



**Universidade Federal do  
Pará**



**Faculdade de Meteorologia**



**Instituto de Geociências**

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**JOSÉ FELIPE GAZEL MENEZES**

# **ÍNDICES CLIMÁTICOS GLOBAIS E SEUS IMPACTOS REGIONAIS NA PRECIPITAÇÃO DA AMAZÔNIA ORIENTAL NO INÍCIO DA ESTAÇÃO CHUVOSA.**

**Nº 400**

**BELÉM – PARÁ  
FEVEREIRO - 2017**

JOSÉ FELIPE GAZEL MENEZES

**ÍNDICES CLIMÁTICOS GLOBAIS E SEUS IMPACTOS  
REGIONAIS NA PRECIPITAÇÃO DA AMAZÔNIA ORIENTAL NO  
INÍCIO DA ESTAÇÃO CHUVOSA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará- UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel Pleno em Meteorologia.

Orientador (a): Prof. Dr. Bergson Cavalcanti de Moraes.

BELÉM

2017

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)  
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFGA

---

Menezes, José Felipe Gazel, 1994-

Índices climáticos globais e seus impactos regionais na precipitação da Amazônia Oriental no início da estação chuvosa / José Felipe Gazel Menezes. – 2017.

32 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Bergson Cavalcanti de Moraes

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, 2017.

1. Climatologia. 2. Indicadores ambientais - Amazônia Oriental. 3. Correlação (estatística). 4. Precipitação (Meteorologia) - Amazônia Oriental. I. Título.

---

CDD 22. ed.: 551.69811

JOSÉ FELIPE GAZEL MENEZES

**ÍNDICES CLIMÁTICOS GLOBAIS E SEUS IMPACTOS REGIONAIS NA  
PRECIPITAÇÃO DA AMAZÔNIA ORIENTAL NO INÍCIO DA ESTAÇÃO  
CHUVOSA.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de  
Meteorologia do Instituto de  
Geociências da Universidade Federal  
do Pará- UFPA, em cumprimento às  
exigências para obtenção do grau de  
Bacharel Pleno em Meteorologia.

Data de aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Conceito: \_\_\_\_\_

Banca Examinadora:

---

**Prof. Bergson Cavalcanti de Moraes – Orientador**  
Doutor em Ciências Agrárias  
Universidade Federal do Pará

---

**Prof. Hernani José Brazão Rodrigues – Membro**  
Doutor em Meteorologia Agrícola  
Universidade Federal do Pará

---

**Prof. José de Paulo Rocha da Costa- Membro**  
Doutor em Meteorologia Agrícola  
Universidade Federal do Pará

À minha querida e amada família,  
minha fonte de inspiração e o melhor  
exemplo de amor existente.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me concedido o dom do conhecimento, e ter me dado a perseverança, força e paz de espírito necessárias para superar os obstáculos.

Aos meus amados pais, Antônio e Samira, e aos meus irmãos Neto e João Paulo por se fazerem presentes em todos os momentos da minha graduação, seja nos mais alegres aos mais confusos e estressantes, me transmitindo calma, fé, determinação e amor, incentivando sempre os meus estudos e nunca desistindo de mim.

À minha filha, Catarina, que por um amor sem tamanho, me impulsionou para a conclusão de mais esta etapa em minha vida.

A minha noiva e companheira, Amanda Botelho, pela ajuda e abdicção de si própria, em prol do meu e do nosso futuro.

Aos meus sogros, Socorro e Roberto, pela disposição em ajudar na resolução de qualquer obstáculo.

Ao professor e orientador Bergson Cavalcanti de Moraes por todo o tempo dedicado a mim, e a este trabalho, de forma a contribuir de maneira importantíssima para o desenvolvimento deste, e aprendizado pessoal.

Aos demais professores do curso de Meteorologia da Universidade Federal do Pará, em especial à Aline Meiguins, Edson Rocha, Hernani Brazão, José de Paulo da Costa, João de Athaydes, Galdino Mota e Isabel Vitorino pelos conhecimentos transmitidos.

Aos amigos que fiz ao longo do curso, em especial à João Paulo Pedrosa, Felipe Higuchi, Leticia Cardoso, Eduardo Margalho, Lucas Monteiro, Elthon Abreu, Layrson Gonçalves, Thallis Rocha e Alfredo Quaresma por sua sincera amizade e apoio nas dificuldades que encontramos no decorrer dessa jornada.

Às minhas Avós Dulcineia e Raimunda pela paz e tranquilidade que sempre me foram transmitidas.

Aos meus amigos de longa data pelo apoio de sempre, Bruno Dias, Sabrinni Carneiro e Murilo.

## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo descrever a influência dos índices atmosféricos e oceânicos sobre a região da Amazônia Oriental, nos meses que representam o início do período chuvoso da Amazônia, dezembro, janeiro e fevereiro. Foi obtido dados dos índices atmosféricos e oceânicos, assim como suas respectivas séries temporais da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), foi estudado os índices de Temperatura Média Global, SOI (Índice de oscilação Sul), MEI (Índice Multivariado ENOS), NOI (Índice Oscilação Norte), TNA (índice Tropical Atlântico Norte), TSA (índice Tropical Atlântico Sul), PWP (Piscina quente do Pacífico), NINO (El Niño), NAO (Oscilação do Atlântico Norte), PNA (Pacífico Norte Americano) e WPI (Índice do Pacífico Ocidental), plotado suas respectivas localizações com o auxílio do software Grads, e feito uma correlação estatística de Pearson Bicaudal, permitindo assim analisar os impactos de cada índice sobre o regime de chuvas na Amazônia Oriental, sobre a ótica de que diferentes índices possuem diferentes efeitos sobre a Amazônia, podendo contribuir ou prejudicar o regime de chuvas da região. Dentre os principais resultados, destaca-se a importância do constante monitoramento dos índices estudados, pois, os efeitos causados têm grande impacto social, ambiental e econômico, devido ao baixo grau de infraestrutura que a população sobretudo ribeirinha da Amazônia possui.

Palavras-chaves: Índices. Pearson. Amazônia Oriental.

## **ABSTRACT**

This work aimed to describe the influence of the atmospheric and oceanic indexes on a region of the Eastern Amazon, in the months that represent the beginning of the rainy period of the Amazon, December, January and February. Atmospheric and oceanic index data were obtained from NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), as well as time series, were studied in the Global Average temperature, SOI (Southern Oscillation Index), MEI (Multivariate ENSO Index), NOI (Northern Oscillation Index), TNA (Tropical Northern Atlantic Index), TSA (Tropical Southern Atlantic Index), PWP (Pacific Western warm pool), NINO (ENOS), NAO (North Atlantic Oscillation), PNA (Pacific North American Index) and WPI (Western Pacific Index) indexes, plotted their respective locations with the aid of the Grads software and a statistical correlation of Pearson Twofold, thus allowing to analyze the impacts of each index on the regime of rains in the Eastern Amazon, on an optic that different indexes have different impacts on an Amazon, being able to Contribute or to prejudice the regime of the region's rainfall, among the main results, to highlight the constant monitoring of the indexes studied, since the effects caused by large social, environmental and economic impacts, due to the low degree of infrastructure that a population Amazon has.

Keywords: Indexes. Pearson. Eastern Amazon.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização espacial dos índices climáticos no Oceano Atlântico. ...	21
Figura 2- Localização espacial dos índices climáticos no Oceano Pacífico. ....	21
Figura 3- Equação Pearson Bicaudal.....	22
Figura 4-Relação da temperatura global com a chuva na Amazônia Oriental .	24
Figura 5- Índice MEI.....	25
Figura 6- Índice NAO.....	25
Figura 7- NIÑO 1+2.....	26
Figura 8-NIÑO 3.....	26
Figura 9- NIÑO 3+4.....	27
Figura 10- NIÑO 4.....	27
Figura 11-Relação do NOI (índice de oscilação norte).....	28
Figura 12- Índice PNA.....	28
Figura 13- Índice PWP.....	29
Figura 14- Índice IOS.....	29
Figura 15- Índice TNA de Enfield (1999).....	30
Figura 16- Índice TSA de Enfield em 1999.....	30
Figura 17- Relação do WPI e o regime de chuvas na Amazônia Oriental.....	31

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

SOI (Southern Oscillation Index)

MEI (Multivariate ENSO Index)

NOI (Northern Oscillation Index)

TNA (Tropical Northern Atlantic Index)

TSA (Tropical Southern Atlantic Index)

PWP (Pacific Western warm pool)

NINO (ENOS)

NAO (North Atlantic Oscillation)

PNA (Pacific North American Index)

WPI (Western Pacific Index)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivo específico .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Revisão de literatura .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Zona de convergência Intertropical (ZCIT) .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Alta da Bolívia (AB).....</b>	<b>15</b>
<b>2.4</b>	<b>Ventos Alísios.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Índices atmosféricos .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>SOI (Índice de Oscilação Sul) .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>NOI (Índice de Oscilação do Norte) .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4</b>	<b>TNA (Índice Tropical Atlântico Norte) .....</b>	<b>18</b>
<b>3.5</b>	<b>TSA (Índice Tropical Atlântico Sul) .....</b>	<b>19</b>
<b>3.6</b>	<b>PWP (Piscina quente do Pacífico).....</b>	<b>19</b>
<b>3.7</b>	<b>MEI (Índice Multivariado do El Niño Oscilação Sul) .....</b>	<b>19</b>
<b>3.8</b>	<b>NINO (ENOS) .....</b>	<b>19</b>
<b>3.9</b>	<b>NAO (A Oscilação do Atlântico Norte) .....</b>	<b>19</b>
<b>3.10</b>	<b>PNA (Índice Pacífico Norte-Americano) .....</b>	<b>19</b>
<b>3.11</b>	<b>WPI (Índice do Pacífico Ocidental).....</b>	<b>20</b>
<b>3.12</b>	<b>Área de estudo e localização dos índices atmosféricos e oceânicos.....</b>	<b>20</b>
<b>3.13</b>	<b>Estatística .....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Início da estação chuvosa .....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

O monitoramento dos oceanos e dos índices climáticos é vital para uma melhor compreensão do clima, devido ao tamanho dos oceanos e da sua interação com a atmosfera, como descrito por Limeira (2012), que define a interação entre a atmosfera e os oceanos como fator determinante para a variabilidade da precipitação e da temperatura de uma região. Sob esta ótica, uma alteração no regime de precipitação de uma área específica, pode significar uma mudança no perfil do clima local, fato que pode ser prejudicial a todo o ecossistema da região e ao próprio homem, por isso, o monitoramento dos índices atmosféricos é importante, pois desde que se sugeriu que o surgimento de episódios quentes no Oceano Pacífico podem ser induzidos por anomalias positivas nos ventos sobre o lado oeste da bacia (e.g., BARNETT, 1977; GILL; RASMUSSEN, 1983), tem sido visto como essencial para a prevenção de danos maiores com períodos prolongados de seca e cheias, visando amenizar possíveis perdas não só econômicas, mas também sociais, envolvendo vidas humanas e a saúde da população. Os oceanos são imensas fontes de calor latente e umidade para os continentes, como descrito por Garzoli e Matano (2011), onde descrevem os processos de circulação tridimensional e de modificação de massas de água que fazem o Oceano Atlântico Sul o único oceano do mundo a realizar um transporte líquido meridional de calor em direção ao Equador a partir do Polo Sul, reforçando assim a importância do monitoramento dos índices climáticos e oceânicos, e sua influência sobre a Amazônia Oriental no início do trimestre chuvoso, dezembro, janeiro e fevereiro.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.2 Objetivo geral**

Avaliar a relação entre os índices climáticos globais (atmosféricos e oceânicos) e a variabilidade de precipitação sazonal na Amazônia Oriental.

### **1.3 Objetivo específico**

Caracterizar a relação entre a precipitação e os índices climáticos durante o início da estação chuvosa na região, compreendidos entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

## **2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.1 Revisão de literatura**

Os índices atmosféricos e oceânicos, são importantíssimos na previsão de clima. Como os modelos de clima ainda estão num estágio de desenvolvimento insatisfatório, a ideia que muito foi utilizada nos últimos anos foi a de se utilizar a previsão por similaridade, que é uma técnica estatístico-observacional de previsão que avalia o estado atual do clima global e faz uso de dados históricos, índices climáticos e suas frequências, na tentativa de prever como a atmosfera e os oceanos vão se comportar. É de extrema importância no entanto, conhecer para a área que se quer prever um aumento ou redução no regime pluviométrico os sistemas de grande escala que atuam sobre a região, no caso da Amazônia Oriental. Podemos destacar a Zona de Convergência Intertropical, a Alta da Bolívia, as Linhas de Instabilidade e os ventos Alísios, que podem ajudar ou prejudicar na chuva da Amazônia Oriental, além dos sistemas de menor escala, que mesmo não sofrendo influência tão significativa como os de grande escala, também variam de intensidade e ocorrência conforme os índices atmosféricos e oceânicos.

### **2.2 Zona de convergência Intertropical (ZCIT)**

É caracterizada pela confluência dos ventos de nordeste e sudeste originados dos anticiclones subtropicais do Atlântico Norte e do Atlântico Sul, é uma região de baixa pressão atmosférica, apresenta convecção profunda e intensa nebulosidade, associada com altos índices pluviométricos. Essa banda de convergência dos Ventos Alísios e fluxo de umidade se estende pela bacia oceânica inteira, com uma orientação, na sua maior parte, de sudoeste para nordeste, definindo a ZCIT (HASTENRATH, 1985), havendo interação de diferentes sistemas tais como: a Zona de Confluência dos Ventos Alísios do Hemisfério Norte e do Hemisfério Sul, zona do cavado equatorial, zona de máxima TSM e a zona de máxima convergência e cobertura de nuvens convectivas (UVO, 1989). Os sistemas que interagem para produzir a ZCIT

também possuem um deslocamento ao longo do ciclo anual, devido ao movimento do sol entre o hemisfério sul e norte. Deste modo, diferentes variáveis físicas são utilizadas com o objetivo de se estudar da localização da ZCIT, como a cobertura de nuvens, componente meridional do vento nos baixos níveis, pressão ao nível médio do mar. Em seu deslocamento entre os trópicos, a ZCIT alcança sua posição mais ao norte, aproximadamente 15° N, durante o verão boreal, e a sua posição mais ao sul, aproximadamente 5° S, durante o mês de abril, logo após o verão austral (CITEAU et al., 1988; HASTENRATH, 1985; HASTENRATH; HELLER, 1977; HASTENRATH; LAMB, 1977). Seu posicionamento está associado à nebulosidade e a estação chuvosa na Região Norte do Brasil. Sobre o continente, a ZCIT migra com a latitude em função da estação do ano à medida que aumenta o aquecimento solar sobre a superfície (FISCH et al., 1999) observadas da ZCIT, destacam-se as seguintes: é um cinturão de nebulosidade que se estende na faixa tropical do planeta, com movimento para norte e para o sul entre os trópicos, onde há a presença de fracos gradientes de pressão, predominância de ventos fracos e TSM elevada, apresenta cúmulos, cumulonimbus e altas camadas de cirros. O padrão de nebulosidade da ZCIT sobre o continente, não é tão bem definido como é sobre os oceanos. É responsável por chuvas intensas sobre regiões tropicais como Brasil, África e Indonésia.

### **2.3 Alta da Bolívia (AB)**

A Alta da Bolívia é um sistema com movimento anticiclônico que se forma em altos níveis, recebe esse nome devido a sua posição geográfica se localizar geralmente sobre a Bolívia, ocorre geralmente na primavera, atingindo sua intensidade máxima durante o verão austral a partir da intensificação de um ciclone térmico à superfície, conhecido como Baixa do Chaco, derivado do intenso aquecimento superficial da região do planalto, centrado sobre a Bolívia, norte do Chile e Peru. Surge, em média, em outubro e persiste até abril, sendo janeiro o período mais ativo. A localização geográfica da Alta da Bolívia apresenta variação intra-sazonal e interanual aparecendo em outubro sobre o oeste da Amazônia, posicionando-se sobre a Bolívia no verão e deslocando-se

em abril para a Amazônia oriental. Esse ciclo associa-se ao deslocamento latitudinal do Sol em relação à Terra. Kreuels et al. (1975) descreve a AB como, uma baixa de centro quente, inferior a 150 mb. As altas temperaturas se estendem da superfície e aumentam até cerca de 300 mb. Muitos estudos observacionais têm mostrado uma relação entre a variação sazonal da precipitação da América do Sul e intensidade e posicionamento da Alta da Bolívia, e que há uma ligação dinâmica entre esse sistema e o cavado do Nordeste do Brasil (HOREL et al., 1989; KREUELS et al., 1975) que apresenta características diferentes, onde o centro é frio e o topo é quente. Análises de Modelos de Circulação Geral, feita por Lenters e Cook (1997), indicaram que a Alta da Bolívia e VCAN sobre o Nordeste são gerados em resposta à precipitação sobre a Bacia Amazônica, Andes Central e devido à ZCAS. A intensa atividade convectiva e a conseqüente liberação de calor latente fornecem a energia necessária para manter a circulação anticiclônica em altos níveis.

## **2.4 Ventos Alísios**

Os Ventos Alísios são originados a partir das altas subtropicais nos dois hemisférios, fluem para oeste em direção ao equador e conflui na zona do cavado equatorial, formando assim, na escala global, o ramo baixo da Circulação de Hadley. Ocupam grande parte da região equatorial ao longo do globo, funcionando como acumuladores e exportadores de calor sensível e latente proveniente da superfície oceânica e exportado para regiões extratropicais. Os Ventos Alísios têm uma velocidade característica de aproximadamente 6 m/s, desse modo, a massa de ar adjacente à superfície permite que ela permaneça na camada limite, atravessando uma distância excedente a 5000 Km, entre a região fonte e a região equatorial, em aproximadamente cinco dias (WELLS, 1998). Constantemente, esse sistema de Ventos Alísios sofre perturbações ocasionadas principalmente pela passagem de sistemas frontais tanto do Hemisfério Norte como do Hemisfério Sul, gerando distúrbios adulatórios.

A passagem de sistemas frontais do Hemisfério Norte em latitudes equatoriais, sobre o Atlântico Norte ou sobre o Continente Africano, principalmente em anos de La Niña, no período de novembro-abril, e a penetração de sistemas frontais do Hemisfério Sul em latitudes equatoriais sobre o Atlântico Sul, no período de maio-agosto, são os principais mecanismos causadores dos distúrbios nos Alísios. Quando essas perturbações entram em fase com a brisa marítima, elas chegam a penetrar 300 km para o interior do continente. Se confluírem com a brisa terrestre, podem se intensificar sobre a costa e causar tempestades, com totais pluviométricos superiores a 50 mm/dia e rajadas de vento superiores a 50 km/h (MOLION; BERNARDO, 2002).

### **3 METODOLOGIA**

Base de dados de precipitação utilizada foi do CPC (Climate Prediction Center). O conjunto de dados mensal (1948 -2016) de precipitação consiste de dois arquivos contendo os valores médios de taxa de precipitação mensal (CPC Merged Analysis of Precipitation), com resolução espacial de 0,5 lat/lon (144x73).

Os dados obtidos do CPC, foram tratados através de um software estatístico, aplicando a correlação de Pearson, em seguida, foram plotados através do software Grads 2.0.2.

#### **3.1 Índices atmosféricos**

##### **3.2 SOI (Índice de Oscilação Sul)**

É caracterizado como um índice atmosférico, obtido pela flutuação inversa verificada no campo da pressão ao nível médio do mar nas estações de Darwin (12.4S - 130.9E) localizada no norte da Austrália e Tahiti (17.5S - 149.6W) situada no Oceano Pacífico Sul.

##### **3.3 NOI (Índice de Oscilação do Norte)**

É um índice de variabilidade climática com base na diferença de anomalias (SLP) no Pacífico Extremo Norte e perto de Darwin na Austrália (SCHWING et al., 2002).

##### **3.4 TNA (índice Tropical Atlântico Norte)**

É um índice atmosférico obtido através do monitoramento da anomalia média da SST mensal de 5.5N para 23.5N e 15W para 57.5W. (ENFIELD et al., 1999).

### **3.5 TSA (Índice Tropical Atlântico Sul)**

É caracterizado como a anomalia da média da SST mensal de 0-20S e 10E-30W. (ENFIELD et al., 1999).

### **3.6 PWP (Piscina quente do Pacífico)**

É caracterizado como a anomalia da média da TSM mensal do Oceano Pacífico na região de 60 este a 170 este, e 15 Sul a 15 Norte.

### **3.7 MEI (Índice Multivariado do El Niño Oscilação Sul)**

É um índice numérico que integra a ação de diferentes fatores que caracterizam o fenômeno e que oscila entre valores positivos para a fase quente, o El Niño, e negativo para a fase fria, a La Niña, e que considera, na sua composição, as seguintes variáveis: pressão ao nível do mar, os componentes zonal e meridional do vento em superfície, a temperatura da superfície do mar, a temperatura do ar em superfície e um indicador de nebulosidade (AIELLO & LAY, 2001).

### **3.8 NINO (ENOS)**

O Fenômeno de El Niño causa um aumento dos fluxos de calor sensível e de vapor d'água da superfície do Oceano Pacífico Equatorial para a atmosfera, sobre as águas quentes, provoca mudanças na circulação atmosférica e na precipitação em escala regional e global, deste modo, provocam mudanças nas condições meteorológicas e climáticas em várias partes do mundo, sobre a Amazônia, causa uma diminuição no regime pluviométrico.

### **3.9 NAO (A Oscilação do Atlântico Norte)**

É um fenômeno meteorológico que ocorre no Oceano Atlântico Norte, causa flutuações na diferença da pressão atmosférica ao nível do mar entre a Islândia e os Açores. Através dessas flutuações, controla a força e a direção dos ventos de oeste e das faixas de tempestades no Atlântico Norte. É parte da oscilação ártica, e varia ao longo do tempo sem nenhum período particular.

### **3.10 PNA (Índice Pacífico Norte-Americano)**

É um padrão de teleconexão que representa um dos índices que mais se destaca no monitoramento nos extratropicais do Hemisfério Norte. A fase

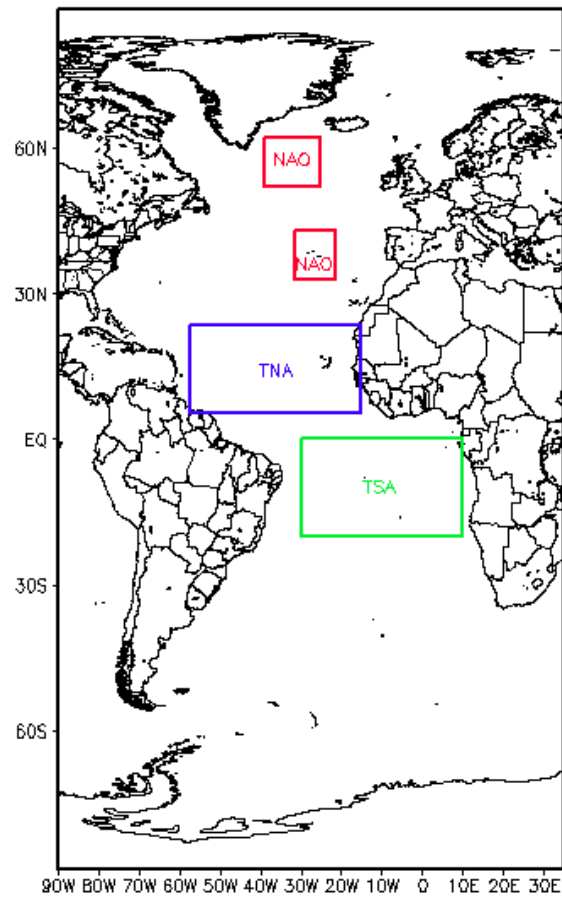
positiva do padrão PNA apresenta alturas acima da média na vizinhança do Havaí e sobre a região montanhosa da América do Norte e alturas abaixo da média localizadas ao sul das Ilhas Aleutas e sobre os Estados Unidos do Sudeste. O padrão PNA está associado a fortes flutuações na força e localização do jato Ásia Oriental. A fase positiva está associada a um jato do leste asiático melhorado e a uma mudança para o leste na região de saída do jato em direção ao oeste dos Estados Unidos. A fase negativa está associada a uma retração para oeste da corrente de jato para leste da Ásia, bloqueando a atividade nas altas latitudes do Pacífico Norte e uma forte configuração de fluxo dividido sobre o Pacífico Norte central.

### **3.11 WPI (Índice do Pacífico Ocidental)**

O padrão WPI é um modulador de baixa frequência sobre o Pacífico Norte em todos os meses, foi previamente descrito por Barnston e Livezey (1987) e Gutzler e Wallace (1981). Durante o inverno e a primavera, o padrão consiste em um dipolo norte-sul de anomalias, com um centro localizado sobre a península de Kamchatka e outro centro que cobre as porções de Ásia do sudeste e o Pacífico norte subtropical ocidental. Portanto, as fases fortemente positivas ou negativas deste padrão refletem variações zonais e meridionais acentuadas na localização e intensidade da região de entrada do vapor de jato do Pacífico. A fase positiva do padrão WPI está associada a temperaturas acima da média nas latitudes mais baixas do Pacífico Norte ocidental, tanto no inverno como na primavera, e com temperaturas abaixo da média na Sibéria Oriental em todas as estações. Também está associada à precipitação acima da média em todas as estações sobre as altas latitudes do Pacífico Norte e à precipitação abaixo da média em todo o Pacífico central, especialmente durante o inverno e a primavera.

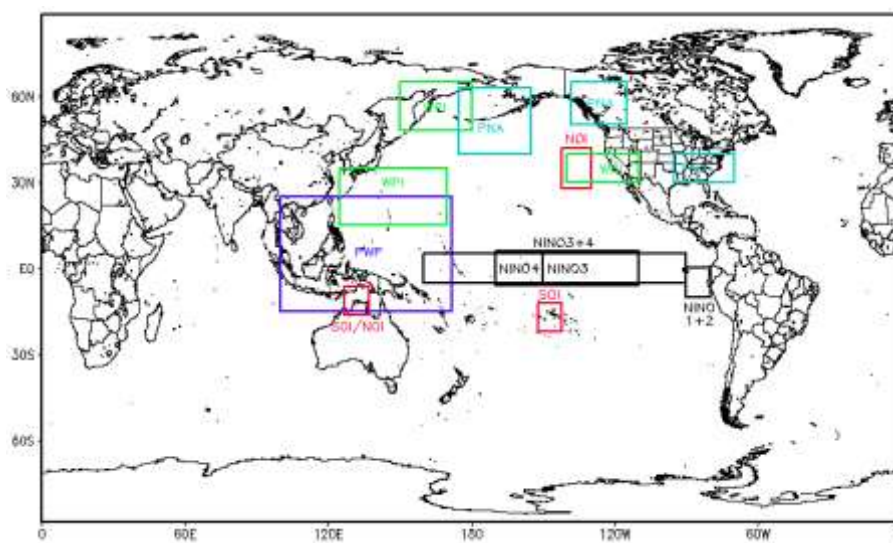
### **3.12 Área de estudo e localização dos índices atmosféricos e oceânicos.**

Figura 1- Localização espacial dos índices climáticos no Oceano Atlântico.



Fonte: NOAA (2017)

Figura 2- Localização espacial dos índices climáticos no Oceano Pacífico.



Fonte: NOAA (2017).

### 3.13 Estatística

Foi utilizada a correlação de Pearson bicaudal no software PSPP-GNU for Linux, com significância de 99%. A correlação de Pearson é uma medida de associação linear entre variáveis. Garson (2009) afirma que correlação “é uma medida de associação bivariada (força) do grau de relacionamento entre duas variáveis”. A correlação mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas (MOORE, 2007). A correlação avalia, qual o grau de relacionamento entre 2 variáveis, sendo -1 indicativo de diminuição, 0 nenhuma relação e 1 um aumento na relação, na prática, dificilmente se encontra valores como 0 e 1, no entanto, há diversos pesquisadores que classificam a correlação de Pearson, como exemplo.

Equação Pearson Bicaudal

$$\rho_{x,y} = \frac{COV(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Onde, COV representa a covariância; X,Y as variáveis em questão;  $\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$  o desvio padrão da variável. Cohen (1988) fez uma classificação hierárquica de acordo com o nível dos scores calculados na correlação linear de Pearson, e os classificou como pequenos, médios e grandes. Porém, anos mais tarde, Dancey e Reidy (2005) apontaram para uma classificação mais ampla, onde:  $r = 0,10$  até  $0,30$  (fraco);  $r = 0,40$  até  $0,60$  (moderado);  $r = 0,70$  até  $1$  (forte)

Um dos métodos mais empregados para avaliações de diferentes estatísticas entre amostras de dados é o teste T-Student. Este teste é normalmente utilizado para verificar se as médias aritméticas de distintas amostras podem ser consideradas diferentes a um dado nível de significância pré-estabelecido  $\alpha$  (BUSSAB; MORETTIN, 2006), esta estatística emprega-se pela equação:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{(n_1 + n_2) - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Onde:  $\bar{X}$  corresponde à média de cada série;  $n$  o número de observações;  $S^2$  a variância e  $(n_1+n_2)-2$  o grau de liberdade. O nível de significância estabelecido para este estudo foi de 99% corresponde à média de cada série.

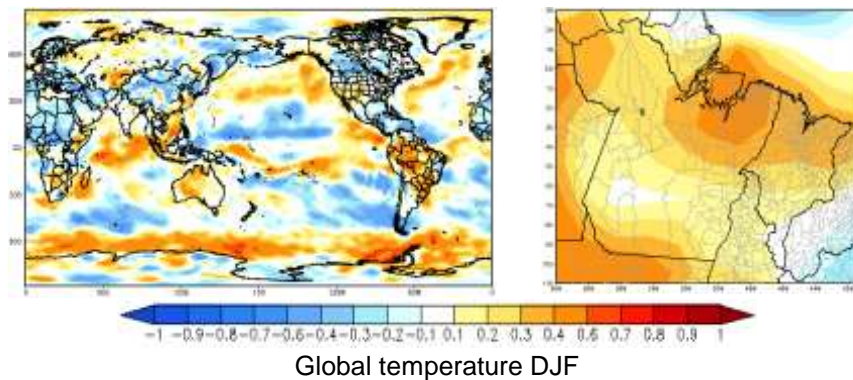
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Após tratamento dos dados, foi gerado imagens, onde é possível analisar a correlação de Pearson com o regime pluviométrico na Amazônia Oriental, podendo a correlação mostrar um aumento ou diminuição do regime de chuva para o início da estação chuvosa.

### 4.1 Início da estação chuvosa

Na relação da temperatura global com a chuva na Amazônia Oriental, observamos que com o aumento da temperatura global para o início do período chuvoso (Dezembro-Fevereiro), a área da Amazônia localizada sobretudo no nordeste do estado do Pará, apresenta uma correlação de valores próximos de 0.7, indicando um considerável aumento na precipitação sobre a ilha do Marajó, e todo o nordeste do estado, se estendendo com valores menores, de 0.6 para a região norte do estado do Maranhão (Figura 4).

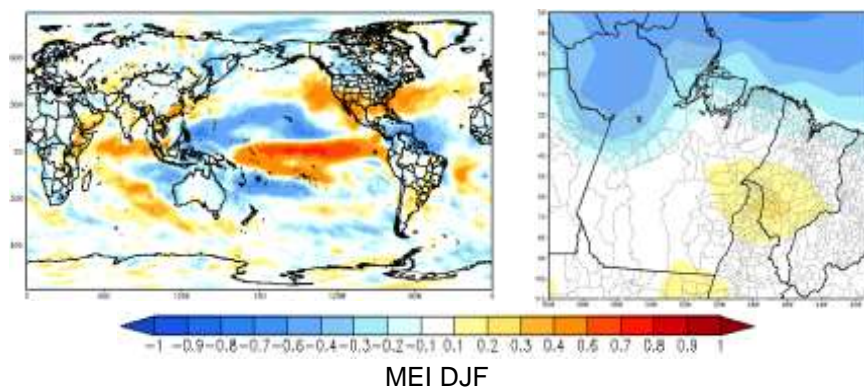
Figura 3-Relação da temperatura global com a chuva na Amazônia Oriental



Fonte: Menezes (2017).

Na relação entre o índice MEI que leva em consideração vários parâmetros de monitoramento do ENOS, e o aumento da precipitação na Amazônia Oriental, é observado que para a região do Baixo Amazonas, há uma significativa diminuição do regime pluviométrico, atingindo valores de -0.7, no entanto, ainda na Amazônia Legal, há áreas nos limites dos estados do Maranhão e Tocantins que tem um aumento de 0.4 (Figura 5).

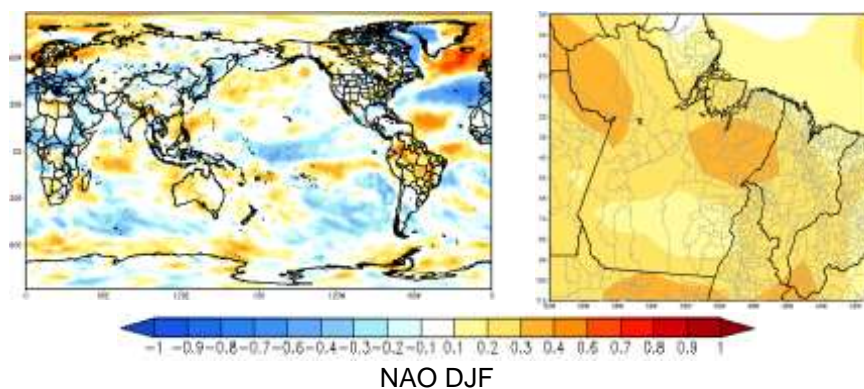
Figura 4- Índice MEI.



Fonte: Menezes (2017).

A Figura 6, mostra a relação o índice NAO, que relaciona a pressão ao nível médio do mar entre a Islândia e Açores, indica um aumento da precipitação para o começo da estação chuvosa em toda a Amazônia Oriental, sendo as áreas mais afetadas o Baixo Amazonas e Leste do estado do Pará.

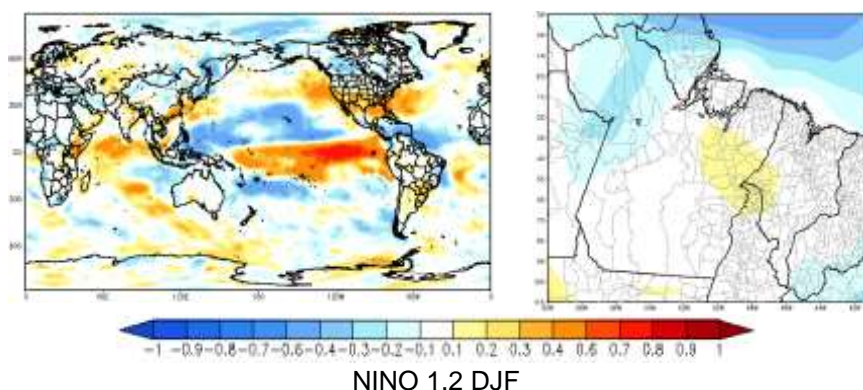
Figura 5- Índice NAO



Fonte: Menezes (2017).

Na área de monitoramento do ENOS 1+2, esta área fica localizada próximo da costa do Peru, logo abaixo da linha do equador, seu monitoramento é muito importante em anos de ENOS, e mostra para a Amazônia Oriental, um leve aumento no regime de chuvas para o Noroeste do estado do Pará, e uma redução também leve do regime de chuvas para o Leste do estado do Pará, os valores gerados atingem entre -0.3 para a redução de chuvas e 0.3 para o aumento de chuvas (Figura 7).

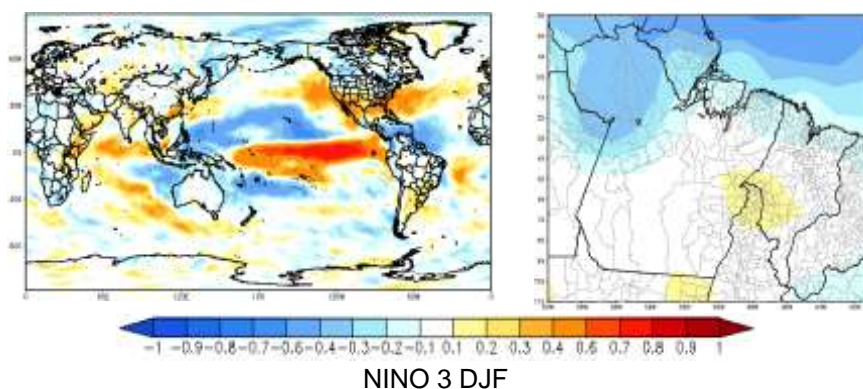
Figura 6- NIÑO 1+2.



Fonte: Menezes (2017).

A Figura 8, mostra a relação da área de monitoramento do ENOS no centro do Oceano Pacífico, conhecido como nino 3, mostra a relação dessa área do pacífico com o regime pluviométrico na Amazônia Oriental, indicando que para a região Noroeste do estado do Pará, ocorre uma diminuição do regime de chuvas, enquanto que para o Leste do estado, fronteira com o estado do Maranhão, mostra um aumento no regime de chuvas, embora não tão intenso quanto a redução no Baixo Amazonas.

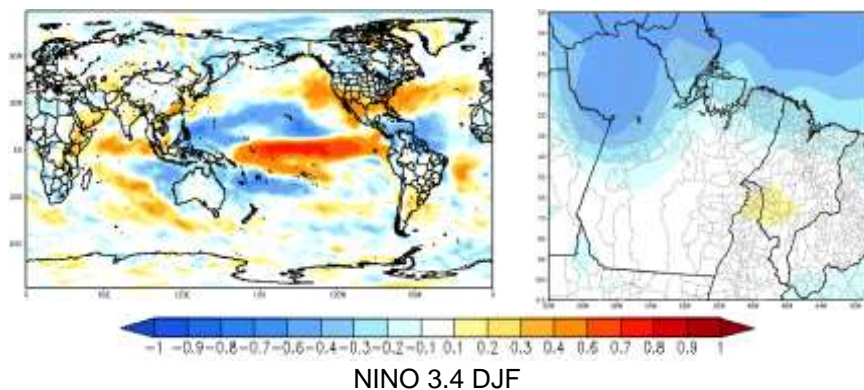
Figura 7-NIÑO 3.



Fonte: Menezes (2017).

Na região de monitoramento do fenômeno ENOS na região central do Oceano Pacífico Equatorial, a região conhecida como Niño 3+4, corresponde a uma interseção entre as áreas Niño 3 e Niño 4, também localizadas no Pacífico Central, a relação obtida entre a região de Niño 3+4 é que ocorre um aumento significativo na região Noroeste do Estado do Pará, indicado por valores de aproximadamente -0.7 para o início da região chuvosa no Baixo Amazonas (Figura 9).

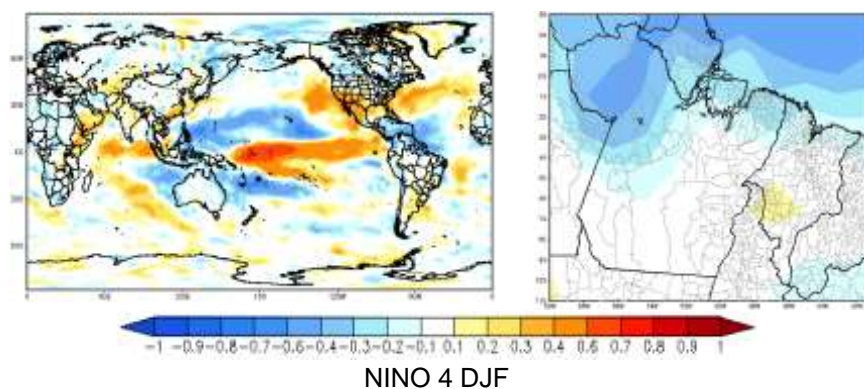
Figura 8- NIÑO 3+4.



Fonte: Menezes (2017).

A relação entre a área de monitoramento do fenômeno ENOS no Pacífico Central, e o regime de chuvas na Amazônia Oriental, é observado que em uma faixa do Noroeste do estado do Pará, ocorre uma diminuição do regime de chuvas, enquanto que no limite da Amazônia legal, na região central do estado do Maranhão, há um leve aumento, com valor de aproximadamente 0.3 (Figura 10).

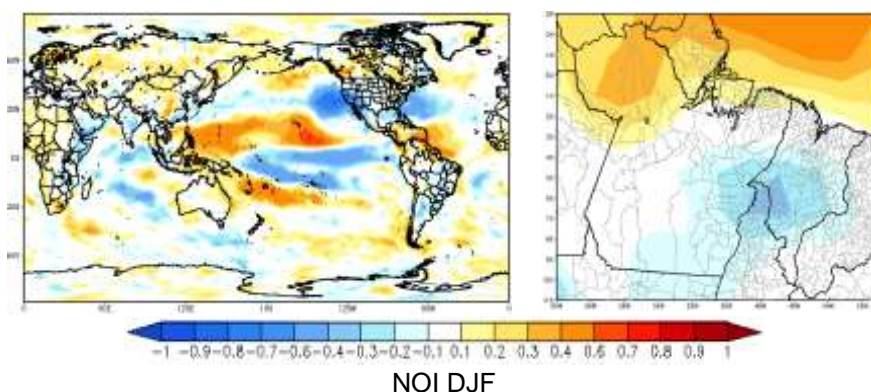
Figura 9- NIÑO 4.



Fonte: Menezes (2017).

A Figura 11 mostra a relação que o NOI (índice de oscilação norte) indica para a Amazônia Oriental, o NOI utiliza a diferença de pressão atmosférica ao nível médio do mar em Darwin (Austrália) e no extremo norte do oceano pacífico, indica para a região do Noroeste do estado do Pará, um significativo aumento da precipitação, enquanto que para o Sudeste da Amazônia Oriental, indica uma leve redução do regime de chuvas, no limite entre os estados do Pará, Maranhão e Tocantins.

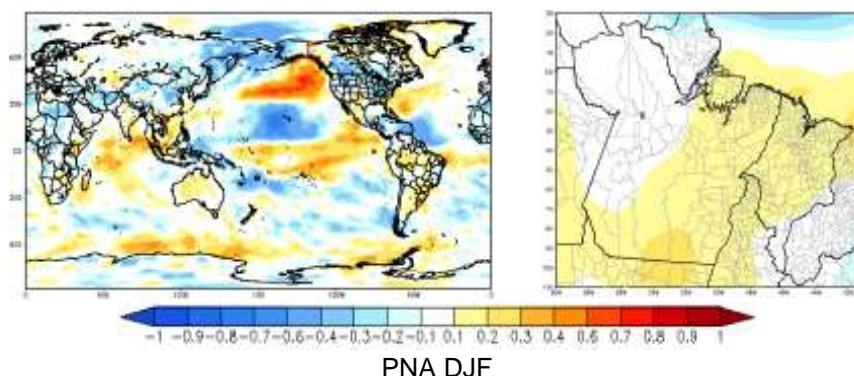
Figura 10-Relação do NOI (índice de oscilação norte).



Fonte: Menezes (2017).

O Índice PNA varia conforme a posição dos anticiclones extratropicais, mostra um aumento no regime de chuvas em quase toda a Amazônia Oriental, desde o Centro-sul ao Nordeste do estado do Pará, a área do estado do Maranhão onde está localizado o limite da Amazônia legal, e o oeste do estado do Tocantins (Figura 12).

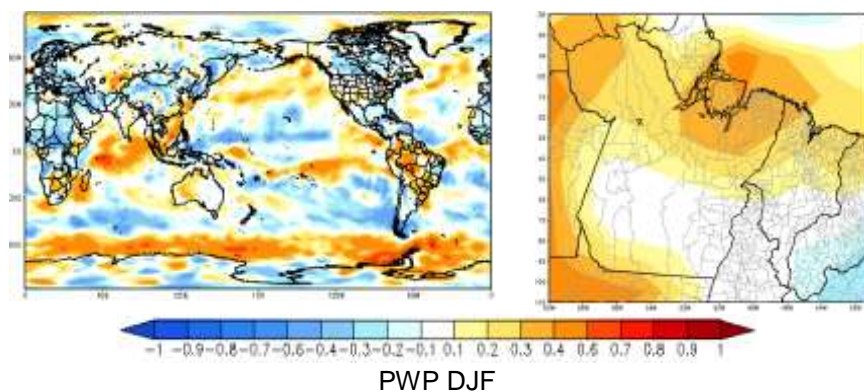
Figura 11- Índice PNA.



Fonte: Menezes (2017).

Na relação do índice PWP com o regime pluviométrico da Amazônia Oriental, mostra um aumento intenso no regime de chuvas sobre o estado do Pará, sobretudo sobre a região Nordeste do estado, onde os valores da correlação de Pearson, atingem valores de 0.8 (Figura 13).

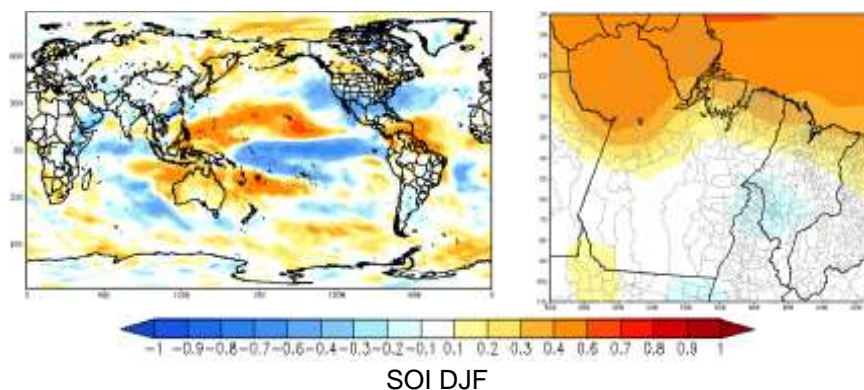
Figura 12- Índice PWP.



Fonte: Menezes (2017).

Na relação do índice IOS, com o regime da precipitação na Amazônia Oriental, observa-se que é estimado um aumento de ordem 0.8 na correlação de Pearson, para o Noroeste do Estado do Pará, região conhecida como Baixo Amazonas, e uma leve redução nos limites dos estados do Pará, Maranhão e Tocantins (Figura 14).

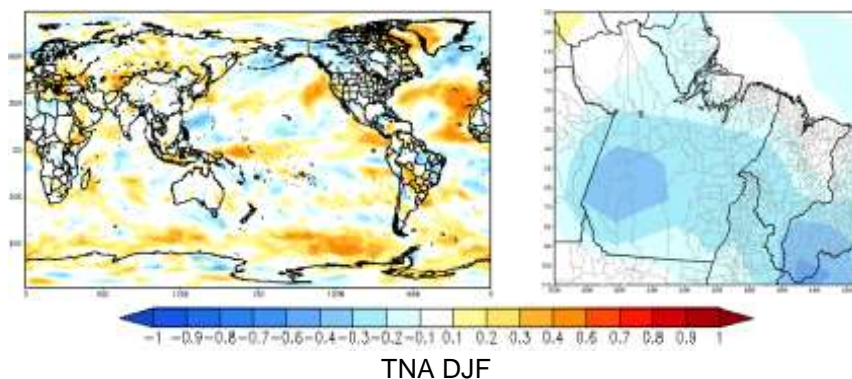
Figura 13- Índice IOS.



Fonte: Menezes (2017).

A Figura 15, mostra a relação entre o índice TNA proposto por Enfield em 1999 e o regime de chuvas na Amazônia Oriental, onde é possível observar que é estimado uma grande redução no regime pluviométrico, sobretudo sobre o Sudoeste do estado do Pará e sobre o sul do Maranhão, atingindo valores de 0.6 na correlação de Pearson.

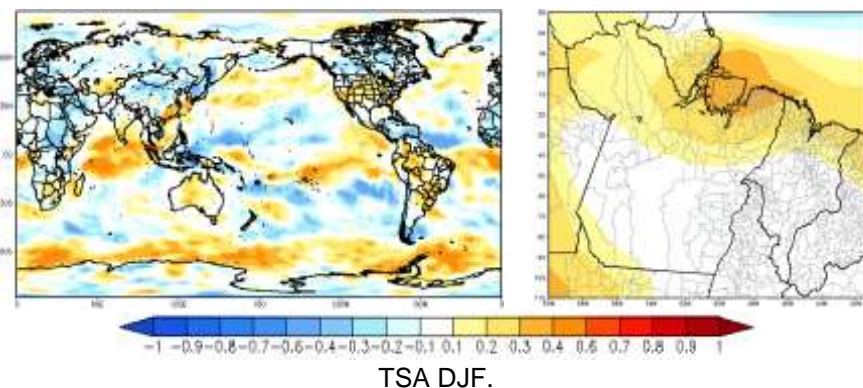
Figura 14- Índice TNA de Enfield (1999).



Fonte: Menezes (2017).

Na relação entre o índice TSA, proposto por Enfield em 1999 e o regime de chuvas na Amazônia Oriental, onde observamos um aumento significativo no regime pluviométrico sobretudo sobre a região da Ilha do Marajó com valores de 0.6 na correlação de Pearson, também é observado um aumento ao longo de toda a costa deste o Maranhão até o Amapá, se estendendo para o Baixo Amazonas com valores menores de cerca de 0.3 (Figura 16).

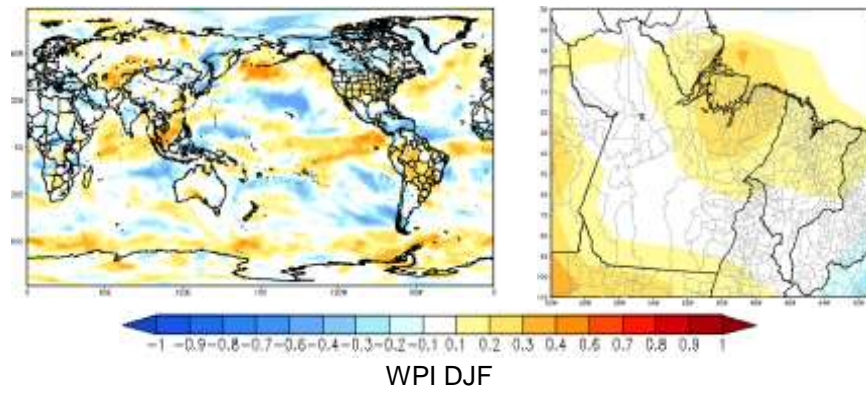
Figura 15- Índice TSA de Enfield em 1999.



Fonte: Menezes (2017).

A Figura 17 relaciona o WPI e o regime de chuvas na Amazônia Oriental, mostrando um aumento do regime pluviométrico sobre o Nordeste do estado do Pará se estendendo para a ilha do Marajó e Sul do Amapá, e Norte do Maranhão, com valores para a correlação de Pearson de aproximadamente 0.4.

Figura 16- Relação do WPI e o regime de chuvas na Amazônia Oriental.



Fonte: Menezes (2017).

## 5 CONCLUSÃO

Observou-se que os índices atmosféricos e oceânicos analisados nesse trabalho, tem grande influência sobre a região da Amazônia Oriental durante o início do período chuvoso, dezembro, janeiro e fevereiro, podendo contribuir para um regime pluviométrico de maior qualidade ou de menor qualidade, a correlação de Pearson se mostrou satisfatória, com seus efeitos estimados correspondendo ao que é observado em eventos onde os índices estudados ocorrem. Podemos observar que em anos por exemplo onde temos temperatura da superfície do mar elevadas junto a costa do Peru abaixo do equador e no Pacífico equatorial, o que correspondem as áreas de monitoramento do Niño 1+2, 3+4 e 3 e 4, observamos um começo da estação chuvosa de menor qualidade na Amazônia Oriental, no entanto, quando temos índices como SOI, PWP e WPI percebemos um aumento maioria das vezes bem significativo na precipitação pluvial sobre a Amazônia Oriental, conclui-se então que o monitoramento de índices atmosféricos e oceânicos é vital para prevenir danos econômicos e sociais, sobretudo, sobre a Amazônia Oriental, pois, em sua grande maioria não apresenta boa infraestrutura, para sua população, potencializando os eventos de enchentes e secas. Dentre os índices analisados nesse trabalho, foi observado que os possíveis causadores de maiores extremos são os índices de Oscilação Sul (SOI), Anomalias de temperatura do mar na faixa de 60 a 170 oeste, e 15 Sul a 15 Norte (PWP), os índices do Niño e a temperatura média global, podemos destacar este último índice como o mais importante, pois, com diversos estudos apontando no caminho de que o globo está sofrendo um aquecimento estimulado por ações antrópicas, teremos esse índice permanentemente em ascensão, ao contrário dos outros índices que apresentam uma frequência para ocorrerem novamente, mesmo que essa frequência não seja bem definida, causando por exemplo, enchentes sobre a região do Nordeste do estado do Pará até a ilha do Marajó, que seria devastador para as cidades localizadas nessa região, pois são cidades ribeirinhas e costeiras bem próximo do nível médio do mar.

## REFERÊNCIAS

- BARNETT, T.P. Attempt to verify some theories of El Niño. *J. Phys. Oceanogr.*, v.7, p.633-647, 1977.
- BLUMBERG, A. F.; MELLOR, G. L. Coastal and Estuarine Sciences. In: N. Heaps (Ed.). *A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model*. Washington, DC: Amer. Geophys. Union, 1987. V. 5.
- \_\_\_\_\_. Three-dimensional coastal ocean models. In: \_\_\_\_\_. *A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model*. Washington, DC: American Geophysical Union, 1987. v.4, p. 1-16.
- COHEN, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ, Erlbaum. 1988.
- ENFIELD, D.B.; MESTAS, A.M.; MAYER, L. D.A. Cid-Serrano: How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures? *JGR-O*, n. 104, p. 7841-7848, 1999. Disponível em: <<http://www.aoml.noaa.gov/>>. Acesso em: 14/12/2016
- FISCH, G. Características do perfil vertical do vento no Centro de Lançamento de Foguetes de Alcântara (CLA). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 14, n. 01, p.11-21, 1999.
- GARZOLI, S.L.; MATANO, R.P. The South Atlantic and the Atlantic Meridional overturning circulation. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 58, n. 17-18, p. 1837-1847, 2011.
- GILL, A.E. RASMUSSEN, E.M. 1982-83 climate anomaly in the equatorial Pacific, *Nature*, v.306, p.229-234, 1983.
- HASTENRATH, S. Lamb, *climatic atlas of the tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans*. [S.l.]: University of Wisconsin Press, 1977. 177 p.
- \_\_\_\_\_. *Climate and circulation of the tropics*. Dordrecht; Boston; Tokyo: Reidel; Lancaster, 1985. 455p.
- \_\_\_\_\_. *Climate dynamics of the tropics*. Boston; London: Kluwer; Dordrecht, 1995. 488p.
- HOREL, J.D.; HANHMANN, A.N.; GEISER, J, E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. *Journal of Climate*, v. 2, n. 11, p. 1388-1403, 1989.
- HUFFMAN, G. J. et al. The global precipitation climatology project (GPCP) combined data set. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v. 78, p. 5-20, 1997.

KREUELS, R.; K. FRAEDRICH, RUPRECHT, E. An aerological climatology of South America, *Meteorol. Rundsch.*, V. 28, 17-24, 1975.

LENTERS, J. D. *Climate dynamics of South America during summer: Connections between the large-scale circulation and regional precipitation*. 1997. 268 p. Thesis (Ph.D.) - Cornell University, 1997.

LIMEIRA, R. C. et al. Tendência das chuvas no Estado da Paraíba. *Hispeci & Lema On Line*, ano 3, n.3, nov. 2012

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.17, n.1, p. 1-10, 2002.

SCHWING, F.B., T. MURPHREE, P.M. GREEN. The Northern Oscillation Index (NOI): a new climate index for the northeast Pacific. *Progress in Oceanography* v. 53, p. 115-139, 2002.

UVO, C.B. *A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro*. 1989. Dissertação (Mestrado) – INPE, São Paulo, 1989.

WELLS, N. *The atmosphere and ocean: a physical introduction*. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1998.