranspiração potencial mensal, segundo Thornthwaite (1948) pode ser definida pela seguinte fórmula:

$$ET_{0\text{mês}} = 16 \times ((10 \times T / I_{\text{ano}})^a) \times (N/12) \times (\text{Dias}_{\text{mês}}/30) \quad (12)$$

em que:

$ET_{0\text{mês}}$  – Evapotranspiração potencial (mm/mês);

T – Temperatura do ar média mensal (°C);

$I_{\text{ano}}$  – Índice de calor anual, que é dado pela soma dos 12 índices mensais  $i_j$ , ou seja, pela equação:

$$I_{\text{ano}} = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad (13)$$

$i_j$  é o índice de calor mensal obtido da seguinte maneira:

$$i_j = (0,2 \times T)^{1,514} \quad (14)$$

a – é uma variável adimensional que é função de  $I_{\text{ano}}$ , dada por:

$$a = 0,49 + 0,018 \times I_{\text{ano}} - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 \quad (15)$$

N – a duração máxima de insolação por dia (horas/dia) é calculado em função da latitude do local e da declinação solar (Moura et al, 2009), calculado por

$$N = 2 \times (h_n/15) \quad (16)$$

$h_n$  é o comprimento do dia do nascer ao pôr do sol, dado por:

$$h_n = \text{Arcos}(-\tan(\varphi) \times \tan(\delta)) \quad (17)$$

em que,

$\varphi$  – é a latitude local;

$\delta$  – é a declinação do sol, estimada por:

$$\delta = 23,45 \times \text{SEN}((360/365,25) \times (\text{NDA} - 81)) \quad (18)$$

NDA – é o dia do ano juliano;

$\text{Dias}_{\text{mês}}$  – número de dias do mês.

Finalmente, a  $ET_0$  é a soma das doze  $ET_{0mês}$  mensais. O valor de NDA de cada mês é apresentado na Tabela 3.3.

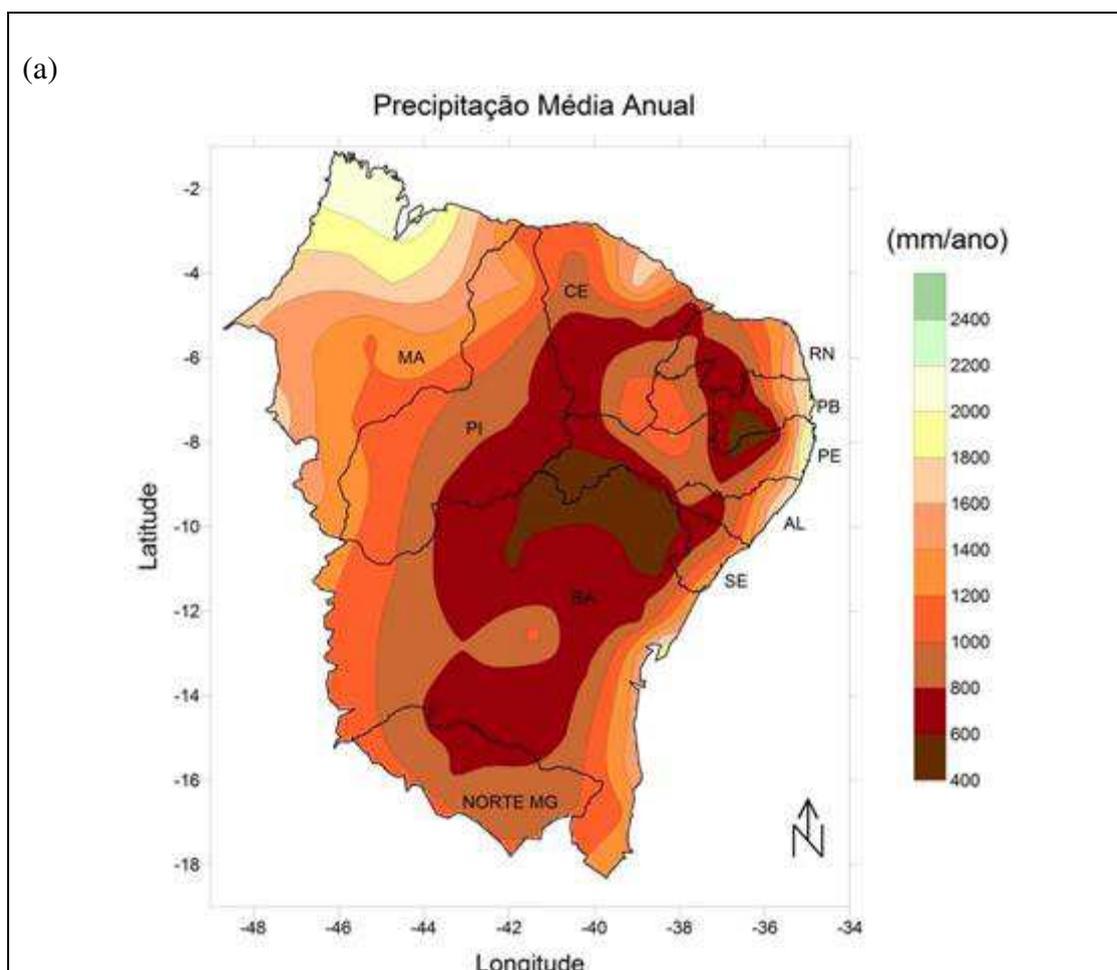
**Tabela 3.3.** Valor do NDA de cada mês.

<b>Meses</b>	<b>NDA</b>	<b>Meses</b>	<b>NDA</b>
Jan	15	Jul	195
Fev	45	Ago	225
Mar	75	Set	255
Abr	105	Out	285
Mai	135	Nov	315
Jun	165	Dez	345

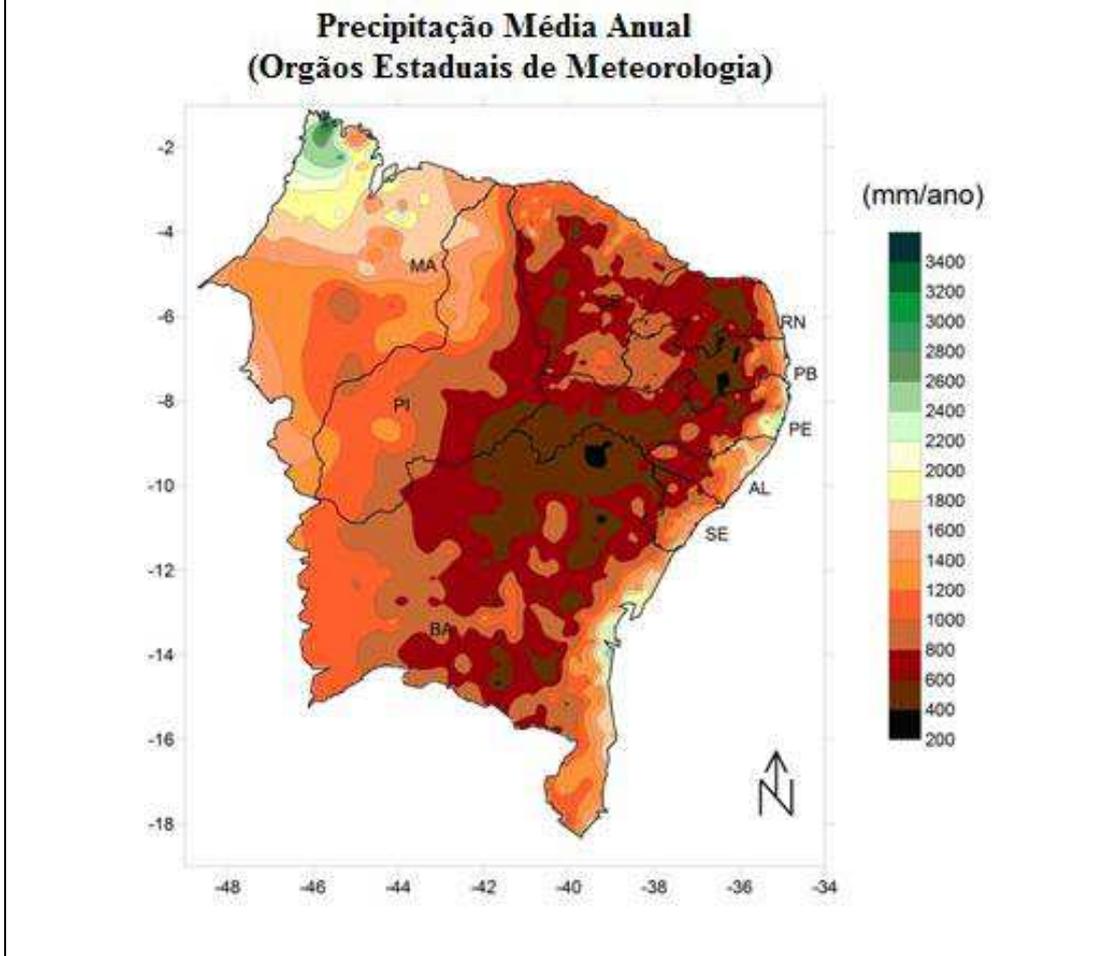
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Configurações espaciais

A Figura 4.1a mostra a configuração espacial da precipitação média anual (mm/ano) sobre o Nordeste e norte de Minas Gerais obtida como dados de 110 (cento e dez) estações meteorológicas do INMET utilizadas na presente pesquisa. Comparando esta configuração com a Figura 4.1b, construída com informações de precipitação de 1296 (um mil duzentos e noventa e seis) localidades dos diversos órgãos estaduais de meteorologia, observa-se que a da Figura 4.1b oferece maiores detalhes espacial. Entretanto, o padrão de ambas as configurações é muito semelhante, principalmente a delimitação das áreas com precipitação inferior a 1200 mm/ano. Além disso, o padrão apresentado na Figura 4.1a segue os obtidos por outros pesquisadores, como por exemplo, Nobre e Mollion (1988). Portanto, o uso de dados das estações meteorológicas do INMET para estudo de classificação de classificação usando diferentes métodos pode ser aplicado sem perda relevante de informações espaciais.



(b)



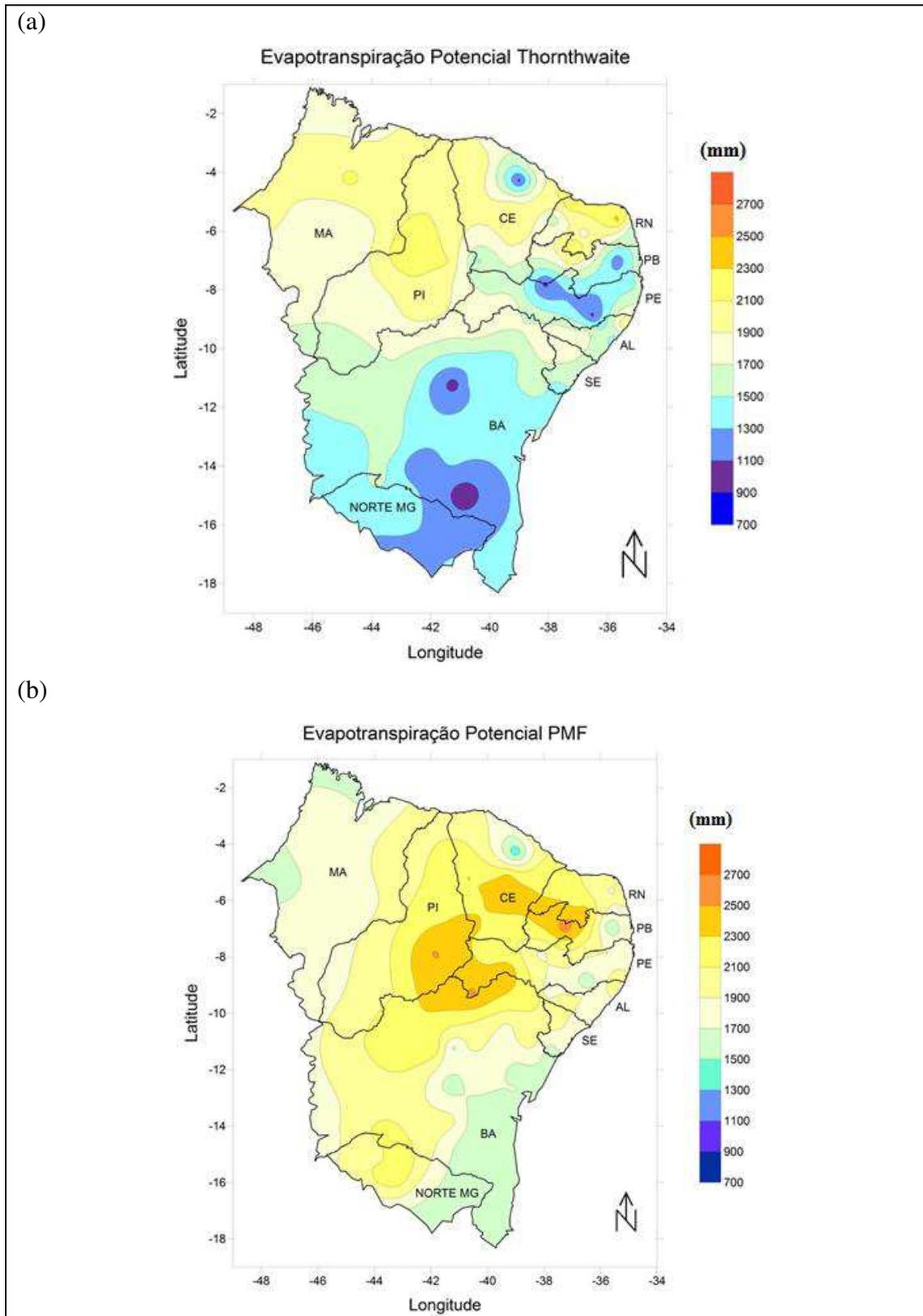
**Figura 4.1.** Configuração espacial da precipitação média anual (mm/ano) sobre o Nordeste e norte de Minas Gerais usando dados de 110 estações meteorológicas do INMET, exceto a 4.1b Órgãos Estaduais de Meteorologia.

**Fonte:** do próprio autor

As configurações espaciais no Nordeste do Brasil da evapotranspiração potencial obtidas pelos métodos de Thornthwaite e de PMF são mostradas nas Figura 4.2a e 4.2b, respectivamente. Observa-se que, de um modo geral, o padrão espacial da configurações não são concordante, com exceção de alguns áreas, como Maciço de Baturité no Ceará, Planalto da Borborema na Paraíba e Pernambuco, noroeste do Maranhão e parte do centro-sudeste da Bahia, áreas nas quais são observados uma diminuição relativa de  $ET_0$  em ambas configurações.

Ressalta-se que em média a  $ET_0$  estimada pelo método de PMF é aproximadamente 500 mm/ano superior à obtida pelo de Thornthwaite, exceto na parte

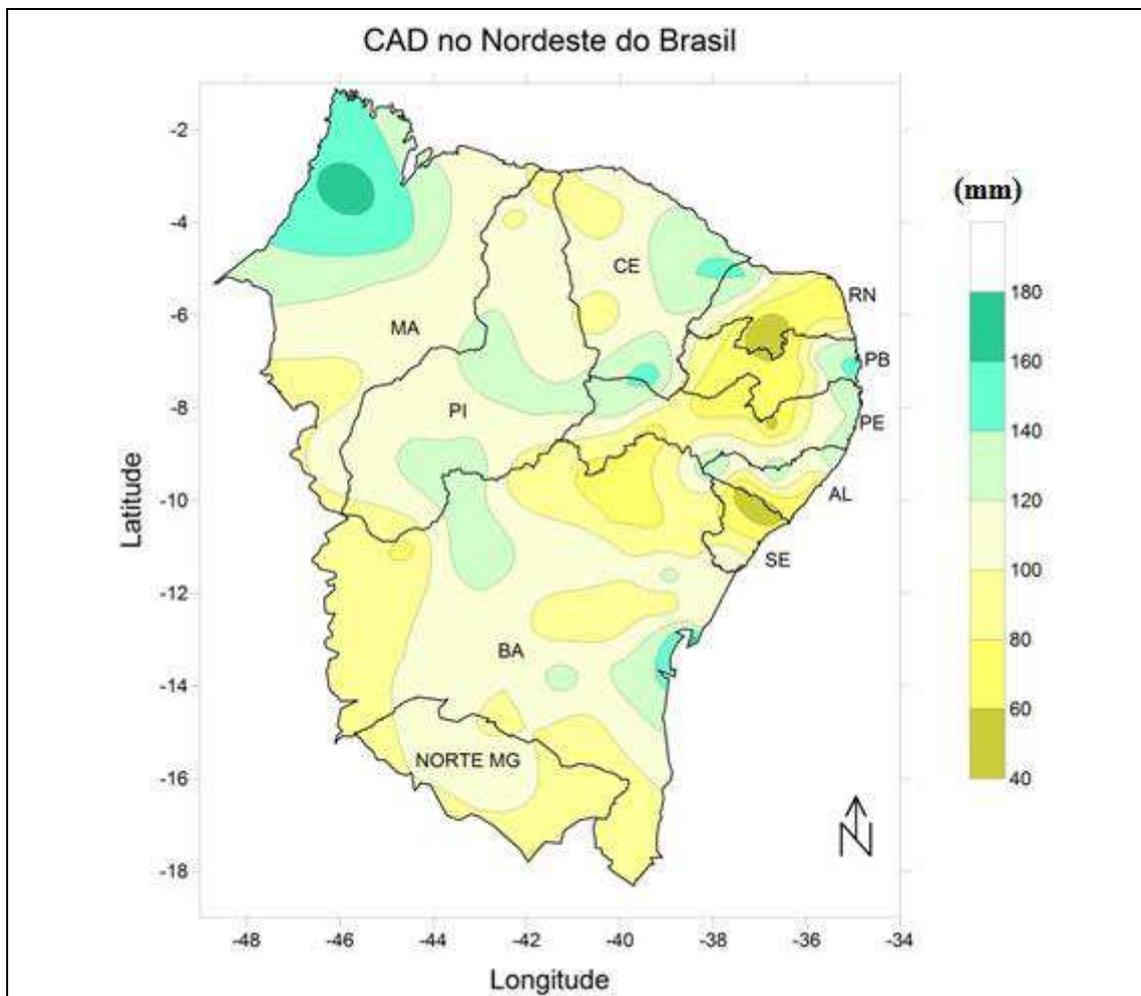
central e norte do Maranhão, que são áreas em que a  $ET_0$  obtida pelo método PMF é inferior a obtida pelo de Thornthwaite (Figuras 4.2a e 4.2b).



**Figura 4.2.** Configurações espaciais da evapotranspiração potencial, no Nordeste do Brasil, obtidas pelos métodos: (a) Thornthwaite e (b) PMF.

**Fonte:** do próprio autor

A Figura 4.3 aparenta a distribuição espacial do CAD, sobre o nordeste e norte de Minas Gerais, verifica-se que as áreas como maior grau de aridez dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e norte da Bahia são as que apresentam menores CAD. Entretanto, outras áreas como o oeste da Bahia, parte central da divisa de Alagoas e Sergipe e noroeste do Ceará também apresentam CAD relativamente baixo, mas com grau de aridez inferior a regiões circunvizinhas, enquanto, áreas do sul e nordeste do Ceará e centro do Piauí exibem CAD relativamente elevados, porém com grau de aridez semelhante as suas vizinhanças. Ressalta-se que configuração espacial de CAD mostrada na Figura 4.3 é muito semelhante a obtido do Brito (2000). É oportuno salientar que Rossato et al. (2004), a parti de dados do Projeto RADAMBRASIL e da EMBRAPA, calcularam o CAD para várias localidades do Brasil, mas não apresentaram uma configuração espacial desta variável.



**Figura 4.3.** Configuração espacial do CAD (mm) no Nordeste do Brasil.

**Fonte:** do próprio autor

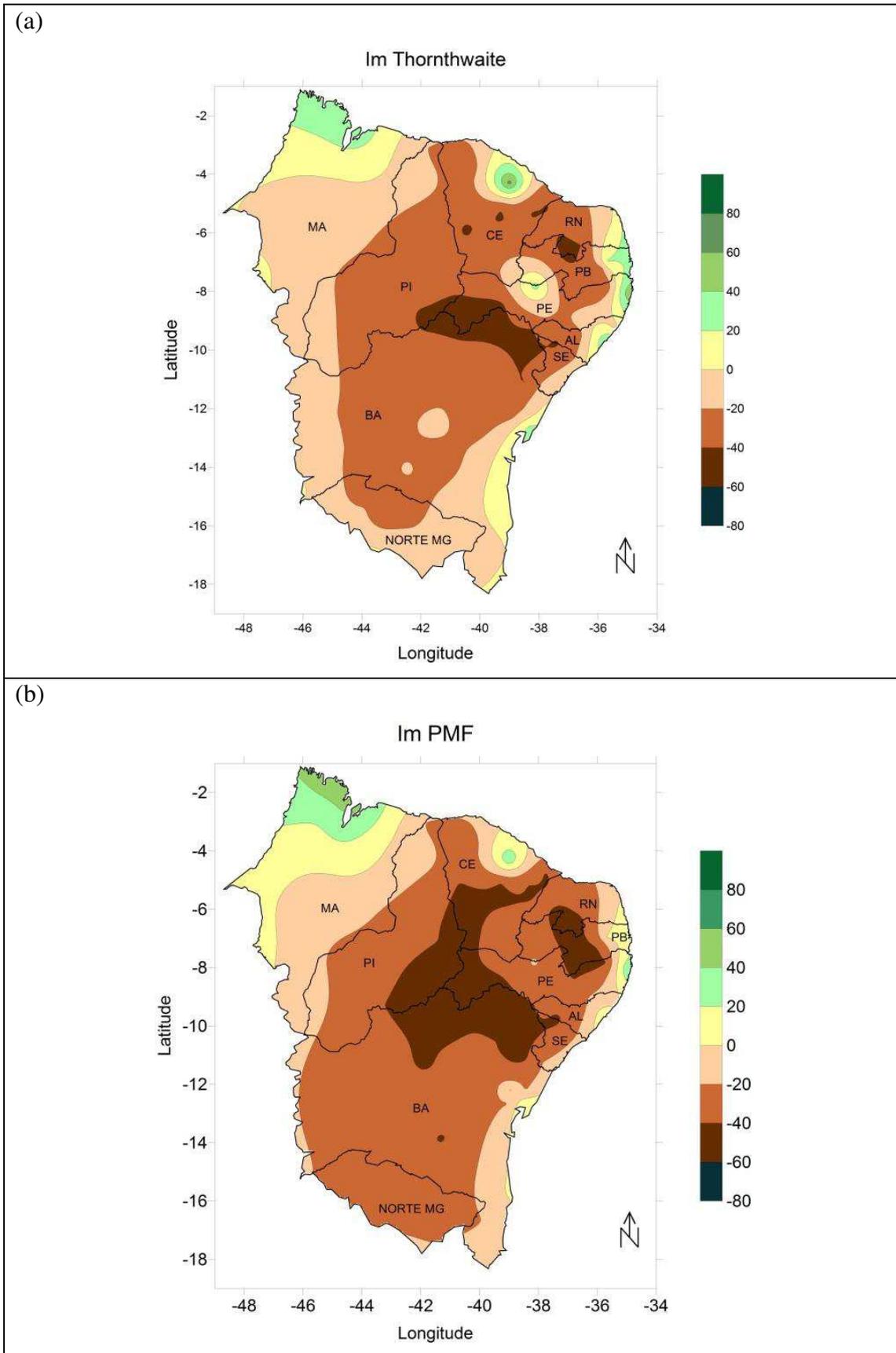
## 4.2. Classificação Climática

Para realizar a classificação climática foi utilizado os índices Efetivo de Umidade de Thornthwaite ( $I_m$ ) e o de aridez do UNEP ( $I_{aUNEP}$ ) obtidos a partir dos dados climatológicos para o período de 1981 a 2010, de todas os municípios da Região Nordeste e do norte de Minas Gerais que dispõem de estações meteorológicas do INMET. Ressalta-se que os índices foram calculados usando a  $ET_0$  estimada por Thornthwaite (1948) e por PMF. Foi realizada a classificação climática com os respectivos índices empregando valores da CAD referente ao tipo de solo de cada município que possuía estação meteorológica do INMET.

Os valores de CAD referente a cada município podem ser visualizados no Anexo A. Enquanto, que os valores obtidos para cada um dos índices,  $I_m$  e  $I_{aUNEP}$ , de cada estação meteorológica, são apresentados no Anexo B.

Nas Figuras 4.4a e 4.4b apresentam as classificações climáticas obtidas utilizando  $I_m$  calculado com a estimativa da evapotranspiração por Thornthwaite e PMF, respectivamente. Comparando as figuras observa-se um aumento das áreas áridas na parte central da Região Nordeste, abrangendo parte do Piauí, Ceará, Pernambuco e Bahia, bem como na parte central da Paraíba e região do Seridó no Rio Grande do Norte. Também verifica-se um aumento das áreas semiáridas do Ceará até a Bahia, enquanto, no Maranhão observa-se uma diminuição das áreas subúmida seca que torna-se subúmida úmida. Ressalta-se que a configuração espacial de  $I_m$  calculado com a estimativa da  $ET_0$  por Thornthwaite é semelhante ao obtida por Brito (2000).

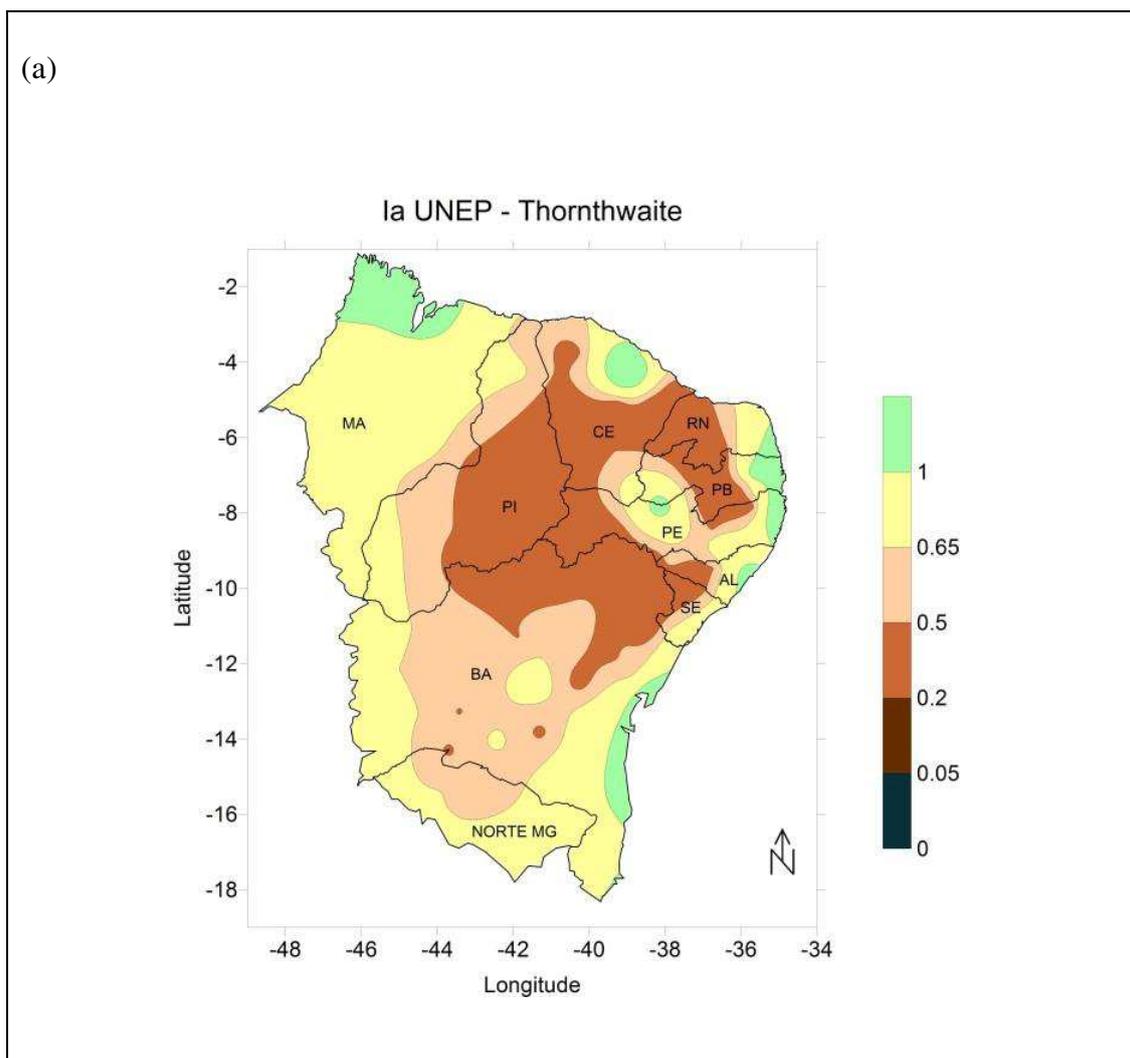
Por outro lado, era esperado um aumento do grau de aridez em áreas da Região Nordeste, com exceção do Maranhão, quando substitui a  $ET_0$  obtida pelo método de Thornthwaite pela  $ET_0$  obtida por PMF, pois como mostrado na seção 4.1 a  $ET_0$  na região Nordeste obtida com o método PMF é superior a estimada por Thornthwaite, exceto no Maranhão.

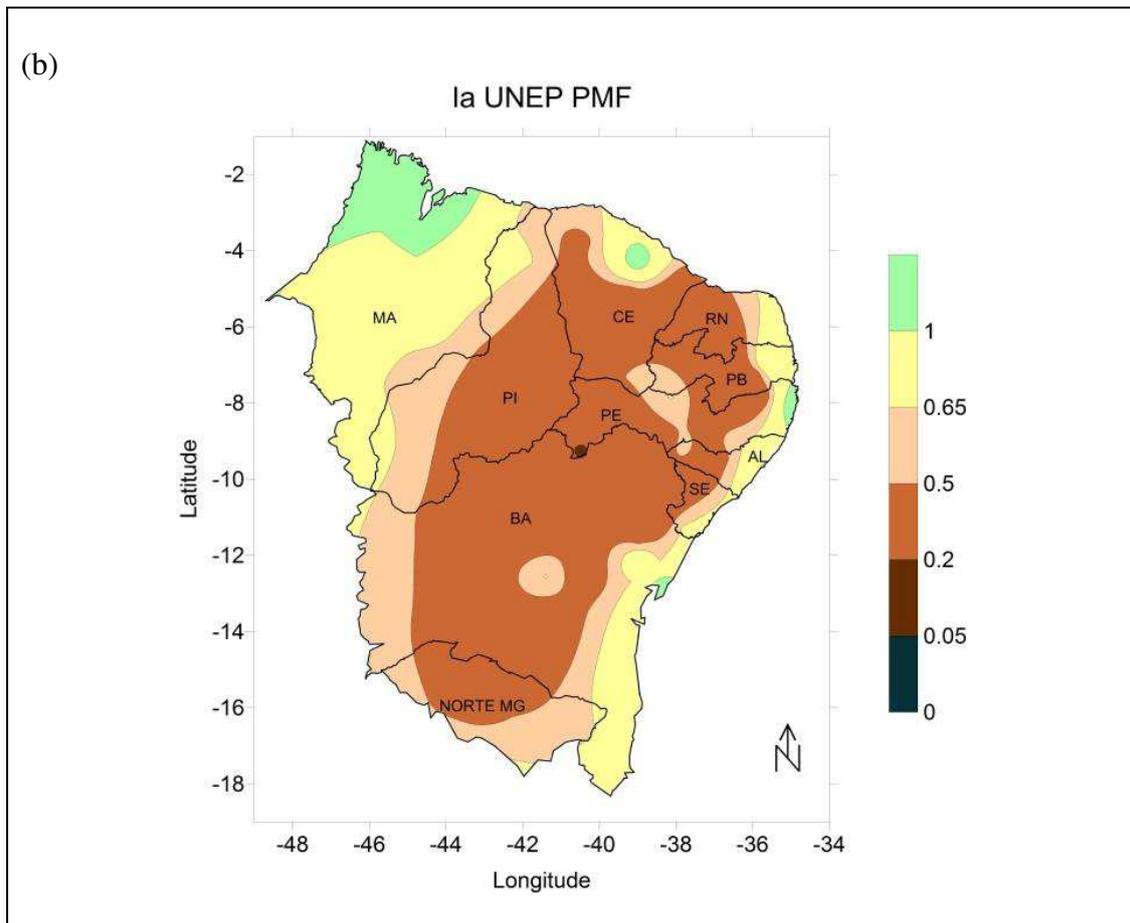


**Figura 4.4.** Classificação climática de acordo com o  $I_m$  quando estima a  $ET_0$  pelos métodos: (a) Thornthwaite e (b) PMF.

**Fonte:** do próprio autor.

Nas Figuras 4.5a e 4.5b são apresentadas as configurações espaciais da classificação climática, na Região Nordeste do Brasil, de acordo com  $I_{a\text{UNEP}}$  calculado com a estimativa da evapotranspiração potencial pelos métodos de Thornthwaite e PMF, respectivamente. Observa-se uma expansão das áreas com clima semiárido quando usada a  $ET_0$  estimada por PMF em comparação com a estimada pelo método de Thornthwaite. Esta expansão ocorre em todos estados do Nordeste, exceto o Maranhão, porém com uma maior abrangência no estado da Bahia e no norte de Minas Gerais (Figuras 4.5a e 4.5b).





**Figura 4.5.** Classificação climática de acordo com o  $I_{aUNEP}$  quando estima a  $ET_0$  pelos métodos: (a) Thornthwaite e (b) PMF.

**Fonte:** do próprio autor.

Ressalta-se que as áreas semiáridas e subúmida secas da Figura 4.5a são inferiores as apresentadas por Marengo et al. (2014), que mostraram as configurações de áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas para o Nordeste do Brasil com dados climáticos para o período de 1961 a 1990. Entretanto, para projeções futuras as áreas apontadas por Marengo et al. (2014) com estas classificações climáticas torna-se mais abrangentes que as obtidas na presente pesquisa.

Por um lado, quando compara as Figuras 4.4a com 4.5a verifica-se que ao utilizar o  $I_{aUNEP}$  para classificação climática em substituição ao  $I_m$  observa-se uma diminuição drástica das áreas áridas, que não são observadas quando usa-se  $I_m$ , e das áreas semiáridas com uma redução de quase 50%. Também é observada pequena diminuição das áreas subúmida seca e aumento das áreas subúmidas úmidas e úmidas. Por outro lado, ao comparar as Figuras 4.4b e 4.5b também se verifica uma drástica diminuição das áreas áridas, uma pequena diminuição das áreas semiáridas e aumentos das áreas subúmidas secas, subúmidas úmidas e úmidas.

Comparando as quatro Figuras (4.4a, 4.4b, 4.5a e 4.5b) a metodologia que apresentou menores áreas áridas e semiáridas foi o uso de  $I_{aUNEP}$  com estimativa de  $ET_0$  pelo método de Thornthwaite, enquanto, a que apresentou maiores áreas áridas e semiáridas foi a utilização de  $I_m$  e método de estimativa de  $ET_0$  por PMF. Ressalta-se que nas limitações de áreas semiáridas o Ministério da Integração Nacional utilizou o índice  $I_{aUNEP}$  e  $ET_0$  estimada por Thornthwaite.

Na Tabela 4.1 mostra as áreas em  $Km^2$  para cada tipo de clima conforme estimativa pelos índices  $I_m$  e  $I_{aUNEP}$  e  $ET_0$  por Thornthwaite e PMF. Observa-se que quando o  $I_m$  é calculado pela  $ET_0$  de Thornthwaite, o clima árido e semiárido passa de 66.505,8  $Km^2$  e 777.182,9  $Km^2$  para 251.034,9  $Km^2$  e 855.611,8  $Km^2$  respectivamente, quando calculado pela  $ET_0$  de PMF, apresentando um aumento percentual de 377,46% para o clima árido e 10,1% para o semiárido, obtendo-se condições de aridez e semiaridez mais elevada. O grau de aridez mais elevado quando comparada as Figuras 4.4a e 4.4b pode ser visualizado na região do Seridó do Rio Grande do Norte, região central da Paraíba compreendendo todo o Cariri ocidental e oriental, o norte da Bahia, sudoeste e noroeste de Pernambuco, leste do Piauí e sudoeste do Ceará.

**Tabela 4.1.** Cálculo das áreas para cada tipo de clima classificado com o índice efetivo de umidade e aridez da UNEP quando calculados com a  $ET_0$  de Thornthwaite e PMF. Dados referente à Figura 03 – A, B e Figura 04 - C, D, respectivamente.

		<b><math>I_m</math> Thornthwaite</b>	<b><math>I_m</math> PNM</b>
<b><math>I_m</math></b>	<b>Tipo de Clima</b>	<b>Área em <math>Km^2</math></b>	<b>Área em <math>Km^2</math></b>
$-60 > I_m \leq -40$	Árido	66.505,8	251.034,9
$-40 > I_m \leq -20$	Semiárido	777.182,9	855.611,8
$-20 > I_m \leq 0$	Subúmido Seco	595.875,5	340.052,8
$0 > I_m \leq 20$	Subúmido Úmido	150.403,9	139.256,2
$20 > I_m \leq 40$	Úmido 1	46.411,1	40.762,9
$40 > I_m \leq 60$	Úmido 2	3.264,7	13.058,2
$60 > I_m \leq 80$	Úmido 3	132,9	0,0
		<b><math>I_{aUNEP}</math> Thornthwaite</b>	<b><math>I_{aUNEP}</math> PNM</b>
<b><math>I_{aUNEP}</math></b>	<b>Tipo de Clima</b>	<b>Área em <math>Km^2</math></b>	<b>Área em <math>Km^2</math></b>
$I_a \leq 0,05$	Hiperárido	0,0	0,0
$0,05 < I_m \leq 0,22$	Árido	0,0	1.080,6
$0,20 < I_m \leq 0,50$	Semiárido	433.273,2	812.026,9
$0,50 < I_m \leq 0,65$	Subúmido Seco	446.350,0	351.511,5
$0,65 < I_m < 1$	Subúmido Úmido	663.931,0	398.242,6
$I_a \geq 1$	Úmido	96.222,6	76.915,2

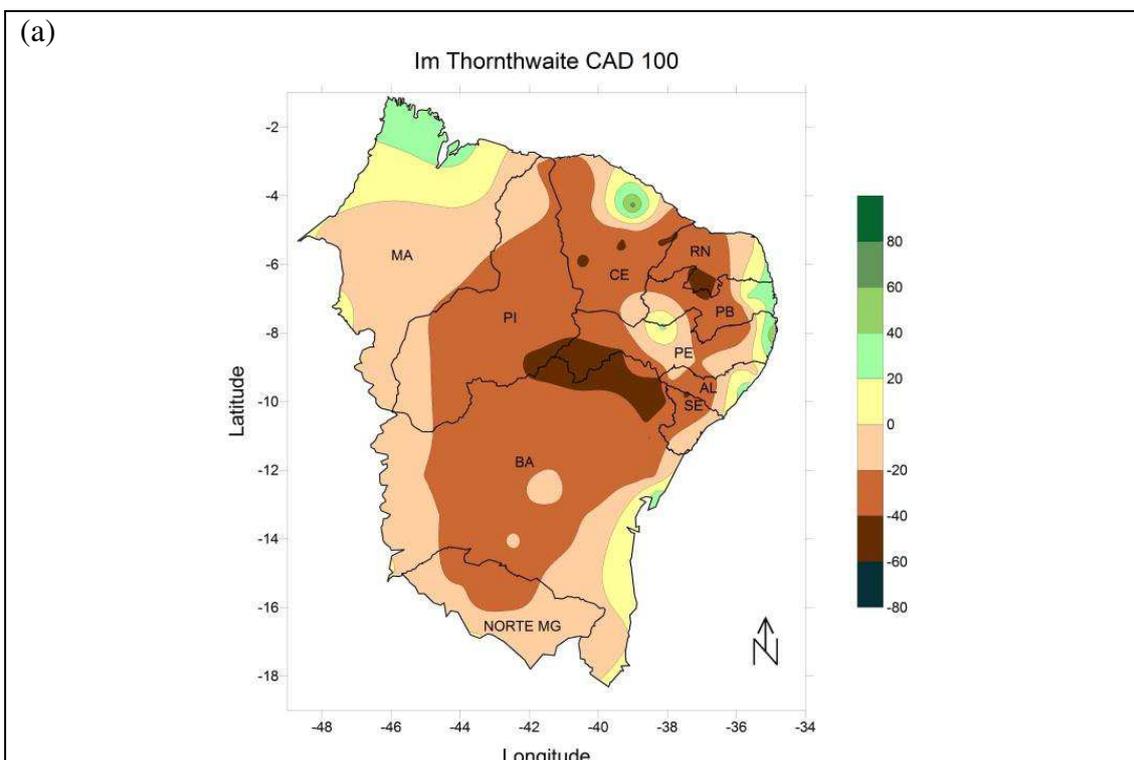
Ainda na Tabela 4.1 verifica-se que nas Figuras 4.4a e 4.4b, para os climas Subúmido Seco, Subúmido Úmido, Úmido 1 e Úmido 3 houve um decréscimo de 57,07%, 7,41%, 12,17% e 100%, respectivamente, ao contrário do Clima Úmido 2 com um aumento de até 400%.

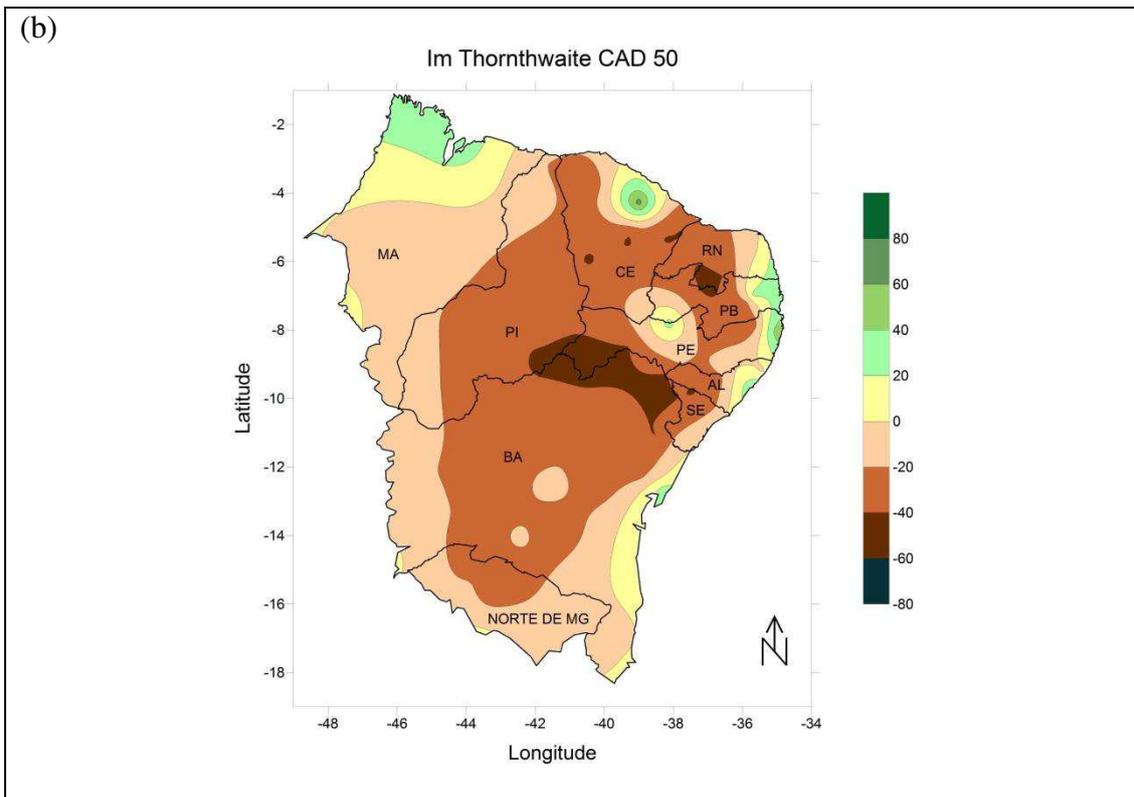
Na tabela 4.1 também é verificado que quando comparada as Figuras 4.5a e 4.5b, o clima Úmido, Subúmido Úmido e Subúmido Seco apresentam um decréscimo de 20,06%, 40,02% e 21,25% respectivamente, com um aumento significativo para o clima Semiárido de 187,42% quando o  $I_{aUNEP}$  é calculado com a  $ET_0$  estimada por PMF.

Finalmente, na Tabela 4.1 é possível verificar a influência da  $ET_0$  na classificação climática, quando empregada por diferentes métodos, assim como o índice climático utilizado para realizar a classificação do clima.

### 4.3. Classificação Climática com CAD Fixo

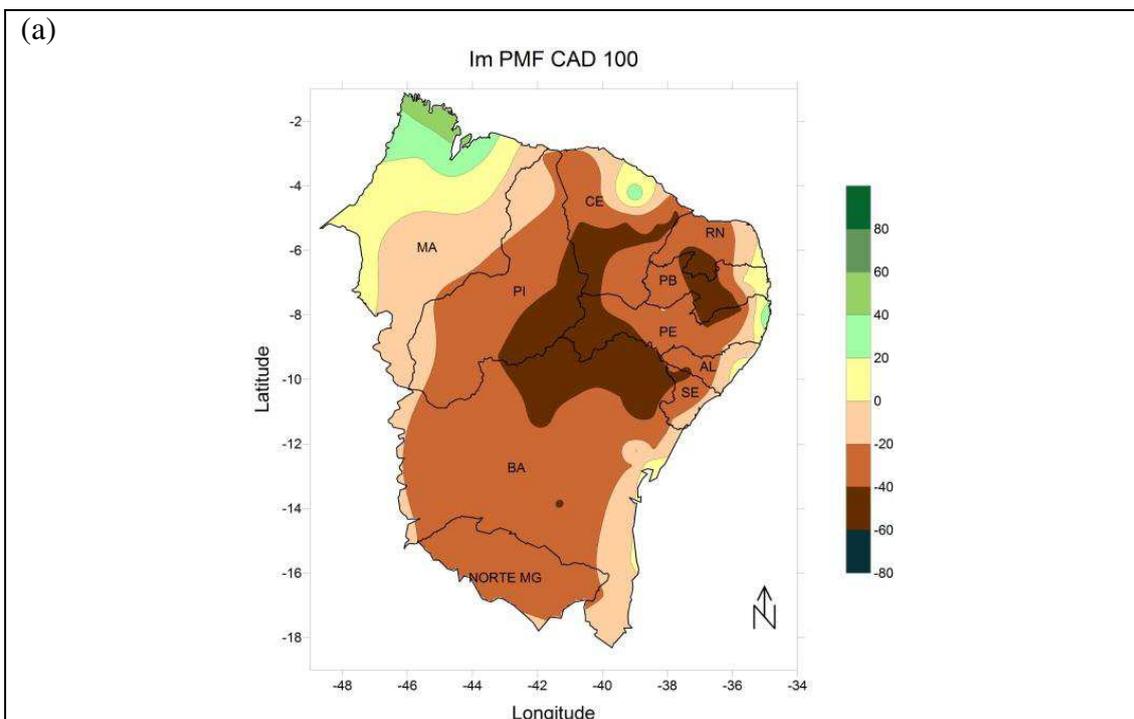
As Figuras 4.6a e 4.6b, 4.7a e 4.7b apresentam a classificação climática usando CAD igual a 100 e 50 mm e  $I_m$  estimado com  $ET_0$  calculada pelos métodos de Thornthwaite e PMF. De um modo geral, a classificação climática para o  $I_m$  quando calculado pela estimativa da  $ET_0$  de Thornthwaite empregando valores de CAD igual a 100 e 50 mm, Figura 4.6a e 4.6b, comparando-os, observa-se que não há grande variação no tipo do clima. Em alguns pontos isolados, como por exemplo, observa-se uma pequena expansão do Clima Subúmido Seco na região sul do estado da Bahia.

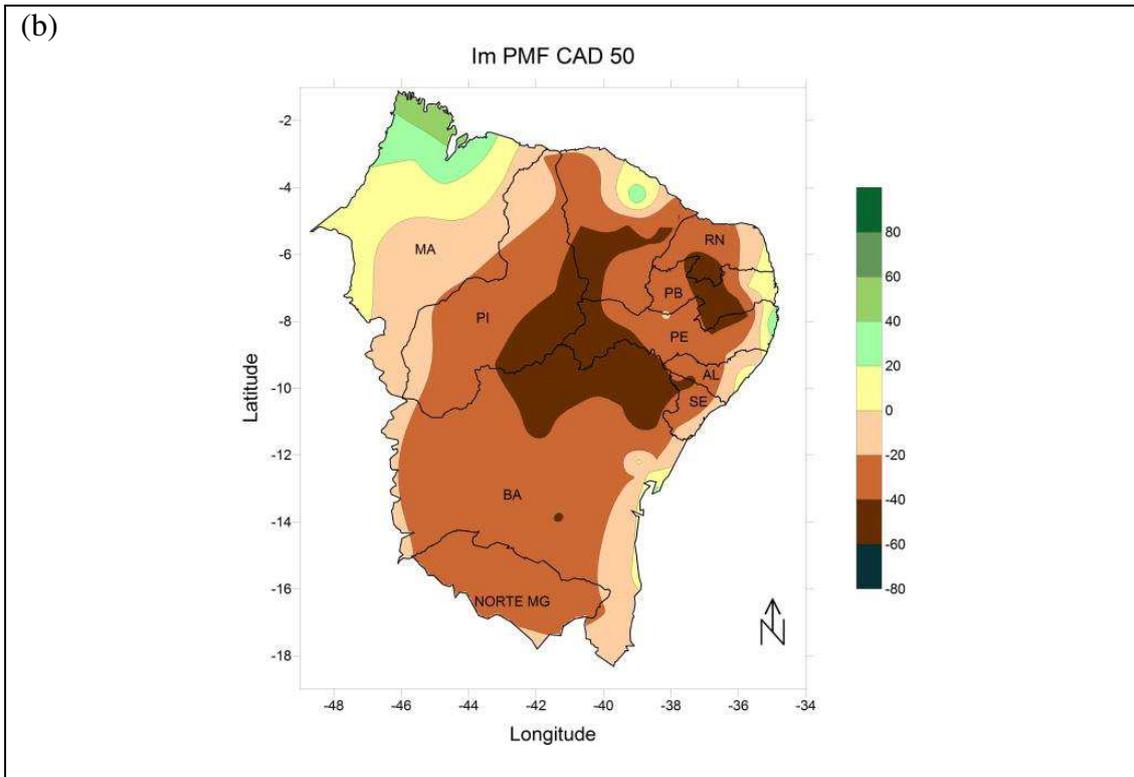




**Figura 4.6.** Classificação climática de acordo com o Índice Efetivo de Umidade ( $I_m$ ) quando calculado pela  $ET_0$  de Thornthwaite empregando CAD = 100 e 50 mm.  
**Fonte:** do próprio autor.

Quando realizada a classificação climática para o  $I_m$  calculado pela estimativa da  $ET_0$  de PMF, Figura 4.7a e 4.7b, de um modo geral e semelhante a Figura 4.8a e 4.8b, não há grande variação no tipo do clima.





**Figura 4.7.** Classificação climática de acordo com o Índice Efetivo de Umidade ( $I_m$ ) quando calculado pela  $ET_0$  de PMF empregando CAD = 100 e 50.

**Fonte:** do próprio autor.

Provavelmente, esta pequena diferença observada no índice  $I_m$ , quando a CAD é mudada de 100 para 50 mm seja decorrente do grande déficit hídrico da atmosfera, uma vez que a evapotranspiração potencial de quase todas as localidades é superior a 1000 mm/ano, tanto para estimativa com o método de Thornthwaite como o PMF e a deficiência hídrica na atmosfera superior a 500 mm/ano. Portanto, para trabalho futuro sugere-se uma investigação mais detalhada com variação do CAD de 25 a 200 mm e uma abrangência de outras áreas além do Nordeste e norte de Minas Gerais.

## **5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

### **5.1. Conclusões**

De acordo com o objetivo desta pesquisa e os resultados obtidos, verifica-se que o uso da  $ET_0$  estimada por PMF leva a uma classificação climática mais árida e semiárida em comparação com a estimada por Thornthwaite. Além disso, para estas mesmas áreas a estimativa com  $I_m$  apresenta um maior grau de aridez do que as com  $I_{aUNEP}$ .

As estimativas de  $ET_0$  por PMF mesmo apresentando um grau de aridez mais elevado podem ser conjecturadas que apresentam resultados mais robustos que a estimada por Thornthwaite, pois são utilizadas variáveis atmosféricas como a umidade do ar, velocidade do vento próximo à superfície, balanço de radiação e parâmetro de turbulência da atmosfera, que são fatores que altera a evapotranspiração real e potencial, mas não são consideradas na estimativa de  $ET_0$  por Thornthwaite.

Com relação aos diferentes valores de CAD utilizados para o cálculo do índice  $I_m$  quando calculados pela estimativa da  $ET_0$  por PMF e Thornthwaite, não apresentaram variações significativas que alterassem o tipo de clima das áreas em estudo.

### **5.2. Sugestões**

Realizar Classificações Climáticas utilizando  $I_m$  e  $I_{aUNEP}$  tendo como uma das variáveis de entrada a  $ET_0$  estimada pelo método PMF para um maior número de Municípios da Região Nordeste, do Cerrado Brasileiro e áreas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Pesquisar outras variáveis do solo, além do CAD para ser utilizadas nos cálculos dos índices de classificação climática.

Recomendar aos Órgãos Governamentais o uso da  $ET_0$  estimada por PMF para classificação de áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas no Brasil. Uma vez que este é o método de estimativa da Evapotranspiração recomendado pela FAO.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; & SMITH, M. Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO-Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome (<http://www.fao.org/docrep>) ARPAV (2000), La caratterizzazione climatica della Regione Veneto, Quaderni per. **Geophysics**, v. 156, p. 178, 1998.

ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PEREIRA, L.S.; PERRIER, A. An Update for the Calculation of Reference Evapotranspiration. **ICID Bulletin**, v.43, n.2, p.35-91, 1994.

ALMEIDA, H. A.; AGUIAR D. B.; SILVA, J. N.; DAMASECENO, J. Indicadores Hídricos do Núcleo de Desertificação da Microrregião do Seridó Ocidental da Paraíba (Water Indicators of Desertification Nucleus in the Seridó Microregion of Paraíba State). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 784-797, 2015.

ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M.C. M. Climate analysis of the rainfall in the lower-middle stretch of the São Francisco river basin based on the rain anomaly index. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 2, p. 188- 202, 2015.

BRASIL, Decreto nº 13.340, de 28 de setembro de 2016. Autoriza a liquidação e a renegociação de dívidas de crédito rural; altera a Lei nº 10.177, de 12 de janeiro de 2001; e dá outras providências. Disponível em :< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2016/lei/113340.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/113340.htm)>. Acessado em 09 de dez de 2018.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do semiárido brasileiro. 2017. Disponível em:< <http://sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido>>. Acessado em: 03 de abril de 2018.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do semiárido brasileiro. 2005. Disponível em:< <http://sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido>>. Acessado em: 03 de Janeiro de 2018.

BRITO, J. I. B. Modelo regional de estimativa do balanço hídrico aplicado à variabilidade climática do Nordeste do Brasil. **Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba-UFPB**, 2000.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. **Atmospheric Research**, v. 118, p. 27-40, 2012.

CORRÊA, I. C. P.; BRITO, J. I.; COSTA, A. S. Variabilidade dos índices de umidade e aridez para as cidades de Crato e Paracuru no estado do Ceará. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 549-554, 2017.

DA CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2018.

DA SILVA, A. O.; DE ALBUQUERQUE MOURA, G. B.; & KLAR, A. E. Classificação climática de Thornthwaite e sua aplicabilidade agroclimatológica nos diferentes regimes de precipitação em Pernambuco. **Irriga**, v. 19, n. 1, p. 46-60, 2018.

DA SILVEIRA CASTRO, F., CECÍLIO, R. A., XAVIER, A. C., PEZZOPANE, J. E. M., & SPERANDIO, H. V. Interpolação dos parâmetros do balanço hídrico climatológico considerando diferentes capacidades de água disponível no solo. **Nucleus**, v. 13, n. 2, p. 209-222, 2016.

DE SOUZA, C. L. O.; NOGUEIRA, V. F. B.; NOGUEIRA, V. S. Variabilidade interanual da precipitação em cidades do semiárido brasileiro entre os anos de 1984 e 2015. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 4, p. 740-747, 2017.

HARTMANN, D.L. **Global Physical Climatology**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1994. 411p.

HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. **Climatic Change**, v. 112, n. 2, p. 243-251, 2012.

HASTENRATH, S. Interannual variability and annual cycle: Mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector. **Monthly Weather Review**, v. 112, n. 6, p. 1097-1107, 1984.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n. 435, p. 77-92, 1977.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: 15 de junho de 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2017. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: 23 de maio de 2018.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Normais Climatológicas para o período 1981-2010. INMET, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acessado em 10 de janeiro de 2019.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. 2013. The Fifth Assessment Report (AR5). Disponível em :< <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>>. Acessado em 17 de junho de 2018.

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manual 70. ASCE, New York, 1990. 332p.

KAYANO, M.T.; CAPISTRANO, V.B. How the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) Modifies the ENSO Influence on the South American Rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 162-178, 2014. (<http://dx.doi.org/10.1002/joc.3674>).

KOBIYAMA, M.; MOTA, A.A.; GRISON, F.; GIGLIO, J.N. Landslide influence on turbidity and total solids in Cubatão do Norte River, Santa Catarina, Brazil. **Natural Hazards**, v. 59, N° 2, p.1077-1086, 2011.

LUCENA, L.; STOSIC, T. Temperatura do nordeste brasileiro via análise de lacunaridade. **Sigmae**, v. 2, n. 3, p. 76-80, 2015.

MARENGO, J.; ALVES, L.; ESERRA, E.; LACERDA, F. Variabilidade e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro. Livro Recursos Hídricos, Regiões Áridas e Semiáridas, INSAMCT. 2011.

MARENGO, J.A. **Água e mudanças climáticas**. Estudos Avançados, 2008, v. 22, p. 83-96.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climatic Change*. DOI 10.1007/s10584-014-1310-1. 2014.

MECHOSO, C. R.; LYONS, S. W.; SPAHR, J. A. The impact of sea surface temperature anomalies on the rainfall over northeast Brazil. **Journal of climate**, v. 3, n. 8, p. 812-826, 1990.

MENEZES, H. E. A.; SILVA, R. M.; ALVES, L. M.; CAMARGO JÚNIOR, H. Verificação do prognóstico de precipitação sazonal simulada pelo modelo Eta climático para o Nordeste do Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, XIII, 2003, Santa Maria - RS. Anais: Santa Maria - RS: SBA, 2003, p. 999-1000.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981.

MOURA, F. E.; PERDIGÃO, A. C.; SIQUEIRA, M. M. Seasonality of influenza in the tropics: a distinct pattern in northeastern Brasil. **The American Journal Tropical Medicine and Hygiene**, v. 81, p. 180-183, 2009.

NIMER, E. Climatologia da regio norte. **Climatologia do Brasil**, p. 363-392, 1989.

NOBRE, P.; & MELO, A. D. Variabilidade climática intrasazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000. **Revista Climanálise**, v. 2, n. 2, p. 1-10, 2001.

NOBRE, P.; LACERDA, F. F.; AZEVEDO, F. G. B.; SIMÕES, R. S. Um estudo da variabilidade interanual de veranicos sobre o sertão de Pernambuco e suas relações com temperatura da superfície do mar. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, XIII. 2004.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, n. 63, p. 9-26, 2016.

NYS, E. D.; ENGLE, N. 2014. Living with the semi-arid and proactive drought management in Northeast Brazil: a new perspective. Washington, DC: World Bank Group. Available from: <http://www.worldbank.org/pt/country/brazil/brief/brazil-publications-agua-brasil-series-water>.

OLIVEIRA, M. B. L.; SANTOS, A. J. B.; MANZI, A. O.; ALVALÁ, R. C. DOS S.; CORREIA, M. DE F.; MOURA, M. S. B. 2006. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n.3b p. 378-386, 2006.

OLIVEIRA, R. C. S.; MEDEIROS, R. M. DE; COSTA NETO, F. DE A.; GOMES FILHO, M. F. Estudo das oscilações da temperatura máxima do ar e precipitação

em Lagoa Seca-PB visando mudanças climáticas. In: **VI Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e III Workshop Internacional sobre Mudanças Climáticas e Biodiversidade**, Recife, 2014.

PEREIRA, M. L. T.; SOARES, M. P. A.; SILVA, E. A.; DE ASSUNÇÃO MONTENEGRO, A. A.; & DE SOUZA, W. M. Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 394-402, 2017.

RODRIGUEZ, R. D. G.; SINGH, V. P.; PRUSKI, F. F.; CALEGARIO, A. T. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil, **Hydrological Sciences Journal**, v. 7, n.11, p. 2096-2109, 2015.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. C. S.; TOMASELLA, J. Variação espaço-temporal da umidade do solo no Brasil: Análise das condições médias para o período de 1971-1990. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, p.113-122, 2004.

SILVA, B. M., SILVA E. A., OLIVEIRA G. C., FERREIRA M. M., SERAFIM M. E. Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v.38, p. 464-475. 2014

SOUZA FILHO, J. L. M.; GOMES, S. Avaliação e desempenho de equações de estimativa do armazenamento de água no solo em um balanço hídrico climatológico decendial irrigacionista. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 4, p. 433-443, 2007.

SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. 2017. Disponível em:< <http://sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/infograficosemiariodelimitacao.png>>. Acessado em 04 de abril de 2018.

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

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Publication in Climatology, Laboratory of Climatology, **Centerton**, v. 8, n.1. 1955.

UNEP – United Nations Environment Programme. World Atlas of Desertification. Londres: UNEP/Edward Arnold, 1992. 69 p.

VALADÃO, C. E.; OLIVEIRA, P. T.; SCHMIDT, D. M.; SILVA, B. K.; JC, N.; BARRETO FILHO, W. L.; & MATTOS, A. Classificação climática da Microrregião do Seridó/RN. Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas. Natal. Disponível em:< [www.cbmet2010.com/anais/artigos/584\\_23902.pdf](http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/584_23902.pdf)> Acesso em, v. 20, 2010.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**, 2ª edição, Pax gráfica e editora, p. 532, Brasília – DF, 2001.

VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. Methods of measuring field capacity and wilting percentages of soils. **Soil Science**, v. 68, p. 75-94, 1949.

VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. **Soil Science**, v. 32, p. 181-193, 1931.

VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. The relation of soil moisture to cultivation and plant growth. **Soil Science**, v. 3, p. 498-513, 1927.

# APÊNDICES

## Apêndice A – Capacidade de Água Disponível no Solo

Tabela 1 – Capacidade de Água Disponível no Solo (CAD) para cada município.

Estado	Município	Longitude	Latitude	Altitude	CAD
MA	Alto Parnaíba	-45,93	-9,1	285,05	110
MA	Bacabal	-44,77	-4,22	25,07	150
MA	Balsas	-46,03	-7,53	259,38	95
MA	Barra do Corda	-45,23	-5,5	153	115
MA	Carolina	-47,46	-7,34	192,83	95
MA	Caxias	-43,35	-4,87	103,56	110
MA	Chapadinha	-43,35	-3,75	103,5	115
MA	Colinas	-44,25	-6,03	179,75	100
MA	Imperatriz	-47,48	-5,53	123,3	125
MA	São Luís	-44,22	-2,53	50,86	120
MA	Turialvo	-45,37	-1,67	44,06	140
MA	Zé Doca	-45,65	-3,27	45,28	170
PI	Bom Jesus do Piauí	-44,32	-9,14	415	130
PI	Caracol	-43,33	-9,28	522,77	140
PI	Esperantina	-42,25	-3,9	65	90
PI	Floriano	-43,02	-6,77	123,27	130
PI	Luzilândia(Lag.do Piauí)	-42,28	-3,42	49	120
PI	Morro dos Cavalos	-41,9	-7,85	242	130
PI	Parnaíba	-41,77	-3,08	79,5	90
PI	Paulistana	-41,13	-8,13	374,22	120
PI	Picos	-41,48	-7,03	207,93	110
PI	Piripiri	-41,78	-4,27	161,12	120
PI	São Joao do Piauí	-42,25	-8,35	235,33	110
PI	Teresina	-42,82	-5,08	74,36	120
PI	Vale do Gurgueia (Cristiano Castro)	-43,72	-8,42	265	110
CE	Acaraú	-40,13	-2,88	16,5	120
CE	Barbalha	-39,3	-7,32	409,03	150
CE	Campos Sales	-40,38	-7	583,5	120
CE	Crateús	-40,67	-5,17	296,82	110
CE	Fortaleza	-38,55	-3,77	26,45	120
CE	Guaramiranga	-39	-4,28	870,67	130
CE	Iguatu	-39,3	-6,37	217,67	120
CE	Jaguaruana	-37,77	-4,78	11,71	140
CE	Morada Nova	-38,37	-5,12	43,62	140
CE	Quixeramobim	-39,28	-5,17	79,5	120
CE	Sobral	-40,33	-3,73	109,62	85
CE	Tauá	-40,42	-6	398,77	85
RN	Apodi	-37,82	-5,62	150	130

RN	Ceará Mirim	-35,65	-5,65	61,35	70
RN	Cruzeta	-36,58	-6,43	226,46	50
RN	Florânia	-36,82	-6,12	324,45	50
RN	Mossoró	-37,3	-5,2	38	140
RN	Natal	-35,2	-5,92	48,6	70
RN	Seridó (Caicó)	-37,08	-6,47	169,85	45
PB	Campina Grande	-35,88	-7,22	547,56	85
PB	Monteiro	-37,07	-7,88	603,66	70
PB	João Pessoa	-34,87	-7,1	7,43	150
PB	São Gonçalo	-38,22	-6,75	233,06	90
PB	Areia	-35,68	-6,97	574,62	140
PB	Patos	-37,27	-7,02	249,09	70
PE	Arcoverde	-37,05	-8,43	680,7	85
PE	Cabrobó	-39,31	-8,5	337	70
PE	Garanhuns	-36,52	-8,88	822,76	110
PE	Ouricuri	-40,05	-7,9	459,28	140
PE	Pesqueira	-36,77	-8,4	639	50
PE	Petrolina	-40,48	-9,38	370,46	70
PE	Recife (Curado)	-34,95	-8,05	10	120
PE	Surubim	-35,72	-7,83	418,32	110
PE	Triunfo	-38,12	-7,82	1105	60
AL	Água Branca	-37,9	-9,28	605,34	140
AL	Maceió	-35,7	-9,67	64,5	70
AL	Palmeira dos Índios	-36,7	-9,45	274,9	140
AL	Pão de Açúcar	-37,43	-9,75	19,1	50
AL	Porto de Pedras	-35,43	-9,18	50,02	130
SE	Aracaju	-37,05	-10,95	4,72	85
SE	Itabaianinha	-37,79	-11,27	208	120
SE	Propria	-36,84	-10,21	19,92	45
BA	Alagoinhas	-38,43	-12,15	130,92	120
BA	Barra	-43,17	-11,08	401,58	140
BA	Barreiras	-45,01	-12,16	439,29	90
BA	Bom Jesus da Lapa	-43,41	-13,25	439,96	115
BA	Caetite	-42,48	-14,07	882,47	100
BA	Camacari	-38,32	-12,67	47,77	110
BA	Canavieiras	-38,95	-15,67	3,87	110
BA	Caravelas	-39,26	-17,74	2,88	95
BA	Carinhanha	-43,77	-14,28	450,18	120
BA	Cipó	-38,52	-11,08	145,31	90
BA	Correntina	-44,62	-13,33	549,57	100
BA	Cruz das Almas	-39,08	-12,67	225,87	115

BA	Feira de Santana	-38,97	-12,2	231,68	80
BA	Guaratinga	-39,55	-16,73	194,67	90
BA	Irecê	-41,87	-11,3	747,16	115
BA	Itaberaba	-40,28	-12,52	249,89	80
BA	Itiruçu (Jaguaquara)	-40,12	-13,53	755,61	120
BA	Ituaçu	-41,3	-13,81	531,43	130
BA	Jacobina	-40,53	-11,17	484,74	120
BA	Lencóis	-41,39	-12,56	438,74	85
BA	Monte Santo	-39,33	-10,44	464,6	75
BA	Morro do Chapéu	-41,22	-11,22	1003,27	120
BA	Paulo Afonso	-38,22	-9,37	252,69	130
BA	Remanso	-42,1	-9,63	400,51	85
BA	Salvador (Ondina)	-38,51	-13,01	51,41	180
BA	Senhor do Bonfim	-40,18	-10,47	558,24	80
BA	Serrinha	-38,97	-11,63	359,63	130
BA	Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)	-44,52	-11,02	450,3	75
BA	Vitoria da Conquista	-40,8	-14,88	874,81	90
MG	Arinos	-46,11	-15,92	519	75
MG	Diamantina	-43,62	-18,24	1296,12	130
MG	Espinosa	-42,81	-14,91	569,64	90
MG	Itamarandiba	-42,85	-17,86	914	80
MG	Janaúba	-43,3	-15,8	516	115
MG	Januária	-44	-15,45	473,71	110
MG	Mocimbo	-44,02	-15,09	452	110
MG	Monte Azul	-42,87	-15,16	625	110
MG	Montes Claros	-43,84	-16,69	652	90
MG	Pedra Azul	-41,28	-16,01	648,91	90
MG	Pirapora	-44,92	-17,35	505,24	110
MG	Salinas	-42,29	-16,15	471,32	115
MG	Teófilo Otoni	-41,52	-17,85	356,38	75
MG	Formoso	-46,24	-14,95	848	80

Fonte: do próprio autor.

## Apêndice B – Valores dos Índices de Aridez e de Umidade

Tabela 2 – Valores do Índice de Aridez ( $I_a$ ), de Umidade ( $I_u$ ), Efetivo de Umidade ( $I_m$ ) e Aridez da UNEP ( $I_{aUNEP}$ ) calculados com a estimativa da  $ET_0$  por Thornthwaite e Penaman Monteith FAO (PMF).

Paraíba	Thornthwaite				PMF			
	$I_a$	$I_u$	$I_m$	$I_{aUNEP}$	$I_a$	$I_u$	$I_m$	$I_{aUNEP}$
Areia	15,17	30,02	20,92	1,15	26,05	16,04	0,41	0,90
Campina G.	40,65	0,00	-24,39	0,59	57,46	0,00	-34,47	0,43
Monteiro	52,91	0,00	-31,75	0,47	67,99	0,00	-40,79	0,32
Patos	62,22	0,00	-37,33	0,38	70,41	0,00	-42,25	0,30
São Gonçalo	45,92	4,49	-23,06	0,59	55,52	0,54	-32,77	0,45
João Pessoa	25,23	37,81	22,68	1,13	30,95	29,94	11,37	0,99
Rio G. do Norte	Thornthwaite				PMF			
	$I_a$	$I_u$	$I_m$	$I_{aUNEP}$	$I_a$	$I_u$	$I_m$	$I_{aUNEP}$
Apodi	63,22	0,00	-37,93	0,37	62,96	0,00	-37,77	0,37
Ceará Mirim	33,24	15,75	-4,19	0,83	41,79	11,72	-13,36	0,70
Cruzeta	66,90	0,00	-40,14	0,33	73,26	0,00	-43,96	0,27
Florânia	60,79	0,00	-36,48	0,39	67,63	0,00	-40,58	0,32
Mossoró	61,23	0,00	-36,74	0,39	62,61	0,97	-36,60	0,38
Natal	30,25	37,59	19,43	1,07	38,47	25,77	2,69	0,87
Seridó (Caicó)	72,95	0,00	-43,77	0,27	74,10	0,00	-44,46	0,26
Pernambuco	Thornthwaite				PMF			
	$I_a$	$I_u$	$I_m$	$I_{aUNEP}$	$I_a$	$I_u$	$I_m$	$I_{aUNEP}$
Arcoverde	42,30	0,00	-25,38	0,58	61,91	0,00	-37,15	0,38
Cabrobó	63,66	0,00	-38,19	0,36	73,15	0,00	-43,89	0,27
Garanhuns	26,72	13,82	-2,21	0,87	44,39	3,01	-23,62	0,59
Ouricuri	59,19	0,00	-35,51	0,41	68,97	0,00	-41,38	0,31
Pesqueira	52,84	0,00	-31,70	0,47	66,77	0,00	-40,06	0,33
Petrolina	73,51	0,00	-44,11	0,26	80,83	0,00	-48,50	0,19
Recife (curado)	14,55	63,36	54,63	1,49	23,59	50,57	36,41	1,27
Surubim	56,03	0,00	-33,62	0,44	67,99	0,00	-40,79	0,32
Triunfo	20,35	39,18	26,97	1,19	37,48	4,79	-17,69	0,67
Ceará	Thornthwaite				PMF			
	$I_a$	$I_u$	$I_m$	$I_{aUNEP}$	$I_a$	$I_u$	$I_m$	$I_{aUNEP}$
Acaraú	50,45	13,85	-16,43	0,63	55,00	16,90	-16,09	0,62
Barbalha	44,84	7,43	-19,48	0,63	52,25	2,79	-28,56	0,51
Campos Sales	59,32	0,00	-35,59	0,41	74,20	0,00	-44,52	0,26
Crateús	63,37	0,00	-38,02	0,37	67,92	0,00	-40,75	0,32
Fortaleza	36,59	28,58	6,63	0,92	43,70	29,29	3,07	0,86
Guaramiranga	14,45	75,69	67,02	1,61	26,75	51,16	35,11	1,24
Iguatu	51,44	1,86	-29,01	0,50	57,95	0,28	-34,49	0,42
Jaguaruana	65,34	0,00	-39,21	0,35	67,56	0,00	-40,54	0,32

Morada nova	62,89	0,00	-37,74	0,37	65,28	0,00	-39,17	0,35
Quixeramobim	65,32	0,00	-39,19	0,35	70,07	0,00	-42,04	0,30
Sobral	57,00	2,03	-32,17	0,45	58,01	3,83	-30,98	0,46
Tauá	67,29	0,00	-40,38	0,33	73,56	0,00	-44,13	0,26
<b>Alagoas</b>	<b>Thornthwaite</b>				<b>PMF</b>			
	<b>I<sub>a</sub></b>	<b>I<sub>u</sub></b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	<b>I<sub>a</sub></b>	<b>I<sub>u</sub></b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>
Agua Branca	42,65	0,66	-24,93	0,58	45,42	3,86	-23,39	0,58
Maceió	21,90	52,30	39,16	1,30	30,99	36,92	18,32	1,06
Palmeira dos Índios	50,34	0,52	-29,68	0,50	53,98	0,00	-32,39	0,46
Pão de Açúcar	69,25	0,00	-41,55	0,31	72,25	0,00	-43,35	0,28
Porto de Pedras	36,04	17,33	-4,30	0,81	28,65	10,01	-7,17	0,81
<b>Piauí</b>	<b>Thornthwaite</b>				<b>PMF</b>			
	<b>I<sub>a</sub></b>	<b>I<sub>u</sub></b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	<b>I<sub>a</sub></b>	<b>I<sub>u</sub></b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>
Bom Jesus Do Piauí	43,33	0,00	-26,00	0,57	49,49	0,00	-29,70	0,51
Caracol	60,71	0,00	-36,42	0,39	65,87	0,00	-39,52	0,34
Esperantina	47,77	17,23	-11,43	0,69	46,97	19,61	-8,57	0,73
Floriano	56,92	0,00	-34,15	0,43	54,43	0,00	-32,66	0,46
Luzilândia (Lag. Do Piauí)	47,67	14,65	-13,95	0,67	49,45	16,64	-13,03	0,67
Morro Dos Cavalos	60,67	0,00	-36,40	0,39	69,14	0,00	-41,48	0,31
Parnaíba	52,42	11,59	-19,86	0,59	57,16	13,27	-21,02	0,56
Paulistana	66,11	0,00	-39,66	0,34	74,12	0,00	-44,47	0,26
Picos	62,72	0,00	-37,63	0,37	65,77	0,00	-39,46	0,34
Piripiri	48,90	17,87	-11,46	0,69	51,94	18,38	-12,78	0,66
São Joao Do Piauí	65,63	0,00	-39,38	0,34	70,67	0,00	-42,40	0,29
Teresina	48,96	13,10	-16,28	0,64	49,26	15,45	-14,11	0,66
Vale Do Gurgueia (Cristiano Castro)	47,88	0,00	-28,73	0,52	54,56	0,00	-32,73	0,45
<b>Maranhão</b>	<b>Thornthwaite</b>				<b>PMF</b>			
	<b>I<sub>a</sub></b>	<b>I<sub>u</sub></b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	<b>I<sub>a</sub></b>	<b>I<sub>u</sub></b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>
Alto Parnaíba	33,19	13,07	-6,85	0,80	40,43	15,87	-8,39	0,75
Bacabal	38,25	22,20	-0,75	0,84	36,17	35,62	13,92	0,99
Balsas	38,03	7,79	-15,03	0,70	42,34	9,61	-15,80	0,67
Barra Do Corda	41,92	8,85	-16,31	0,67	44,17	11,67	-14,83	0,68
Carolina	32,55	25,21	5,67	0,93	36,14	31,71	10,03	0,96
Caxias	45,96	18,98	-8,59	0,73	47,66	22,10	-6,50	0,74
Chapadinha	43,80	29,37	3,09	0,86	46,43	31,47	3,61	0,85
Colinas	38,33	12,23	-10,76	0,74	43,48	15,91	-10,18	0,72
Imperatriz	36,51	15,03	-6,87	0,79	33,01	25,14	5,34	0,92
São Luís	33,44	53,44	33,37	1,20	36,30	67,98	46,20	1,32
Turiação	31,23	51,35	32,61	1,20	34,19	65,41	44,90	1,31
Zé Doca	32,76	28,12	8,46	0,95	34,54	36,11	15,39	1,02

Bahia	Thornthwaite				PMF			
	I <sub>a</sub>	I <sub>u</sub>	I <sub>m</sub>	I <sub>aUNEP</sub>	I <sub>a</sub>	I <sub>u</sub>	I <sub>m</sub>	I <sub>aUNEP</sub>
Alagoinhas	29,01	3,36	-14,05	0,74	35,92	0,00	-21,55	0,64
Barra	40,82	0,00	-24,49	0,59	50,42	0,00	-30,25	0,44
Barreiras	40,03	4,96	-19,06	0,65	49,25	0,56	-28,99	0,51
Bom Jesus da Lapa	45,92	0,00	-27,55	0,49	55,45	0,00	-33,27	0,40
Caetite	30,48	0,75	-17,54	0,70	56,94	0,00	-34,16	0,38
Camaçari	10,08	30,86	24,81	1,21	11,94	18,60	11,43	1,07
Canavieiras	1,27	18,26	17,50	1,17	7,81	8,67	3,98	1,01
Caravelas	3,52	5,67	3,56	1,02	8,22	0,00	-4,93	0,90
Carinhanha	49,32	0,00	-29,59	0,49	63,46	0,00	-38,08	0,34
Cipó	66,89	0,00	-40,14	0,33	72,07	0,00	-43,24	0,28
Correntina	32,90	0,00	-19,74	0,67	49,26	0,00	-29,55	0,48
Cruz das Almas	21,25	2,99	-9,76	0,82	34,82	0,00	-20,89	0,65
Feira de Santana	46,93	0,00	-28,16	0,53	5,22	5,08	1,94	1,00
Guaratinga	14,28	0,00	-8,57	0,81	31,51	0,00	-18,91	0,68
Irecê	50,63	0,00	-30,38	0,49	72,57	0,00	-43,54	0,27
Itaberaba	56,79	0,00	-34,08	0,43	65,79	0,00	-39,48	0,34
Itiruçu (Jaguaquara)	21,90	0,00	-13,14	0,78	45,87	0,00	-27,52	0,54
Ituaçu	54,54	0,00	-32,73	0,45	68,71	0,00	-41,22	0,31
Jacobina	44,35	0,00	-26,61	0,56	59,96	0,00	-35,98	0,40
Lençóis	20,69	0,00	-12,41	0,79	33,48	0,00	-20,09	0,67
Monte Santo	56,96	0,00	-34,18	0,43	67,60	0,00	-40,56	0,32
Morro do Chapéu	35,04	0,00	-21,03	0,65	60,68	0,00	-36,41	0,39
Paulo Afonso	71,12	0,00	-42,67	0,29	76,42	0,00	-45,85	0,24
Remanso	64,92	0,00	-38,95	0,35	73,41	0,00	-44,05	0,27
Salvador (Ondina)	9,82	31,27	25,38	1,21	16,04	28,59	18,97	1,13
Senhor do Bonfim	45,12	0,00	-27,07	0,55	62,19	0,00	-37,31	0,38
Serrinha	46,99	0,00	-28,20	0,53	54,93	0,00	-32,96	0,45
Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)	36,64	0,60	-21,38	0,64	53,14	0,00	-31,88	0,47
Vitoria da Conquista	20,78	0,00	-12,47	0,76	51,04	0,00	-30,62	0,49
Minas Gerais	Thornthwaite				PMF			
	I <sub>a</sub>	I <sub>u</sub>	I <sub>m</sub>	I <sub>aUNEP</sub>	I <sub>a</sub>	I <sub>u</sub>	I <sub>m</sub>	I <sub>aUNEP</sub>
Arinos	34,34	12,42	-8,18	0,78	44,71	9,47	-17,36	0,65
Diamantina	11,01	66,89	60,28	1,56	28,18	21,35	4,45	0,93
Espinosa	44,31	0,00	-26,59	0,52	61,63	0,00	-36,98	0,34
Itamarandiba	20,27	30,59	18,42	1,10	36,04	11,54	-10,09	0,75
Janaúba	45,92	0,00	-27,55	0,54	66,13	0,00	-39,68	0,34
Januária	34,50	2,94	-17,76	0,68	54,81	0,00	-32,88	0,45
Mocambinho	43,09	0,00	-25,86	0,57	53,18	0,00	-31,91	0,43
Monte Azul	42,08	0,00	-25,25	0,53	60,18	0,00	-36,11	0,35

Montes Claros	30,77	19,05	0,58	0,88	47,87	6,85	-21,87	0,59
Pedra Azul	29,26	2,35	-15,21	0,73	46,26	0,00	-27,76	0,52
Pirapora	30,29	10,80	-7,37	0,81	49,27	0,00	-29,56	0,51
Salinas	31,94	0,00	-19,16	0,68	48,92	0,00	-29,35	0,49
Teófilo Otoni	26,23	3,93	-11,80	0,78	34,33	3,14	-17,45	0,69
Formoso	29,10	24,57	7,10	0,95	42,67	11,28	-14,32	0,69
<b>Sergipe</b>	<b>Thornthwaite</b>				<b>PMF</b>			
	<b>I<sub>a</sub></b>	<b>I<sub>u</sub></b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	<b>I<sub>a</sub></b>	<b>I<sub>u</sub></b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>
Aracaju	31,50	13,92	-4,98	0,82	40,45	9,90	-14,37	0,69
Itamabanhaninha	30,06	6,42	-11,61	0,76	35,03	2,79	-18,23	0,68
Propria	47,32	4,43	-23,96	0,57	50,00	4,16	-25,84	0,54

Fonte: do próprio autor.

### Apêndice C – Classificação Climática de cada Município

Tabela 3 – Classificação climática de acordo com o Índice Efetivo de Umidade ( $I_m$ ) e aridez da UNEP ( $I_{aUNEP}$ ), calculados com a estimativa da  $ET_0$  por Thornthwaite e Penaman Monteith FAO (PMF).

<b>Paraíba</b>	<b>Thornthwaite</b>		<b>PNM</b>	
	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>
Areia	Úmido 1	Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido úmido
Campina G.	Semiárido	Sub-úmido seco	Semiárido	Semiárido
Monteiro	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Patos	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
São Gonçalo	Semiárido	Sub-úmido seco	Semiárido	Semiárido
João Pessoa	Úmido 1	Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido úmido
<b>Rio G. do Norte</b>	<b>Thornthwaite</b>		<b>PNM</b>	
	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>
Apodi	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Ceará Mirim	Subúmido Seco	Subúmido úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Cruzeta	Árido	Semiárido	Árido	Semiárido
Florânia	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Mossoró	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Natal	Subúmido Úmido	Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido
Seridó (Caicó)	Árido	Semiárido	Árido	Semiárido
<b>Pernambuco</b>	<b>Thornthwaite</b>		<b>PNM</b>	
	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>
Arcoverde	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido
Cabrobro	Árido	Semiárido	Árido	Semiárido
Garanhuns	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Subúmido Seco
Ouricuri	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Petrolina	Árido	Semiárido	Árido	Árido
Pesqueira	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido

Recife (curado)	Úmido 2	Úmido	Semiárido	Úmido
Surubim	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Triunfo	Úmido 1	Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
<b>Ceará</b>	<b>Thornthwaite</b>		<b>PNM</b>	
	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>
Acarau	Subúmido Seco	Subúmido Seco	Subúmido Seco	Subúmido Seco
Barbalha	Subúmido Seco	Subúmido Seco	Semiárido	Subúmido Seco
Campos sales	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Crateus	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Fortaleza	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido
Guaramiranga	Úmido 3	Úmido	Úmido 1	Úmido
Iguatu	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Jaguaruana	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Morada nova	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Quixeramobim	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Sobral	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Taua	Árido	Semiárido	Árido	Semiárido
<b>Alagoas</b>	<b>Thornthwaite</b>		<b>PNM</b>	
	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>
Agua Branca	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Subúmido Seco
Maceió	Úmido 1	Úmido	Subúmido Úmido	Úmido
Palmeira dos Indios	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Pão de Açucar	Árido	Semiárido	Árido	Semiárido
Porto de Pedras	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
<b>Piauí</b>	<b>Thornthwaite</b>		<b>PNM</b>	
	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>
Bom Jesus Do Piauí	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Subúmido Seco
Caracol	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Esperantina	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Floriano	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Luzilandia(Lag.Do Piauí)	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Morro Dos Cavalos	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Parnaíba	Subúmido Seco	Subúmido Seco	Subúmido Seco	Subúmido Seco
Paulistana	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Picos	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Piripiri	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
São João Do Piauí	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Teresina	Subúmido Seco	Subúmido Seco	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Vale Do Gurgueia (Cristiano Castro)	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido
<b>Maranhão</b>	<b>Thornthwaite</b>		<b>PNM</b>	
	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>a</sub>UNEP</b>

Alto Parnaíba	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Bacabal	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido
Balsas	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Barra Do Corda	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Carolina	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido
Caxias		Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Chapadinha	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido
Colinas	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Imperatriz	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido
São Luis	Úmido 1	Úmido	Úmido 2	Úmido
Turiacu	Úmido 1	Úmido	Úmido 2	Úmido
Zé Doca	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Úmido
<b>Bahia</b>	<b>Thornthwaite</b>		<b>PNM</b>	
	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>aUNEP</sub></b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>aUNEP</sub></b>
Alagoinhas	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Subúmido Seco
Barra	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido
Barreiras	Subúmido Seco	Subúmido Seco	Semiárido	Subúmido Seco
Bom Jesus da Lapa	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Caetite	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Semiárido
Camacari	Úmido 1	Úmido	Subúmido Úmido	Úmido
Canavieiras	Subúmido Úmido	Úmido	Subúmido Úmido	Úmido
Caravelas	Subúmido Úmido	Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Carinhanha	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Cipo	Árido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Correntina	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Semiárido
Cruz das Almas	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Subúmido Seco
Feira de Santana	Semiárido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Úmido
Guaratinga	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Irecê	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Itaberaba	Semiárido	Semiárido	Semiárido	Semiárido
Itirucu (Jaguaquara)	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Semiárido
Ituacu	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Jacobina	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido
Lencois	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Subúmido Úmido
Monte Santo	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Morro do Chapéu	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido
Paulo Afonso	Árido	Semiárido	Árido	Semiárido
Remanso	Semiárido	Semiárido	Árido	Semiárido
Salvador (Ondina)	Úmido 1	Úmido	Subúmido Úmido	Úmido
Senhor do Bonfim	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido
Serrinha	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido

Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido
Vitoria da Conquista	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Semiárido
<b>Minas Gerais</b>	<b>Thornthwaite</b>		<b>PNM</b>	
	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>aUNEP</sub></b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>aUNEP</sub></b>
Arinos	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Seco
Diamantina	Umido 3	Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido
Espinosa	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido
Itamarandiba	Subúmido Úmido	Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Janauba	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido
Januaria	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Semiárido
Mocambinho	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido
Monte Azul	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Semiárido
Montes Claros	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Semiárido	Subúmido Seco
Pedra Azul	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Subúmido Seco
Pirapora	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Subúmido Seco
Salinas	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Semiárido	Semiárido
Teófilo Otoni	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Formoso	Subúmido Úmido	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
<b>Sergipe</b>	<b>Thornthwaite</b>		<b>PNM</b>	
	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>aUNEP</sub></b>	<b>I<sub>m</sub></b>	<b>I<sub>aUNEP</sub></b>
Aracaju	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Itamabanhaninha	Subúmido Seco	Subúmido Úmido	Subúmido Seco	Subúmido Úmido
Propria	Semiárido	Subúmido Seco	Semiárido	Subúmido Seco