



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO EM CIDADES
DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

César Lincoln Oliveira de Souza

Pombal-PB
2017

César Lincoln Oliveira de Souza

**VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO EM CIDADES
DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador (a): Professora Dra. Virgínia de Fátima Bezerra.

Coorientador (a): Dr. Valner da Silva Nogueira.

Pombal-PB
2017

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA SETORIAL
CAMPUS POMBAL/CCTA/UFCG**

MON
S729v

Souza, César Lincoln Oliveira de.
Variabilidade interanual da precipitação em cidades do semiárido brasileiro / César Lincoln Oliveira de Souza. – Pombal, 2017.
37f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) –
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e
Tecnologia Agroalimentar, 2017.

"Orientação: Profa. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra".

"Co-orientação: Prof. Dr. Valner da Silva Nogueira".

1. Variabilidade climática. 2. Veranicos. 3. Climatologia. 4. Semiárido brasileiro. I. Bezerra, Virgínia de Fátima. II. Nogueira, Valner da Silva. III. Título.

UFCG/CCTA

CDU 551.583(043)

César Lincoln Oliveira De Souza

**VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO EM CIDADES
DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador (a): Prof^a. Dr^a. Virgínia de Fátima Bezerra.

Coorientador (a): Dr. Valner da Silva Nogueira.

Aprovado em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof./ Prof^a ...

(Orientador(a) – CCTA/UFMG/*Campus* de Pombal-PB)

Prof./ Prof^a ...

(Examinador(a) Interno(a) – CCTA/UFMG/*Campus* de Pombal-PB)

Prof./ Prof^a ...

(Examinador(a) Externo(a) – conforme Resolução 01/2012)

*Ao meu pai Francisco Lacerda (in memorian),
pois sinto que do seu lugar ainda olha por mim,
sofre com minhas derrotas e rejubila
comigo em minhas vitórias...*

*À minha mãe Francisca Marileide,
esta mulher é a razão da minha vida,
és minha fé e inspiração...*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Autor da existência, por permitir momentos tão especiais como este em nossas vidas.

À minha Mãe linda, por ser a melhor mãe do mundo. O que você faz por mim eu nunca terei como agradecer, por isso só peço a Deus para te ter até eu ter como agradecer, ou seja, para sempre.

À minha irmã, Mikaelly de Souza por ser uma pessoa tão especial e pelo apoio dado durante toda essa caminhada.

À minha família, em especial minha tia Selma e minha linda avó Veneranda Lacerda (Dona Vena), que fizeram de tudo para me ajudar com recursos financeiros no momento que mais precisei, e tenho plena convicção que sem essas mulheres nada disso seria possível, além de contribuírem com a construção dos meus valores.

À minha namorada Edilayne Nóbrega, por todo amor, companheirismo e por ser tão fundamental em minha vida.

À minha mamãe acadêmica, Dra. Virgínia de Fátima e ao seu marido Dr. Valner Nogueira que juntos dedicaram uma parte de seu tempo e paciência para disseminar seus conhecimentos a mim.

A todos os grandes professores do CCTA, vocês são profissionais inspiradores para os alunos do curso de Engenharia Ambiental. Parabéns pelo o comprometimento e dedicação!

À parceria da Residência Universitária Masculina, por proporcionar tantos momentos inesquecíveis e de muitas gargalhadas.

Aos grandes amigos e colegas que conheci durante essa caminhada de cinco anos.

A todos que acreditaram em mim, e que a lição absorvida por nós seja lema de nossas vidas, este resumido em: “nunca desista de seus ideais, o mundo precisa de pessoas perseverantes diante das dificuldades”.

Ao CNPQ e UFCG pelo apoio financeiro e a estrutura física essenciais à formação de um profissional qualificado.

E por último, mas não menos importante: Obrigado a todos os seres que de alguma forma fazem com que esse mundo seja melhor! Sem vocês nosso ciclo de vida já teria se rompido.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 2. OBJETIVO | 13 |
| 2.1 GERAL | 13 |
| 2.2 ESPECÍFICOS | 13 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 3.1 CLIMATOLOGIA | 14 |
| 3.2 EL NIÑO OSCILAÇÃO DO SUL (ENOS) | 14 |
| 3.3 DIPOLO DO ATLÂNTICO TROPICAL | 15 |
| 3.3 VERANICOS | 16 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 17 |
| 4.1 ÁREA DE ESTUDO | 17 |
| 4.2 DETERMINAÇÃO DA CLIMATOLOGIA | 19 |
| 4.3 DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO | 19 |
| 4.4 SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA | 21 |
| 4.5 VERANICOS | 22 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 23 |
| 5.1 CLIMATOLOGIA | 23 |
| 5.2 VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO | 26 |
| 5.3 VERANICOS | 32 |
| 6. CONCLUSÃO | 34 |
| REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO | 36 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Mapa de localização e identificação das estações pluviométricas e seus respectivos IDs..... | 19 |
| Figura 2 – Localização das áreas do oceano Pacífico Equatorial, Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4, e das áreas do oceano Atlântico Tropical, BN (Bacia Norte) e BS (Bacia Sul) | 20 |
| Figura 3 – Identificação e localização das estações pluviais utilizadas no estudo de veranicos | 22 |
| Figura 4 – Localização das estações pluviométricas com seu respectivo período chuvoso..... | 25 |
| Figura 5 – Série Temporal dos maiores veranicos ocorridos na região estudada no período de janeiro a maio (estação chuvosa) em anos de El Niño classificado como moderado ou forte..... | 32 |
| Figura 6 – Duração média anual dos veranicos, dentre o período de janeiro a maio em anos de El Niño classificado como moderado ou forte..... | 33 |
| Figura 7 – Comportamento da variável “duração média x frequência média” dos veranicos da região, dentre o período de janeiro a maio em anos de El Niño classificados como moderado ou forte..... | 33 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Identificação e localização das estações estudadas..... | 17 |
| Tabela 2 – Identificação e localização das estações utilizadas no estudo de veranicos..... | 22 |
| Tabela 3 – Período chuvoso de todas estações pluviométricas estudadas..... | 24 |
| Tabela 4 – Amostra de correlações entre o período chuvoso dos municípios listados e as anomalias de TSM das Bacias Norte e Sul do Atlântico..... | 27 |
| Tabela 5 – Amostra de correlações entre o período chuvoso dos municípios e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 4..... | 28 |
| Tabela 6 – Amostra de correlações entre o período chuvoso dos municípios e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 1+2..... | 29 |
| Tabela 7 – Correlações entre as anomalias de precipitação dos municípios do Agreste Pernambucano (com período chuvoso FMAMJJA) e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 1+2..... | 30 |
| Tabela 8 – correlações entre o período chuvoso dos municípios listados e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 3.4..... | 31 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANA** – Agência Nacional de Águas
- ANP** – Anomalia Normalizada de Precipitação
- ANTSM** – Anomalia Normalizada de TSM
- AT** – Atlântico Tropical
- ATSM** – Anomalia de Temperatura Superficial do Mar
- CC** – Coeficiente de Correlação
- DAT** – Dipolo do Atlântico
- DJFMA** – Dezembro a Abril
- DJFMAM** – Dezembro a Maio
- DAT** – Dipolo do Atlântico Tropical
- EN** – El Niño
- ENOS** – El Niño Oscilação Sul
- FMAMJJA** – Fevereiro a Agosto
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ID** – Identidade
- JFMAM** – Janeiro a Maio
- JFMAMJ** – Janeiro a Junho
- NEB** Nordeste Brasileiro
- NOAA** National Oceanic and Atmospheric Administration
- r** – Coeficiente de Correlação de Pearson
- R²** – Coeficiente de Determinação
- TSM** – Temperatura Superficial do Mar
- UF** – Unidade Federativa
- VMP** – Valor Mensal de Precipitação
- ZCIT** Zona de Convergência Intertropical
- σ** – Desvio padrão

SOUZA, C.L.O. **Variabilidade interanual da precipitação em cidades do semiárido brasileiro**. (2017). (37) fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. (2017).

RESUMO

As variações pluviométricas influenciam diretamente na economia de uma região. Este cenário no semiárido brasileiro pode ser ainda mais impactante, afetando consideravelmente a agricultura e os recursos hídricos. O objetivo deste trabalho foi determinar a influência dos modos de variabilidade climática global na precipitação de cidades do semiárido localizadas nos estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte. Analisou-se também o fenômeno dos veranicos, adotado como sendo um período de no mínimo quatro dias consecutivos sem chuva dentro da estação chuvosa. Os dados utilizados nesta etapa consistiram das séries diárias de precipitações de 6 (seis) postos localizados nos estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco. Foi realizada a climatologia de 70 (setenta) postos pluviométricos espalhados pelos quatro estados e a correlação do período chuvoso destas estações com o El Niño, La Niña e o Dipolo do Atlântico. Na maior parte das estações, o período chuvoso se restringiu a apenas cinco meses, se estendendo de janeiro à maio. O Ceará é o estado mais influenciado pelos modos de variabilidade interanual. Os resultados mostraram que os modos de variabilidade afetam de formas distintas os quatro estados analisados, em comum as maiores correlações, ou seja, a maior influência é das anomalias de TSM da Bacia Sul do Atlântico Tropical sobre o período chuvoso dos postos analisados. Em anos de El Niño forte, a ocorrência de veranicos é constante, sejam eles de natureza duradoura (chegando a marca de até 60 dias sem chuva) ou mais curtos, porém com maior frequência.

Palavras-chave: modos de variabilidade climática, correlação, veranicos.

SOUZA, C.L.O. **Interannual variability of precipitation in brazilian semi-arid cities.** (2017). (37) fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. (2017).

ABSTRACT

Rainfall variations affect the economy of a region directly. The semi-arid region in northeastern Brazil suffers drastic effects of such variability, which harms the agriculture and the availability of water resources. Were analyzed the influence of global climate variability modes in semiarid cities of rainfall in the states of Pernambuco, Paraíba, Ceará and Rio Grande do Norte. It was also analyzed the phenomenon of dry spells, adopted as a period of at least four consecutive days without rain within the rainy season. The data used in this stage consisted of daily precipitation series of 6 (six) stations located in the states of Ceará, Paraíba and Pernambuco. The climatology of 70 (seventy) locations throughout the four states and the correlation of the rainy season of these stations with El Niño, La Niña and the Atlantic Dipole were performed. Most stations showed five months of rainy season, from January to May. The Ceará region was the most affected by the interannual variability patterns. The variability of patterns affected the four studied states in different ways, however, the rainy seasons in the whole region suffered a large influence of the SST anomalies of the South Atlantic Tropical Basin. In El Niño years strong, the occurrence of dry spells is constant, they are of a lasting nature (reaching the mark of 60 days without rain) or shorter, but more often.

Keywords: modes of climatic variability, correlation, dry spells.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial tem sido amplamente estudada em várias regiões do globo, devido a sua grande contribuição para entender o ciclo hidrológico e a manutenção do meio ambiente e dos seres vivos. O desenvolvimento econômico do semiárido brasileiro está profundamente relacionado com os períodos prolongados das secas. Devido à irregularidade temporal, espacial e aos baixos índices pluviométricos, quase toda a região enfrenta problemas decorrentes da falta de água, o que é uma restrição para o desenvolvimento de atividades agrícolas.

O clima semiárido no interior da região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta, em média, precipitação acumulada inferior a 600 mm ano⁻¹. No nordeste da região, área que abrange a maior parte do semiárido do país, o seu período chuvoso ocorre entre os meses de fevereiro a maio. Este setor se destaca em virtude de nele ocorrerem as maiores secas. A estação sem chuva ocorre, na maior parte da região, entre os meses de junho a meados de janeiro (MARENGO, 2011).

Este cenário de clima semiárido pode ser agravado ou atenuado diretamente pelos Modos de Variabilidade Climática Global definidos como o El Niño Oscilação do Sul (ENOS) e o Dipolo do Atlântico Tropical (DAT). O ENOS consiste de uma componente oceânica, o El Niño (EN) (aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Leste e central, próxima da costa do Peru e Equador) e de uma componente atmosférica, a OS (flutuação no campo de pressão 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 refere-se ao “Menino Jesus”, pois desde o século XVI, os pescadores do Peru/Equador denominaram o aquecimento das águas do mar com esse nome, já que acontecia próximo do Natal. O El Niño está relacionado com chuva abaixo da média no NEB. O fenômeno que causa anomalias opostas ao do El Niño é conhecido como La Niña (ARAGÃO, 1998). O DAT consiste em um dipolo meridional de anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Tropical, definido como sendo uma configuração espacial de anomalia de TSM apresentando sinais opostos ao sul e ao norte do Equador, definindo as fases características. A fase negativa (positiva) do DAT é associada com (sem) chuva.

No semiárido brasileiro, além disso, mesmo em períodos considerados de não estiagem, há uma alta ocorrência de veranicos, que são caracterizados como sucessivos dias sem chuvas, forte insolação, calor intenso, baixa umidade relativa e conseqüentemente uma maior taxa de evapotranspiração durante a estação chuvosa, o que compromete ainda mais a agricultura local (NOBRE et al., 2004).

Os Modos de Variabilidade Climática Global influenciam a variabilidade intrasazonal das chuvas sobre NEB o que resultam em maior ou menor aumento dos veranicos. As influencias mais marcantes são diretamente sentidas na migração latitudinal da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) que está associada ao gradiente meridional de TSM sobre o Atlântico Tropical e o Pacífico Equatorial. Por sua vez, modificações anômalas ou naturais nas características da ZCIT refletem diretamente na distribuição temporal e espacial da pluviometria regional, onde proporciona ciclos de estiagem intercalados com eventos torrenciais de precipitação em escalas intrasazonal, sazonal e interanual (MOURA e SHUKLA, 1981; MECHOSO et al., 1990).

Baseado nos estudos apontados anteriormente, pode-se afirmar que há evidências observacionais que o semiárido do NEB é influenciado pelas condições de grande escala dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. Portanto, aprofundar o conhecimento em direção à determinação da variabilidade interanual da precipitação e períodos de veranicos em regiões do NEB é substancial para a definição de políticas públicas preocupadas com abastecimentos de água em anos anômalos.

2. OBJETIVO

2.1 Geral

Determinar a influência dos modos de variabilidade climática global na precipitação de cidades do semiárido. Além do impacto de El Niños fortes e moderados na quantidade e duração dos “veranicos” na região.

2.2 Específicos

- I. Obter a climatologia regional de precipitação com intuito de relacionar ou comparar com os modos de variabilidade climática global e com os períodos de veranicos encontrados na região estudada;
- II. Correlacionar as anomalias de precipitação com as anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical, para determinar a influência remota do El Niño e La Niña e do Dipolo de TSM do Atlântico Tropical;
- III. Determinar os períodos de veranicos e relacionar com os episódios do ENOS.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Climatologia

O clima no NEB é determinado por uma ação conjunta de vários processos físicos e dinâmicos, além das características locais, os quais são responsáveis pela distribuição temporal e espacial de chuva ao longo de sua extensão. A ZCIT, devido às suas características físicas, é um dos sistemas atmosféricos mais importantes na determinação de chuvas na região tropical, e suas variações espaciais e temporais são responsáveis pelas maiores variações sazonais das chuvas nesta região. A ZCIT é responsável por grande parte da precipitação de verão/outono no NEB, qualquer alteração na sua formação característica, a estação chuvosa do NEB será modificada (MARENGO, 2000).

A mudança da estação chuvosa para a seca, na região NEB, coincide com o posicionamento da ZCIT, que não apresenta uma simetria em seu tempo de permanência em ambos os hemisférios. O seu deslocamento normal máximo anual atinge aproximadamente 8°N durante o verão boreal e no verão austral, esta posiciona-se mais ao sul, aproximadamente entre 1°S e 3°S (PHILANDER et al., 1995). Todavia, nos anos que apresentam registros de precipitação bem acima da média climatológica na região Nordeste, a ZCIT tende a permanecer mais tempo no Hemisfério Sul.

3.2 El Niño Oscilação do Sul (ENOS)

Em estudos pioneiros, o cientista Walker (1928) notou uma relação entre o aquecimento anômalo das águas do Pacífico equatorial e as secas da região semiárida brasileira. Após esta observação, inúmeros estudos relacionados procuram aprimorar as respostas para um melhor entendimento desse mecanismo.

A conexão dos ENOS (El Niño-Oscilação Sul) com a precipitação de várias áreas do Brasil e do globo, foi observada e reconhecida por vários autores (MARENGO et al., 2000; LUCENA et al. 2011, etc.), tal que a seca relacionada ao evento El Niño é atribuída a um deslocamento para leste, da circulação de Walker, com movimentos ascendentes anômalos (aumento da convecção) sobre o Pacífico equatorial central e leste e movimentos descendentes (inibição da convecção) sobre o Atlântico Tropical (AT) e a área continental da região NEB.

Segundo CUNHA et al. (2001), o padrão de circulação geral da atmosfera é influenciado pela oscilação da temperatura das águas do centro do Oceano Pacífico juntamente com a costa oeste da América do Sul, em união com os campos de pressão.

Galvínio e Souza (2002) analisaram as relações entre os totais mensais de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e o fenômeno El Niño. Eles usaram correlações lineares múltiplas entre os valores dos índices das anomalias das Temperaturas da Superfície da água do Mar (TSM) e dos totais mensais precipitados sobre a região da bacia. Eles comprovaram que em anos com El Niño as chuvas aumentaram nas sub-regiões da bacia definidas como Alto São Francisco e Médio São Francisco e diminuíram na parte do Baixo São Francisco e que em anos de La Niña, ocorre o oposto. Concluíram que o impacto do El Niño sobre a bacia é positivo e não afeta a produção de água da bacia.

Xavier et al. (2003), avaliaram as interrelações entre ocorrências de eventos ENOS no Pacífico e as posições médias da ZCIT no Atlântico, com respeito à chuva acumulada nas principais bacias do Estado do Ceará durante a “quadra chuvosa”. Utilizaram séries pluviométricas para o período de 1964 a 1999 cujos resultados mostraram a importância da migração da ZCIT para o sul da linha do equador no sentido da instalação das chuvas sobre as bacias do Ceará. Além disso, relataram a relação do ENOS no Pacífico com a descida para o sul da ZCIT no Atlântico e também com as chuvas nas bacias.

3.3 Dipolo do Atlântico Tropical

Tal como a influência do Oceano Pacífico Equatorial, a variabilidade da TSM no Oceano Atlântico Tropical também apresenta sua importância e impacto sobre o clima da região Nordeste (ANDREOLI e KAYANO, 2004). Esta variabilidade ocorre em escala interanual e decadal e está ligada à variação meridional da Zona de Convergência Intertropical que é um dos principais mecanismos que provocam precipitação no Norte e também sobre parte do leste do NEB (LUCENA et al, 2011).

De todos os fatores físicos que causam modificações na distribuição das chuvas na Região Nordeste, o sinal mais proeminente de variabilidade interanual é o fenômeno El Niño-Oscilação do Sul. Entretanto, em alguns anos em que há ocorrência do Padrão de Dipolo Clássico de TSM do Atlântico Tropical é verificadas flutuações

extremas no campo de precipitação em quase todo o norte da América do Sul (NOBRE e SHUKLA, 1996).

Uma análise das anomalias de precipitação no NEB foi realizada por Andreoli e Kayano (2007), considerando-se os efeitos do ENOS e do Atlântico Tropical (AT) na estação anterior à estação chuvosa do NEB. As autoras verificaram que quando atuam simultaneamente ENOS e Anomalia de TSM (ATSM) significativas no AT atuam para aumentar ou diminuir as anomalias de precipitação. Concluíram que um aspecto importante nesta análise é o papel do ATS. ATSMs de mesmo sinal no ATS e Pacífico leste enfraquecem os padrões de precipitação no NEB. Quando as ATSMs do AT apresentam o mesmo sinal que as do Pacífico, as anomalias de precipitação do norte do NEB são enfraquecidas ou mudam de sinal, ou seja, as ATSMs no ATS agem contrariamente à influência dos padrões de teleconexões associados aos eventos ENOS no AT e NEB. Quando as ATSMs do ATS são não significativas ou possuem magnitudes equivalentes às do ATN, porém com sinal oposto ao das ATSMs do Pacífico leste, as ATSMs do ATN e as anomalias da circulação atmosférica relacionadas ao ENOS, têm efeitos na precipitação do NEB que se somam e assim fortalecem os padrões anômalos de precipitação.

3.3 Veranicos

Denomina-se veranico um período sucessivo de dias sem chuva dentro da estação chuvosa, além disso, apresentando em média umidade relativa baixa juntamente com um acréscimo à temperatura média do ar. Os mais duradouros causam impactos negativos na economia local, afetando sobretudo o desenvolvimento de culturas agrícolas, principalmente milho e feijão (NOBRE, 2004). Cupolillo et al. (2008), destaca a importância de se observar e avaliar a ocorrência dos veranicos, sejam eles curtos ou prolongados, pois este conhecimento propicia em tomadas de decisões para adequar cada espécie e cultivar às suas exigências de água.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A região estudada está situada na zona considerada semiárida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2015), onde os estados considerados para o estudo foram: Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, que estão localizados entre os paralelos de 3° 05' 02" e 9° 28' 41" de latitude sul e entre os meridianos de 35° 17' 43" e 41° 21' 47" a oeste do meridiano de Greenwich.

Atualmente não há uma distribuição homogênea de estações com dados suficientes e de qualidade para os estudos das dinâmicas climáticas que se pretendeu realizar nesse trabalho. Portanto, para a seleção das estações pluviométricas foram consideradas as que possuíam no mínimo 28 anos de dados, dentre o período de 1984 a 2015.

Foram utilizados dados históricos de 70 (setenta) estações pluviométricas (Tabela 1 e Figura 1) disponibilizados pela plataforma “HidroWeb” da Agência Nacional das Águas – ANA.

Tabela 1 – Identificação e localização das estações estudadas.

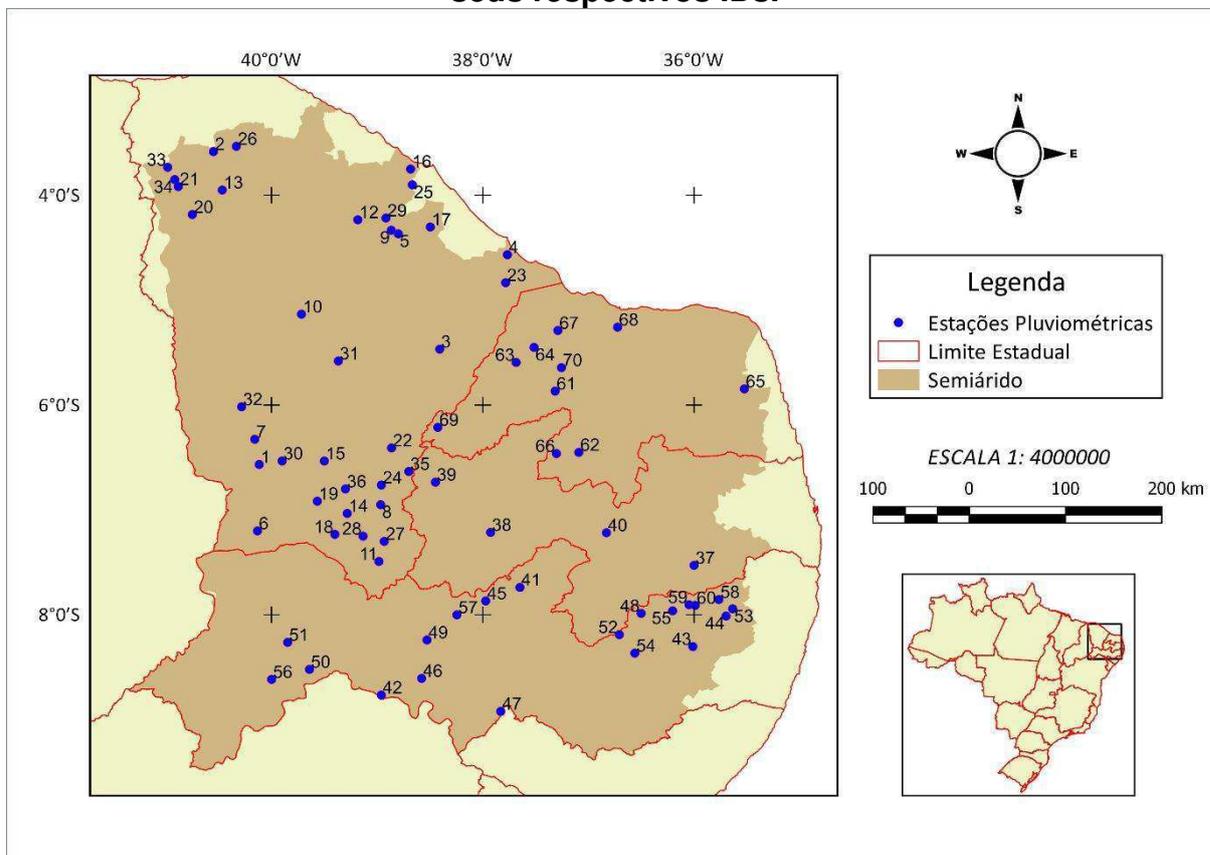
| ID | Município | UF | Código | Latitude | Longitude | Altitude (m) |
|----|--------------------|----|--------|------------|------------|--------------|
| 1 | Aiuaba | CE | 640019 | -06°34'00" | -40°07'00" | 350 |
| 2 | Alcântaras | CE | 340066 | -03°35'00" | -40°33'00" | - |
| 3 | Alto Santo | CE | 538008 | -05°28'01" | -38°24'27" | 70 |
| 4 | Aracati | CE | 437000 | -04°34'00" | -37°46'00" | 20 |
| 5 | Aracobaia | CE | 438009 | -04°22'00" | -38°48'00" | 101 |
| 6 | Araripe | CE | 740008 | -07°12'00" | -40°08'00" | 605 |
| 7 | Arneiroz | CE | 640003 | -06°19'35" | -40°09'32" | - |
| 8 | Aurora | CE | 638010 | -06°57'00" | -38°58'00" | 65 |
| 9 | Baturité | CE | 438010 | -04°20'00" | -38°52'00" | 123 |
| 10 | Boa Viagem | CE | 539029 | -05°08'00" | -39°43'00" | 235 |
| 11 | Brejo Santo | CE | 738006 | -07°29'28" | -38°59'00" | 490 |
| 12 | Caridade | CE | 439006 | -04°14'00" | -39°11'00" | 150 |
| 13 | Cariré | CE | 340014 | -03°57'00" | -40°28'00" | 157 |
| 14 | Caririaçu | CE | 739011 | -07°02'00" | -39°17'00" | 710 |
| 15 | Caríus | CE | 639030 | -06°32'00" | -39°30'00" | 230 |
| 16 | Caucaia | CE | 338009 | -03°45'00" | -38°41'00" | 32 |
| 17 | Chorózinho | CE | 438021 | -04°18'08" | -38°29'49" | 42 |
| 18 | Crato | CE | 739006 | -07°14'00" | -39°24'00" | 421 |
| 19 | Farias Brito | CE | 639029 | -06°55'00" | -39°34'00" | 320 |
| 20 | Guaraciba do Norte | CE | 440023 | -04°11'00" | -40°45'00" | 380 |
| 21 | Ibiapina | CE | 340018 | -03°55'00" | -40°53'00" | 885 |
| 22 | Icó | CE | 638014 | -06°24'32" | -38°51'49" | 160 |
| 23 | Jaguaruana | CE | 437006 | -04°50'00" | -37°47'00" | 15 |

(continua)

| | | | | | | |
|----|----------------------------|----|--------|------------|------------|------|
| 24 | Lavras da Mangabeira | CE | 638007 | -06°45'46" | -38°57'38" | 247 |
| 25 | Maranguape | CE | 338016 | -03°54'00" | -38°40'00" | 67 |
| 26 | Massapê | CE | 340049 | -03°32'00" | -40°20'00" | 76 |
| 27 | Milagres | CE | 738008 | -07°18'00" | -38°56'00" | 371 |
| 28 | Missão Velha | CE | 739007 | -07°15'00" | -39°08'00" | 352 |
| 29 | Pacoti | CE | 438036 | -04°13'00" | -38°55'00" | 800 |
| 30 | Saboeiro | CE | 639033 | -06°32'00" | -39°54'00" | 275 |
| 31 | Senador Pompeu | CE | 539037 | -05°34'48" | -39°22'05" | 173 |
| 32 | Tauá | CE | 640002 | -06°01'00" | -40°17'00" | 399 |
| 33 | Tianguá | CE | 340030 | -03°44'00" | -40°59'00" | 795 |
| 34 | Ubajara | CE | 340031 | -03°51'00" | -40°55'00" | 870 |
| 35 | Umari | CE | 638008 | -06°38'00" | -38°42'00" | 350 |
| 36 | Várzea Alegre | CE | 639034 | -06°48'00" | -39°18'00" | 345 |
| 37 | Boqueirão | PB | 735124 | -07°31'42" | -35°59'59" | 350 |
| 38 | Piancó | PB | 737006 | -07°12'51" | -37°55'33" | 250 |
| 39 | São João do Rio do Peixe | PB | 638032 | -06°44'07" | -38°26'53" | 240 |
| 40 | Taperoá | PB | 736000 | -07°13'03" | -36°49'44" | 500 |
| 41 | Afogados da Ingazeira | PE | 737023 | -07°44'20" | -37°38'54" | 525 |
| 42 | Belém de São Francisco | PE | 838004 | -08°45'54" | -38°57'38" | 305 |
| 43 | Caruaru | PE | 835106 | -08°18'10" | -36°00'39" | 545 |
| 44 | Cumaru | PE | 835135 | -08°00'43" | -35°41'46" | 395 |
| 45 | Flores | PE | 737027 | -07°52'40" | -37°58'21" | 460 |
| 46 | Floresta | PE | 838021 | -08°36'23" | -38°34'43" | 317 |
| 47 | Inajá | PE | 837038 | -08°55'15" | -37°49'50" | 355 |
| 48 | Jataúba | PE | 736040 | -07°59'11" | -36°30'02" | 600 |
| 49 | Mirandiba | PE | 838002 | -08°14'23" | -38°31'40" | 375 |
| 50 | Orocó | PE | 839034 | -08°31'13" | -39°38'27" | 0 |
| 51 | Parnamirim | PE | 839009 | -08°15'46" | -39°50'50" | 390 |
| 52 | Poção | PE | 836093 | -08°11'22" | -36°42'25" | 1035 |
| 53 | Salgadinho | PE | 735067 | -07°56'34" | -35°38'03" | 270 |
| 54 | Sanharó | PE | 836043 | -08°21'56" | -36°33'37" | 653 |
| 55 | Santa Cruz do Capibaribe | PE | 736041 | -07°57'43" | -36°12'08" | 472 |
| 56 | Santa Maria da Boa Vista | PE | 840010 | -08°36'58" | -39°59'58" | 350 |
| 57 | Serra Talhada | PE | 838031 | -08°00'02" | -38°14'41" | 435 |
| 58 | Surubim | PE | 735158 | -07°51'17" | -35°45'52" | 418 |
| 59 | Taquaratinga do Norte | PE | 736042 | -07°54'14" | -36°02'49" | 785 |
| 60 | Vertentes | PE | 735159 | -07°54'36" | -35°59'19" | 401 |
| 61 | Augusto Severo | RN | 537034 | -05°52'02" | -37°18'53" | - |
| 62 | Caicó | RN | 637039 | -06°27'04" | -37°05'26" | - |
| 63 | Felipe Guerra | RN | 537008 | -05°35'36" | -37°41'03" | 70 |
| 64 | Governador Dix-Sept Rosado | RN | 537036 | -05°27'00" | -37°30'54" | - |
| 65 | Ielmo Marinho | RN | 535038 | -05°50'45" | -35°31'24" | 99 |
| 66 | Jardim de Piranhas | RN | 637010 | -06°27'44" | -37°18'09" | 120 |
| 67 | Mossoró | RN | 537035 | -05°17'20" | -37°17'20" | - |
| 68 | Pendências | RN | 536036 | -05°15'26" | -36°43'24" | - |
| 69 | São Miguel | RN | 638044 | -06°12'46" | -38°25'32" | 500 |
| 70 | Upanema | RN | 537019 | -05°38'37" | -37°15'19" | 45 |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da Agência Nacional das Águas, ANA (2017).

Figura 1 – Mapa de localização e identificação das estações pluviométricas e seus respectivos IDs.



Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017) e IBGE (2017).

4.2 Determinação da Climatologia

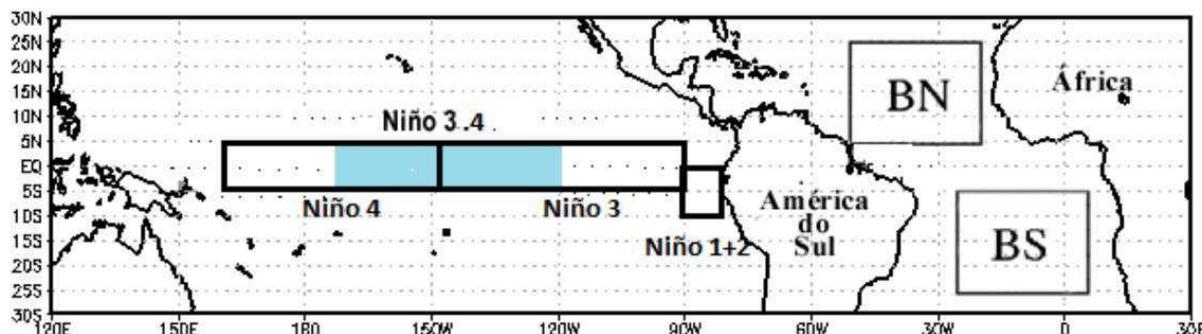
A partir da obtenção do conjunto de dados diários de precipitação foram calculadas as médias e os desvios-padrões climatológicos mensais de precipitação das estações escolhidas, onde foi considerado que os meses com médias maiores que o desvio padrão médio são os meses que fazem parte do período chuvoso daquele local. O mapa de localização dos estações pluviométricas foi confeccionado a partir do software “QGIS 2.8”.

4.3 Determinação da Variabilidade Interanual da Precipitação

A técnica usada para estudar a variabilidade interanual da precipitação foi o uso do coeficiente de correlação linear entre a precipitação e a TSM da região do Oceano Pacífico Equatorial referente às áreas do NINOS (4, 3, 3.4, 1+2) e a região do Oceano Atlântico Tropical referente às Bacias Norte (5° N – 25° N/50°W-20°W) e Sul (5°S-25°S/30°W-0°W), bacias estas onde ocorre o Padrão de Dipolo Clássico de TSM.

As coletas das TSMs mensais das zonas em destaque na Figura 2, foram obtidas a partir do banco de dados expostos no sítio online da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

Figura 2 – Localização das áreas do oceano Pacífico Equatorial, Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4, e das áreas do oceano Atlântico Tropical, BN (Bacia Norte) e BS (Bacia Sul).



Fonte: Adaptada de IRI (2013).

As variáveis consideradas para determinar a variabilidade interanual da precipitação são as Anomalias Normalizadas de TSM (ANTSM) e as Anomalias Normalizadas de Precipitação (ANP), normalizadas pelo desvio padrão (σ), são calculadas pelas seguintes expressões:

$$ANTSM_{ij} = \left(\frac{TSM_{ij} - \overline{TSM}_{ij}}{\sigma_i} \right) \quad (1)$$

Na qual:

$ANTSM_{ij}$ = anomalia normalizada de TSM do posto i no ano j ;

TSM_{ij} = valor mensal de TSM do posto i no ano j ;

\overline{TSM}_i = valor médio de TSM do mês i ;

i, j = subíndices representativos do posto pluviométrico e do ano, respectivamente;

σ_i = desvio padrão de TSM no mês i , dada por :

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n} - \left[\frac{\sum X}{n} \right]^2}$$

A anomalia de precipitação (AP) foi calculada de acordo com a Equação 1 expressa por:

$$ANP_{ij} = \left(\frac{VMP_{ij} - \overline{VMP}_{ij}}{\sigma_i} \right) \quad (2)$$

Na qual:

ANP_{ij} = anomalia normalizada de precipitação para o posto i no ano j;

VMP_{ij} = valor mensal de precipitação do posto i no ano j;

\overline{VMP}_{ij} = valor médio mensal de precipitação do posto i no ano j;

i, j = subíndices representativos ao posto pluviométrico e o ano, respectivamente;

σ_i = desvio padrão de precipitação mensal do posto i.

Os coeficientes de correlação linear serão calculados e utilizando-se o teste t-Student para verificar a significância estatística da correlação

4.4 Significância estatística

No caso de uma distribuição normal bi-dimensional, o coeficiente de correlação linear r de uma amostra é uma estimativa do coeficiente de correlação da população correspondente. Neste caso, pode-se testar a hipótese $\rho=0$ contra uma alternativa, por exemplo, $\rho > 0$. Se a hipótese for verdadeira então t_0 corresponde a uma variável aleatória que tem distribuição t com n-2 graus de liberdade. Neste caso t_0 deveria ser pequeno, portanto se t_0 for muito grande, rejeita-se a hipótese.

A significância estatística dos valores de correlação pode ser conseguida através de um teste de hipótese simples. Testando a hipótese de que os valores do coeficiente de correlação de Pearson (r) são iguais à zero, o que significaria que não há correlação linear alguma entre os pares de variáveis, contra a hipótese de que eles são diferentes de zero, o que significa que a correlação, por mais tênue que seja, é significativa. Para tanto, calcula-se o valor:

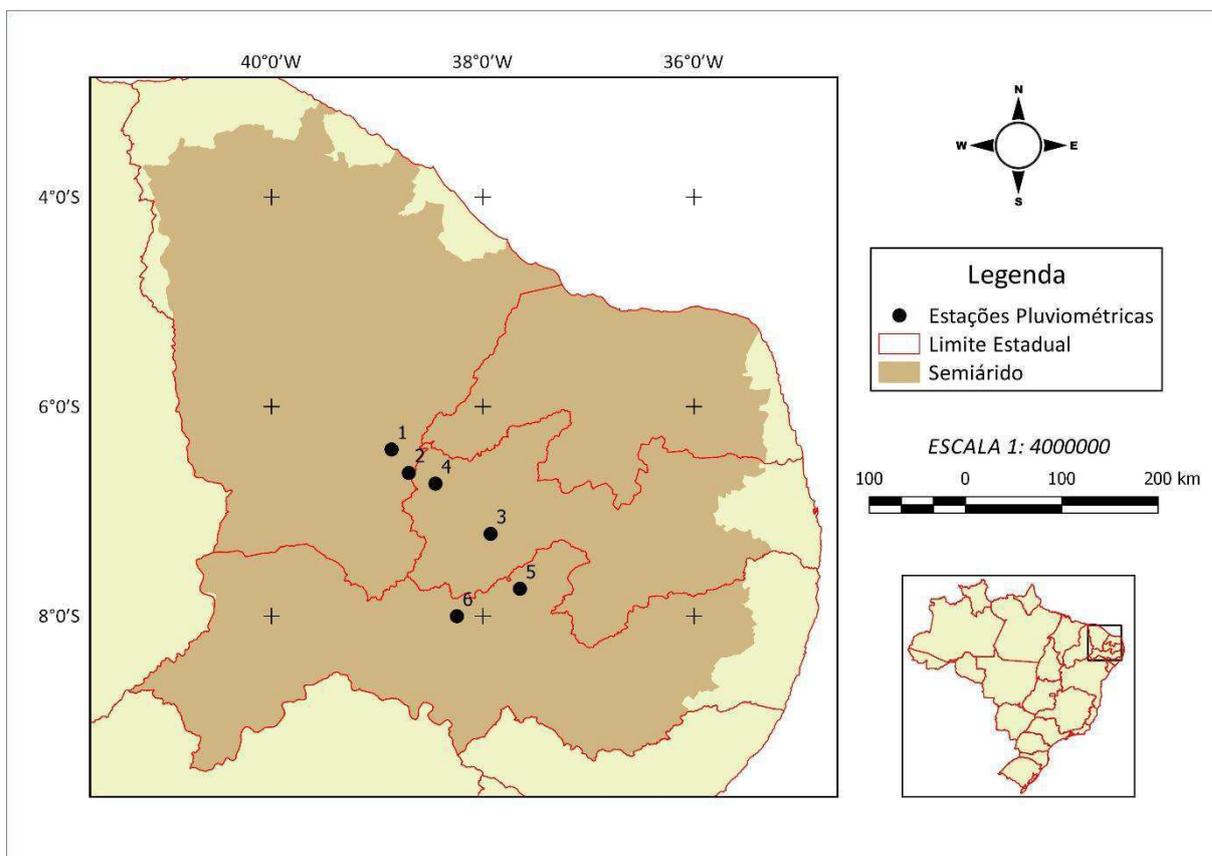
$$t_0 = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (3)$$

Em que, r é o valor do coeficiente de correlação de Pearson da amostra e n é o número de elementos na amostra (no presente caso é o número total de meses do período chuvoso nos anos considerados).

4.5 Veranicos

Os dados utilizados nesta etapa consistem em uma série diária de precipitações de 6 (seis) estações localizadas e divididas entre os estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco (Tabela 2 e Figura 3). O estado do Rio Grande do Norte apresentou muitas falhas na série diária, por esse motivo resolveu-se não o inserir.

Figura 3 – Identificação e localização das estações pluviais utilizadas no estudo de veranicos.



Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017) e IBGE (2017).

Tabela 2 - Identificação e localização das estações utilizadas no estudo de veranicos.

| ID | Município | UF | Código | Latitude | Longitude | Altitude (m) |
|----|-----------------------|----|--------|------------|------------|--------------|
| 1 | Icó | CE | 638014 | -06°24'32" | -38°51'49" | 160 |
| 2 | Umari | CE | 638008 | -06°38'00" | -38°42'00" | 350 |
| 3 | Piancó | PB | 737006 | -07°12'51" | -37°55'33" | 250 |
| 4 | S. J. do Rio do Peixe | PB | 638032 | -06°44'07" | -38°26'53" | 240 |
| 5 | Afog. da Ingazeira | PE | 737023 | -07°44'20" | -37°38'54" | 525 |
| 6 | Serra Talhada | PE | 838031 | -08°00'02" | -38°14'41" | 435 |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

Para a seleção das estações utilizou-se critérios como: estações que apresentaram um mesmo período chuvoso, o selecionado neste caso, foi o período de janeiro a maio (JFMAM), respeitando os resultados dos estudos de climatologia estabelecidos neste trabalho e procurou-se obter a centralização da região, pretendendo obter dados mais homogêneos. Também convencionou-se “dias com chuva” aqueles com registros observados iguais ou superiores a 4 mm e valores menores como “dias sem chuvas”. Os veranicos foram classificados como uma sequência, de no mínimo, quatro dias consecutivos sem chuvas.

Foram verificadas as variáveis “maiores veranicos” e “duração média dos veranicos”, além destas, foi relacionado o comportamento das variáveis “duração média x frequência média” em anos de EN com intensidades consideradas fortes e moderadas, dentro do período de 1984 a 2015.

A variável “maiores veranicos” foi dada pela maior quantidade de dias consecutivos sem chuvas no período chuvoso do ano analisado.

Já a “duração média dos veranicos” foi calculada pela soma dos dias corridos (duração) de todos os veranicos observados, dividido pela quantidade de veranicos que ocorreram na região.

O cálculo da “duração média x frequência média dos veranicos” teve por base análise da variável anterior “duração média” simultaneamente a variável de “frequência média dos veranicos”, dada pelo somatório da quantidade de veranicos ocorridos no período chuvoso do ano i , dividido pela quantidade de estações observadas no ano i (onde i é o período chuvoso do ano de EN).

Não foi examinado o último evento considerado forte (2015 a 2016), visto que até a conclusão deste trabalho os bancos de dados não portavam o ano de 2016. No entanto, foi suficiente para obter resultados suficientemente conclusivos mostrados a seguir.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Climatologia

Os postos pluviométricos analisados apresentaram (5) cinco tipos de estações chuvosas diferentes. O período chuvoso em que mais se repetiu entre as estações inicia-se em janeiro e prolonga-se até o mês de maio (JFMAM), este período coincide a 29 (vinte e nove) estações pluviométricas. Além destas, mais 7 (sete) estações

apresentaram período chuvoso de apenas 5 meses, de dezembro até abril (DJFMA). Estas estações de período chuvoso abreviado (5 meses) ocupam em geral a faixa central da região estudada, como pode ser observado na Figura 4, comportando um percentual de 51,42% dos postos estudados.

O Ceará comportou todas as estações com o período chuvoso de seis meses, estas divididas em dois períodos diferentes. No sul do estado encontram-se as estações com período chuvoso de dezembro a maio (DJFMAM). Já o centro Norte e Noroeste do estado, apresentam esse período de janeiro a junho (JFMAMJ).

Na Mesorregião do Agreste Pernambucano, observa-se um período chuvoso distinto das demais localidades estudadas, predominando uma estação chuvosa de 7 (sete) meses (FMAMJJA), porém o total anual de precipitação destas ainda as classifica como uma região de clima semiárido. Este cenário se dá porque o Agreste está inserida entre o Sertão e a Zona da Mata, todavia ainda considerada de clima semiárido devido do seu total pluviométrico anual. Apesar de um baixo índice pluviométrico, estas bem distribuídas no decorrer do ano beneficia a agricultura da mesorregião, conseqüentemente propiciando um melhor desenvolvimento econômico.

A Tabela 3 e Figura 4 comportam resultados do estudo da climatologia das 70 cidades que fazem parte desse estudo, estes itens comportam o período chuvoso de todos os municípios analisados neste trabalho, bem como a sua especialização.

Tabela 3 – Período chuvoso de todas estações pluviométricas estudadas.

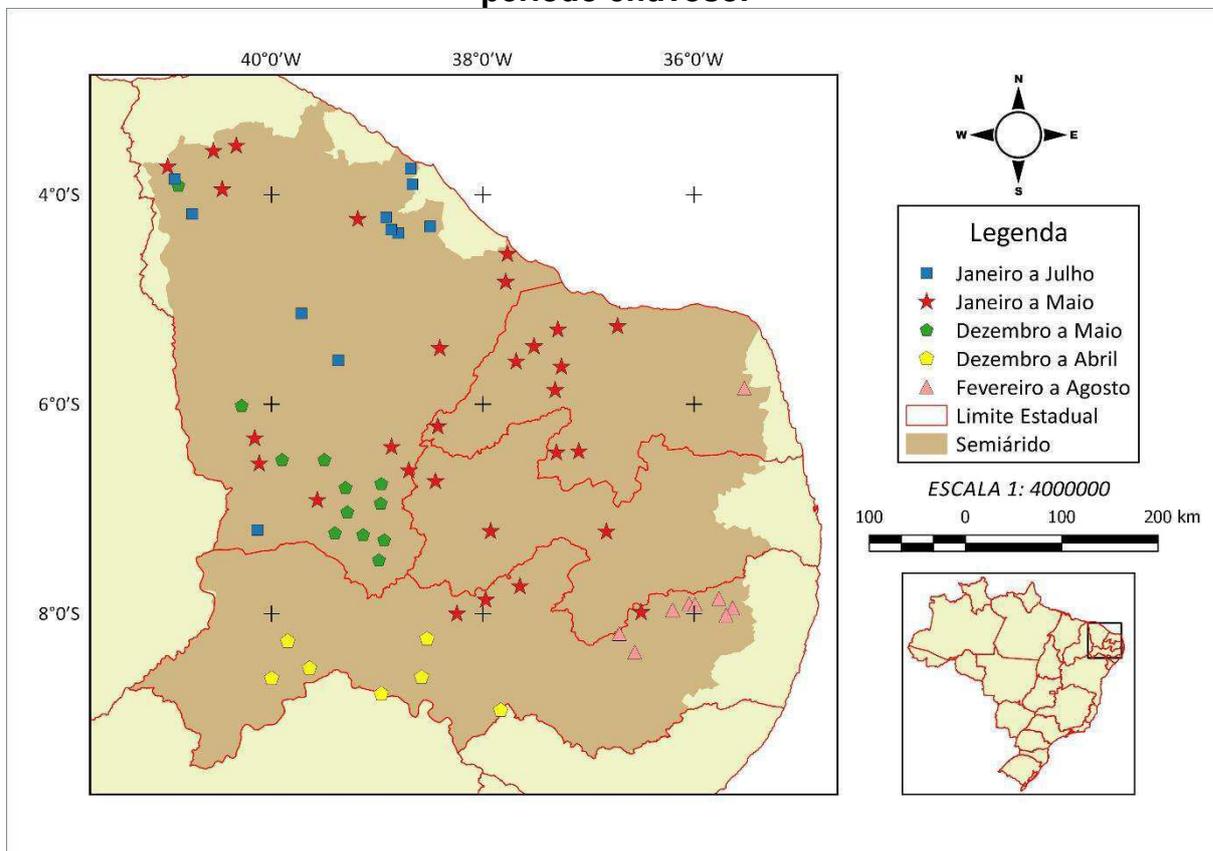
| Município | UF | PC | Município | UF | PC |
|------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|
| Aiuaba | CE | JFMAM | Boqueirão | PB | FMAMJJ |
| Alcântaras | CE | JFMAM | Piancó | PB | JFMAM |
| Alto Santo | CE | JFMAM | S.J. do Rio do Peixe | PB | JFMAM |
| Aracati | CE | JFMAM | Taperoá | PB | JFMAM |
| Aracobaia | CE | JFMAMJ | Afogados da Ingazeira | PE | JFMAM |
| Araripe | CE | JFMAMJ | Belém de São Francisco | PE | DJFMA |
| Arneiroz | CE | JFMAM | Caruaru | PE | MAMJJA |
| Aurora | CE | DJFMA | Cumaru | PE | FMAMJJA |
| Baturité | CE | JFMAMJ | Flores | PE | JFMAM |
| Boa Viagem | CE | JFMAMJ | Floresta | PE | DJFMA |
| Brejo Santo | CE | DJFMA | Inajá | PE | DJFMA |
| Caridade | CE | JFMAM | Jatauba | PE | JFMAM |
| Cariré | CE | JFMAM | Mirandiba | PE | DJFMA |
| Caririaçu | CE | DJFMA | Orocó | PE | DJFMA |
| Caríus | CE | DJFMA | Parnamirim | PE | DJFMA |
| Caucaia | CE | JFMAMJ | Poção | PE | FMAMJJA |

| | | | | | |
|----------------------|----|--------|-------------------------|----|---------|
| Chorózinho | CE | JFMAMJ | Salgadinho | PE | FMAMJJA |
| Crato | CE | DJFMA | Sanharó | PE | FMAMJJA |
| Farias Brito | CE | JFMAM | Sta. Cruz do Capibaribe | PE | FMAMJJA |
| Guaraciba do Norte | CE | JFMAMJ | Sta. Maria da Boa Vista | PE | DJFMA |
| Ibiapina | CE | DJFMA | Serra Talhada | PE | JFMAM |
| Icó | CE | JFMAM | Surubim | PE | FMAMJJA |
| Jaguaruana | CE | JFMAM | Taquaritinga do Norte | PE | FMAMJJA |
| Lavras da Mangabeira | CE | DJFMA | Vertentes | PE | FMAMJJA |
| Maranguape | CE | JFMAMJ | Augusto Severo | RN | JFMAM |
| Massapê | CE | JFMAM | Caicó | RN | JFMAM |
| Milagres | CE | DJFMA | Felipe Guerra | RN | JFMAM |
| Missão Velha | CE | DJFMA | Gov. Dix-Sept Rosado | RN | JFMAM |
| Pacoti | CE | JFMAMJ | Ielmo Marinho | RN | FMAMJJA |
| Saboeiro | CE | DJFMA | Jardim de Piranhas | RN | JFMAM |
| Senador Pompeu | CE | JFMAMJ | Mossoró | RN | JFMAM |
| Tauá | CE | DJFMA | Pendências | RN | JFMAM |
| Tianguá | CE | JFMAM | São Miguel | RN | JFMAM |
| Ubajara | CE | JFMAMJ | Upanema | RN | JFMAM |
| Umari | CE | JFMAM | | | |
| Várzea Alegre | CE | DJFMA | | | |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

PC: Período chuvoso; UF: Unidade Federativa; JFMAM: Janeiro a Maio; JFMAMJ: Janeiro a Julho; DJFMA: Dezembro a Abril; DJFMAM: Dezembro a Maio; FMAMJJA: Fevereiro a Agosto.

Figura 4 – Localização das estações pluviométricas com seu respectivo período chuvoso.



Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017) e IBGE (2017).

5.2 Variabilidade Interanual da Precipitação

Na maioria das estações analisadas observou-se correlação positiva com as anomalias de precipitação e as ATSMs da Bacia do Atlântico Sul com 99% de significância estatística, como pode-se observar na Tabela 4. Destas a maior correlação registrada foi a da cidade de Ubajara, Ceará. A mesma apresentou um valor em que a TSM da Bacia do Atlântico Sul explica 34,99% ($r=0,59$) de sua variabilidade interanual. Isto indica que as anomalias positivas de TSM na Bacia Sul influenciam positivamente na precipitação da região em questão, ou seja, as águas anormalmente quentes na Bacia sul do Atlântico Tropical induzem o aumento da precipitação no semiárido do NEB. Este padrão apresentado pode estar associado à intensidade e localização da ZCIT que é estreitamente relacionada à configuração térmica das Bacias Norte e Sul do Atlântico Tropical (HASTENRATH e HELLER, 1977; MOURA e SHUKLA, 1981).

Já na Bacia do Atlântico Norte, nota-se uma correlação negativa, atestando o fenômeno Dipolo do Atlântico, ou seja, o padrão de TSM é aproximadamente oposto ao da Bacia Sul, contudo, a BN apresentou uma forte relação com o estado do Ceará, sendo o segundo maior responsável pela variabilidade interanual do estado e também da cidade de Ubajara, relacionando 22,05% ($r= -0,47$) das suas variações em eventos de precipitação à BN. Isto indica que as anomalias positivas de TSM na Bacia Norte influenciam negativamente na precipitação do semiárido do NEB, ou seja, as águas anormalmente quentes na Bacia Norte do Atlântico Tropical induzem a diminuição da precipitação nesta mesma região. Naturalmente, como explicado anteriormente, isto pode estar também relacionado à intensidade e localização da ZCIT (HASTENRATH e HELLER, 1977; MOURA e SHUKLA, 1981).

Tabela 4 – Amostra de correlações entre o período chuvoso dos municípios listados e as anomalias de TSM das Bacias Norte e Sul do Atlântico.

| Município | Bacia Norte | | Bacia Sul | |
|--------------------|----------------|--------------------|---------------|--------------------|
| | CC | R ² (%) | CC | R ² (%) |
| Aracobaia | -0,23** | 5,26** | 0,45** | 19,91** |
| Araripe | -0,28** | 7,90** | 0,48** | 22,97** |
| Baturité | -0,23** | 5,24** | 0,41** | 17,05** |
| Boa Viagem | -0,29** | 8,70** | 0,43** | 18,88** |
| Caucaia | -0,34** | 11,83** | 0,54** | 29,25** |
| Chorozinho | -0,31** | 9,36** | 0,54** | 29,54** |
| Guaraciba do Norte | -0,45** | 20,70** | 0,53** | 27,66** |
| Maranguape | -0,37** | 13,99** | 0,54** | 29,02** |
| Pacoti | -0,25** | 6,10** | 0,40** | 15,85** |
| Senador Pompeu | -0,30** | 8,80** | 0,44** | 19,56** |
| Ubajara | -0,47** | 22,05** | 0,59** | 34,99** |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

(CC): Coeficiente de correlação; (R²): Coeficiente de determinação; (**): Significativo a 99%; (*) significativo a 95%; (ns): Não significativo.

As outras estações pluviométricas não apresentaram um resultado uniforme entre estados ou período chuvoso. Porém, maior parte destas não apresentaram uma correlação estatisticamente significativa, como esperado, já que uma interpretação bastante considerada e amplamente divulgada é que a variabilidade de TSM do oceano Atlântico Tropical (AT) é a força dominante das anomalias de precipitação em grande parte no NEB. Enquanto a influência do Oceano Pacífico em alguns casos pode intensificar essas anomalias, em outros pode proporcionar efeitos contrários fazendo com que estas anomalias enfraqueçam (UVO et al., 1998; SOUZA et al., 2004, ANDREOLI e KAYANO, 2007).

Considerando uma significância estatística de 95%, o Niño 4 apresentou correlações negativas com um maior número de estações pluviométricas do Ceará, apresentando uma influência direta na estação chuvosa do estado. Isto indica uma resposta direta e negativa da dinâmica do Pacífico Equatorial no período mais chuvoso da região. O município de Aurora apresentou o maior valor percentual de 13,56% ($r = -0,37$) de coeficiente de determinação, como está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Amostra de correlações entre o período chuvoso dos municípios e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 4.

| Município | Niño 4 | |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| | CC | R ² (%) |
| Aiuaba | -0,13 ^{ns} | 1,66 ^{ns} |
| Alcântaras | -0,25 ^{**} | 6,42 ^{**} |
| Alto Santo | -0,21 ^{**} | 4,36 ^{**} |
| Aracati | -0,19 [*] | 3,62 [*] |
| Arneiroz | -0,17 [*] | 2,79 [*] |
| Aurora | -0,37^{**} | 13,56^{**} |
| Brejo Santo | -0,34 ^{**} | 11,53 ^{**} |
| Caridade | -0,15 ^{ns} | 2,32 ^{ns} |
| Cariré | -0,18 [*] | 3,13 [*] |
| Caririaçu | -0,32 ^{**} | 10,01 ^{**} |
| Caríus | -0,23 ^{**} | 5,39 ^{**} |
| Crato | -0,26 ^{**} | 6,72 ^{**} |
| Farias Brito | -0,21 ^{**} | 4,33 ^{**} |
| Ibiapina | -0,28 ^{**} | 8,11 ^{**} |
| Icó | -0,23 ^{**} | 5,14 ^{**} |
| Jaguaruana | -0,16 [*] | 2,59 [*] |
| Lavras da Mangabeira | -0,27 ^{**} | 7,20 ^{**} |
| Massapê | -0,24 ^{**} | 5,94 ^{**} |
| Milagres | -0,29 ^{**} | 8,39 ^{**} |
| Missão Velha | -0,30 ^{**} | 9,02 ^{**} |
| Saboeiro | -0,25 ^{**} | 6,24 ^{**} |
| Tauá | -0,24 ^{**} | 5,86 ^{**} |
| Tianguá | -0,29 ^{**} | 8,43 ^{**} |
| Umari | -0,25 ^{**} | 6,25 ^{**} |
| Várzea Alegre | -0,28 ^{**} | 8,09 ^{**} |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

CC: Coeficiente de correlação; R²: Coeficiente de determinação; (**): Significativo a 99%; (*) significativo a 95%; (ns): Não significativo.

Na região do Niño 1+2 observa-se valores de correlação positiva com 99% de significância estatística com as cidades do Ceará que têm em comum o período chuvoso de seis meses. A cidade de Milagres apresentou maior proporção, tendo

10,81% ($r = 0,33$) da variabilidade do seu período chuvoso associado ao Niño 1+2, como pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Amostra de correlações entre o período chuvoso dos municípios e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 1+2.

| Município | Niño 1+2 | |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|
| | CC | R ² (%) |
| Aracobaia | -0,12 ^{ns} | 1,34 ^{ns} |
| Araripe | 0,19 ^{**} | 3,58 ^{**} |
| Aurora | 0,26 ^{**} | 6,76 ^{**} |
| Baturité | 0,05 ^{ns} | 0,21 ^{ns} |
| Boa Viagem | 0,18 [*] | 3,16 [*] |
| Brejo Santo | 0,24 ^{**} | 5,86 ^{**} |
| Caririaçu | 0,29 ^{**} | 8,28 ^{**} |
| Caríus | 0,30 ^{**} | 8,96 ^{**} |
| Caucaia | 0,19 ^{**} | 3,78 ^{**} |
| Chorózinho | 0,20 ^{**} | 3,83 ^{**} |
| Crato | 0,25 ^{**} | 6,34 ^{**} |
| Guaraciba do Norte | 0,29 ^{**} | 8,21 ^{**} |
| Ibiapina | 0,30 ^{**} | 8,83 ^{**} |
| Lavras da Mangabeira | 0,26 ^{**} | 6,67 ^{**} |
| Maranguape | 0,20 ^{**} | 3,88 ^{**} |
| Milagres | 0,33^{**} | 10,81^{**} |
| Missão Velha | 0,33 ^{**} | 10,68 ^{**} |
| Pacoti | 0,07 ^{ns} | 0,43 ^{ns} |
| Saboeiro | 0,25 ^{**} | 6,34 ^{**} |
| Senador Pompeu | 0,17 ^{**} | 2,81 ^{**} |
| Tauá | 0,24 ^{**} | 5,59 ^{**} |
| Ubajara | 0,28 ^{**} | 7,82 ^{**} |
| Várzea Alegre | 0,28 ^{**} | 7,91 ^{**} |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

CC: Coeficiente de correlação; R²: Coeficiente de determinação; (**): Significativo a 99%; (*) significativo a 95%; (ns): Não significativo.

As cidades de Cumaru, Salgadinho, Surubim e Taquaritinga do Norte, localizadas no agreste do Pernambuco, obtiveram um coeficiente de correlação

negativo com o Niño 1+2 e conseqüentemente a maior correlação dentre o Oceano Pacífico, correlações proporcionalmente opostas às das cidades do Ceará de período chuvoso semestral, na qual registraram uma correlação positiva. A estação de Taquaritinga do Norte obteve a maior correlação dentre estas, explicando 8,59% ($r=0,29$) da variabilidade das precipitações na sua estação chuvosa (Tabela 7). O resfriamento das águas da zona do Niño 1+2 influenciam positivamente nos índices pluviométricos de 50% das estações estudadas na região agreste de Pernambuco, diferentemente das cidades do Ceará que apresentaram correlações contrárias à mesma zona. Resultados semelhantes foram encontrados por Nogueira (2015) onde foi observado que a região 1+2 obteve correlação positiva com a estação chuvosa da cidade de Chapadinha. Bezerra et. al. (2004), também observaram correlação positiva entre as TSMs da área do Niño 1+2 e o comportamento das precipitações médias anuais no Litoral da Amazônia, em 50% das estações.

Tabela 7 – Correlações entre as anomalias de precipitação dos municípios do Agreste Pernambucano (com período chuvoso FMAMJJA) e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 1+2.

| Município | Niño 1+2 | |
|------------------------------|---------------------|--------------------|
| | CC | R ² (%) |
| Cumarú | -0,20** | 4,11** |
| Poção | -0,02 ^{ns} | 0,03 ^{ns} |
| Salgadinho | -0,26** | 7,01** |
| Sanharó | 0,09 ^{ns} | 0,74 ^{ns} |
| Santa Cruz do Capibaribe | 0,00 ^{ns} | 0,00 ^{ns} |
| Surubim | -0,19** | 3,62** |
| Taquaritinga do Norte | -0,29** | 8,59** |
| Vertentes | -0,07 ^{ns} | 0,56 ^{ns} |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

CC: Coeficiente de correlação; R²: Coeficiente de determinação; (**): Significativo a 99%; (*) significativo a 95%; (^{ns}): Não significativo.

As anomalias de TSM da região do Niño 3.4 apresentaram correlações negativas acima de 95% de significância estatística com as anomalias de precipitação 15 cidades da região. No meio destas, a que mais se destacou foi o município de Brejo Santo – CE, explicando 6,67% das anomalias de precipitação sujeitando-se ao comportamento da temperatura das águas superficiais do Niño 3.4 (Tabela 8).

Tabela 8 – correlações entre o período chuvoso dos municípios listados e as anomalias de TSM da zona que corresponde ao Niño 3.4.

| Município | Niño 3.4 | |
|--------------------|----------------|--------------------|
| | CC | R ² (%) |
| Aiuaba | -0,16* | 2,41* |
| Alcântaras | -0,18* | 3,23* |
| Aurora | -0,23** | 5,48** |
| Brejo Santo | -0,26** | 6,67** |
| Caririaçu | -0,18* | 3,33* |
| Crato | -0,19** | 3,71** |
| Guaraciba do Norte | -0,17* | 2,75* |
| Milagres | -0,15* | 2,31* |
| Missão Velha | -0,19** | 3,76** |
| Pendências | -0,16* | 2,57* |
| Serra Talhada | -0,17* | 2,76* |
| Tianguá | -0,19* | 3,70* |
| Ubajara | -0,20** | 3,89** |
| Umari | -0,18* | 3,07* |
| Várzea Alegre | -0,15* | 2,32* |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados extraídos da ANA (2017).

CC: Coeficiente de correlação; R²: Coeficiente de determinação; (**): Significativo a 99%; (*) significativo a 95%; (ns): Não significativo.

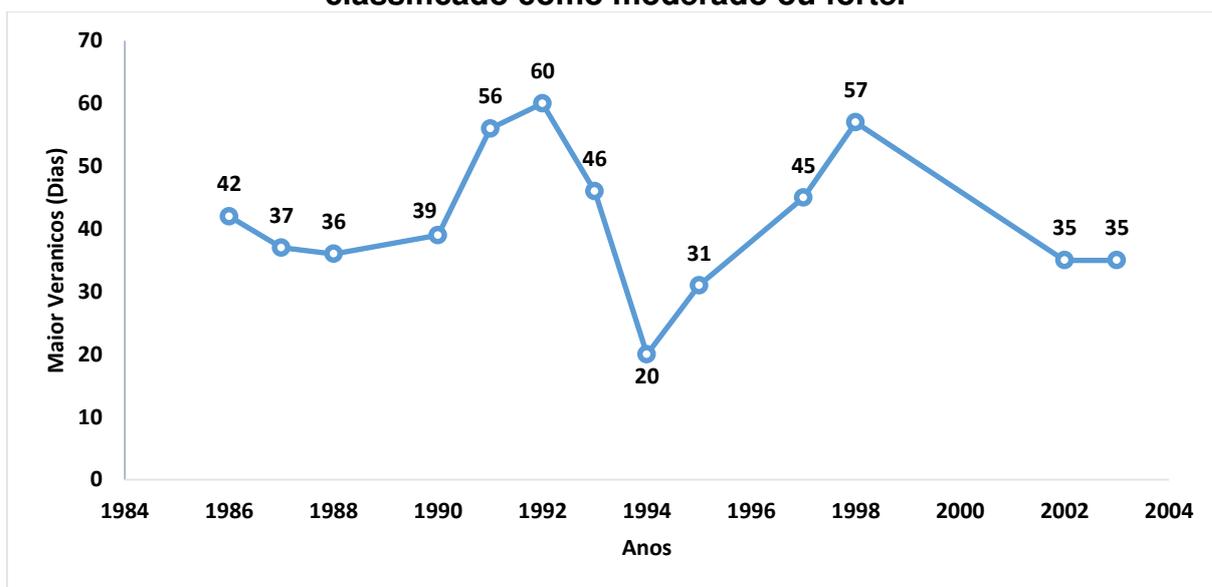
O Niño 3 apresentou resultados relativamente baixos e pontuais, o sinal não ficou claro. Além disso, maior parte das estações não obteve significância estatística. Andreoli e Kayano (2004), observaram uma simultaneidade de máximas variâncias ocorrendo em escala interanual, concluindo que as conexões entre ATSM no Pacífico Leste e o índice pluviométrico no NEB na escala decadal podem ser uma resposta à variabilidade interanual das variações de temperatura superficial do mar na zona do Niño 3. Isto sugeriu que para o período de estudo não existiu um sinal forte das anomalias de TSM da região do Niño 3 com as anomalias de precipitação na região nordeste setentrional.

5.3 Veranicos

Nesta etapa do trabalho são apresentados os comportamentos das variáveis “maiores veranicos”, “duração média dos veranicos” e “duração média x frequência média dos veranicos”, registrados na estação chuvosa (JFMAM) de anos de EN moderados e fortes que ocorreram entre 1984 a 2015, nas seis estações pluviométricas escolhidas.

Os maiores veranicos observados na Figura 5, são resultados dos ENs classificados como forte, com sequências de 56, 60 e 57 dias consecutivos sem chuvas, isto ocorreu respectivamente nos anos de 1991, 1992 e 1998, conseqüentemente causando enormes impactos na agricultura.

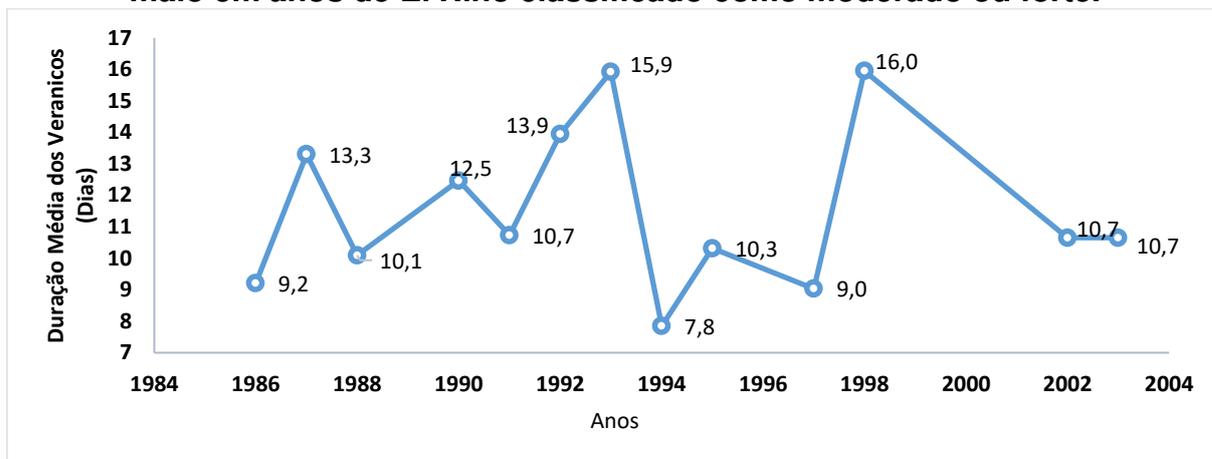
Figura 5 – Série Temporal dos maiores veranicos ocorridos na região estudada no período de janeiro a maio (estação chuvosa) em anos de El Niño classificado como moderado ou forte.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 6 exibe a atuação da duração média dos veranicos nas estações estudadas. Nos anos de 1993 e 1998 observa-se que houve veranicos médios de 16 dias sem chuvas. Os maiores veranicos influenciaram diretamente no aumento da média anual.

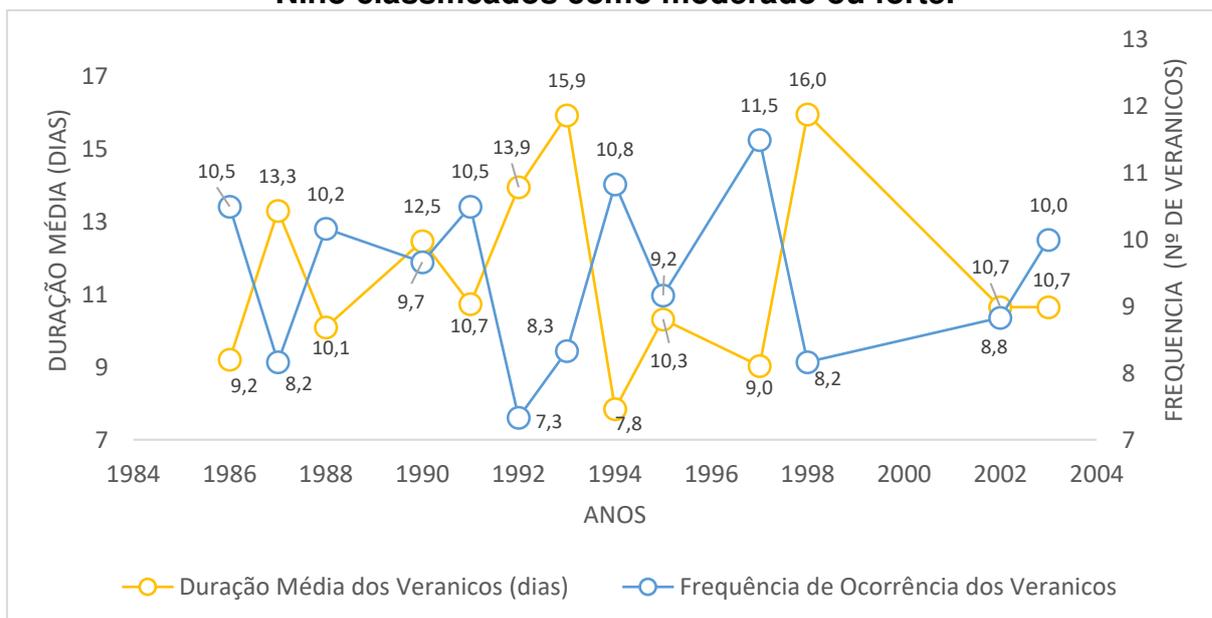
Figura 6 – Duração média anual dos veranicos, dentre o período de janeiro a maio em anos de El Niño classificado como moderado ou forte.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 7, pode-se observar que os comportamentos das variáveis em análise são inversamente proporcionais, uma vez que a quantidade média de veranicos é inversamente proporcional a duração média dos veranicos, ou seja, em anos de El Niño moderado ou forte haverá uma influência direta na região estudada, seja com veranicos prolongados ou alta frequência de veranicos curtos. No ano de 1997, ano em que fenômeno foi considerado forte, houve um média de duração dos veranicos relativamente baixa, porém a quantidade de veranicos neste ano foi o maior registrada nos eventos analisados neste estudo.

Figura 7 – Comportamento da variável “duração média x frequência média” dos veranicos da região, dentre o período de janeiro a maio em anos de El Niño classificados como moderado ou forte.



Fonte: Elaborada pelo autor.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A região semiárida brasileira apresenta uma baixa pluviosidade anual, além disso, a climatologia resultante deste trabalho apresentou que maior parte das estações (51,42%) têm estação chuvosa de apenas 5 meses, estas chuvas concentradas em um curto período do ano faz com que a região apresente uma alta vulnerabilidade hídrica.

Na maioria das estações analisadas observou-se correlação positiva com as anomalias de TSM da Bacia do Atlântico Sul com 99% de significância estatística, destas a maior correlação registrada foi a da cidade de Ubajara, Ceará. A temperatura da superfície da Bacia do Atlântico Sul explica aproximadamente 35% ($r=0,59$) de sua variabilidade interanual. No salto do consensual ou resumidamente se for configurado simultaneamente águas anormalmente quentes no Atlântico Tropical e águas anormalmente frias no Atlântico Tropical Norte (fase negativa de dipolo de TSM) a qualidade da estação chuvosa do semiárido do NEB é afetada positivamente. Se for observado o padrão contrário, a qualidade da estação é afetada negativamente.

Na maioria das estações analisadas observou-se correlação positiva com as anomalias de TSM da Bacia do Atlântico Sul com 99% de significância estatística, destas a maior correlação registrada foi a da cidade de Ubajara, Ceará. A mesma apresentou um valor em que a temperatura da superfície da Bacia do Atlântico Sul explica 34,99% ($r=0,59$) de sua variabilidade interanual. No salto do consensual ou resumidamente se for configurado simultaneamente águas anormalmente quentes no Atlântico Tropical e águas anormalmente frias no Atlântico Tropical Norte (fase negativa de dipolo de TSM) a qualidade da estação chuvosa do semiárido do NEB é afetada positivamente. Se for observado o padrão contrário, a qualidade da estação é afetada negativamente.

Os fenômenos considerados fortes de El Niño exercem atuação sobre a duração dos veranicos, uma vez que em anos de eventos moderados não foram notados longos veranicos. Os veranicos podem prejudicar diretamente o desenvolvimento de culturas. Uma técnica adequada a terrenos de pluviosidade diminuta e irregular é a agricultura de sequeiro, essa modalidade visa a escolha de espécies de cultivo que não necessite de irrigação constante, sendo capaz de suportar maior parte dos veranicos.

Recomenda-se para trabalhos futuros, investigar a atuação de eventos El Niño (La Niña) conjugados com a formação da fase positiva (negativa) do Padrão de Dipólo de TSM do Atlântico Tropical no ano seguinte. Ainda, realizar correlações defasadas e simultâneas dos três meses mais chuvosos dentro do período chuvoso. Assim, filtra-se o efeito local sobre a região.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANA - Agência Nacional de Aguas. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 27/02/2017.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. A Importância Relativa do Atlântico Sul e Pacífico Leste na Variabilidade de Precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**; v.22, n.1, 63-74, 2007.

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. **Multi-scale variability of sea surface temperature in the tropical Atlantic.** J. Geophys. Res., v.109, C05009, doi: 10.1029/2003JC002220, 2004.

ARAGÃO, J. O. R.. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bull. Inst. fr. études andines.** 27 (3): 839-844, 1998.

CUNHA, G. R. da et al. El Niño – Oscilação e seus impactos sobre a cultura de cevada no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Santa Maria.** Departamento de Fitotecnia, v. 9, n. 1, p. 137-145, 2001.

CUPOLILLO F.; ABREU, M. L.; VIANELLO R. L.. **Climatologia da bacia do rio Doce e sua relação com a topografia local.** Geografias 4(1): 45-60, 2008.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUZA, F. A. S. Relação Entre o Fenômeno El Niño e os Totais Mensais Precipitados na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 7, n. 4, 113-119, Dez, 2002.

HASTENRATH, S; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, 103(435):77-92, 1977.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiario.shtm?c=4>>. Acesso em: 20 de Fevereiro de 2017.

LUCENA, D. B.; GOMES FILHO, M; F.; SERVAIN, J. Avaliação do impacto de eventos climáticos extremos nos oceanos pacífico e atlântico sobre a estação chuvosa no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Meteorologia** [online]. vol.26, n.2, pp. 297-312. ISSN 0102-7786. 2011.

MARENGO, J. A., ALVES, L. M., BESERRA, E., LACERDA, F.. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, in: Medeiros, S. de S., Gheyj, H.R., Galvão, C. de O., Paz, V.P da S. (Orgs.). **Recursos Hídricos e Regiões Áridas e Semiáridas.** INSA, Campina Grande, pp. 383- 416, 2011.

MARENGO, J. A.; LIEBMAN, B.; WAINER, L.; KOUSKY, V. E. On the characteristics of onset and demise of the rainy season in Amazonia. **Journal of Climate**, Jun, 2000.

MECHOSO, C.R.; LYONS, S.W. e SPAHR, J.A. The impact of sea surface temperature anomalies on the rainfall over Northeast Brazil. **Journal of Climate.** Vol. 3, p. 812 – 826, 1990.

MMA - Ministério do Meio Ambiente.

Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm?semiarido>>. Acesso em: 15/01/2017.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model.. **J. Atmos. Sci.**, v.38, p.2653-2675, 1981.

NOBRE, P., e J. SHUKLA: Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **J. Climate**, in press, 1996.

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**. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE. 2004.

NOGUEIRA, V. F. B., **Expansão da soja no cerrado maranhense: uma análise da influência antrópica no clima regional**. 2015. 145 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

NOOA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.atl.indices>>. Acesso em: 10/05/2017.

PHILANDER, G. H., Gu, D. Secular Changes of Annual and Interannual Variability in the Tropics during de Past Century. **J. Climate**, v.8, p.864-876, 1995.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T.; COELHO, C. A. S. **Two episodes with reversed impacts on the regional precipitation of the northeastern South America**. Meteorologica, v.29, n. 1-2, p. 5-16, 2004.

TRENBERTH, KEVIN & National Cente for Atmospheric Research Staff (NCAR). **“The Climate Data Guide: Nino SST Indices (Nino 1+2, 3, 3.4, 4; ONI and TNI)”**. Disponível em: <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>>. Acesso em: 13 de agosto de 2017.

UVO, C. R. B.; REPELLI, C.; ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**, v.11, p. 551-562, 1998.

WALKER, G. T.. Ceará (Brazil) **Famines and General Air Movement**. **Beitr. Phys. Atmos.** Vol 14: 88-93, 1928.

XAVIER, T. de Ma. B. S.; XAVIER, A. F. S.; SILVA DIAS, P. L. da & SILVA DIAS, M. A. F. da. Interrelações entre Eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a Chuva nas Bacias Hidrográficas do Ceará. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol.8, n.2, Abr/Jun: 111-126, 2003.