



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCENOGRAFIA**

**AUGUSTO CÉSAR ALVES DE LIMA FILHO**

**EFEITOS DO DIPOLO DO ATLÂNTICO TROPICAL SOBRE AS FORÇANTES DA  
CIRCULAÇÃO OCEÂNICA**

**FORTALEZA**

**2016**

AUGUSTO CÉSAR ALVES DE LIMA FILHO

EFEITOS DO PADRÃO DO DIPOLO DO ATLÂNTICO SOBRE AS FORÇANTES DA  
CIRCULAÇÃO OCEÂNICA

Monografia apresentada ao Curso de Graduação  
em Oceanografia da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres  
Teixeira.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Rui Simões de Menezes

---

L698e Lima Filho, Augusto César Alves de.

Efeitos do Dipolo do Atlântico Tropical sobre as forçantes da circulação oceânica / Augusto César Alves de Lima Filho – 2016.  
48 p. : il. color., enc. ; 30 cm.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso Bacharelado em Oceanografia, 2016.

Orientação: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

1. Climatologia. 2. Fluxo de água. 3. Fluxo de Calor. I. Título.

---

CDD 551.6

AUGUSTO CÉSAR ALVES DE LIMA FILHO

EFEITOS DO DIPOLO DO ATLÂNTICO TROPICAL SOBRE AS FORÇANTES DA  
CIRCULAÇÃO OCEÂNICA

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Oceanografia da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Oceanografia.

Aprovada em: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jacques Maurice René Raymond Servain  
*Institut de Recherche Pour Le Développement (IRD)*

---

Prof. Dr. Francisco das Chagas Vasconcelos Júnior  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ao Senhor e Criador de tudo o que há. A Ele  
seja a honra, a glória e o louvor de eternidade a  
eternidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, César e Alessandra, por dedicarem suas vidas em zelar pelo meu futuro e formação.

À minha esposa e Oceanógrafa, Marcielly Freitas Bezerra de Lima, por seu amor, amizade e apoio.

A todo o corpo docente do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) por todo o apoio ao longo da graduação. Em especial, ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira, pela excelente orientação, incansável apoio e sempre pronta disponibilidade.

Aos professores participantes da banca examinadora; Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira, Prof. Dr. Jacques Maurice René Raymond Servain e Prof. Dr. Eduardo Sávio Passos Martins, pelo tempo, colaborações e sugestões.

Aos colegas do Laboratório de Oceanografia Física (LOF), pelas maravilhosas tardes de boa conversa, troca de sugestões, críticas e xícaras de café.

Aos colegas da turma de graduação, pelas ótimas e saudosas lembranças de todos.

*“Quanto mais estudo a natureza, mais fico  
maravilhado com os feitos do Criador.”*

Louis Pasteur (*The Literary Digest*, 18 de outubro de 1902).

## RESUMO

Este trabalho tem objetivo de descrever e quantificar o efeito do Dipolo do Atlântico Tropical sobre as forçantes da circulação oceânica (fluxo de calor, fluxo de água – evaporação e precipitação - e vento) com interesse para área da cidade de Fortaleza. Utilizou-se dados mensais de reanálise do modelo ERA-Interim para cinco forçantes; TSM, precipitação, evaporação, vento e fluxo de calor total. Os dados utilizados são do período de 1979 a 2013, totalizando uma série temporal de 35 anos. Utilizou-se o índice do Dipolo da base de dados Servain. Para cada forçante em análise, foram calculadas as anomalias médias mensais climatológicas para os eventos de dipolo positivo (DP - índice acima de +0,5) e negativo (DN - abaixo de -0,5) durante quadra chuvosa (março – abril) e seca (outubro – novembro). Foram selecionados os dados para o ponto de grade do ERA Interim mais próximo do Porto do Mucuripe, Fortaleza, CE. Para cada forçante, foram produzidas figuras e mapas contendo a correlação do índice de Dipolo com as respectivas anomalias. Para quantificar a influência dos eventos de dipolo, calculou-se percentualmente o valor das anomalias climatológicas de DN e DP tendo como referência a média mensal climatológica. O Dipolo apresentou alta correlação positiva (negativa) na região do Atlântico Tropical norte (sul) com as forçantes: temperatura da superfície do mar, precipitação e componente meridional do vento. O dipolo apresentou alta correlação negativa com a anomalia da componente zonal por toda a porção do Atlântico Tropical sul. Em anos de DP, sobre a região de Fortaleza, o oceano ganha (perde) mais calor que a média no primeiro (segundo) semestre. O oposto acontece em anos de DN, porém com porcentagens maiores.

**Palavras-chave:** Dipolo. Atlântico Tropical. Circulação Oceânica.

## ABSTRACT

This study aims to describe and quantify the effects of the Tropical Atlantic Dipole like pattern over the composites of ocean circulation (*i.e.* heat flux, water flux – evaporation and precipitation – and wind), giving closer attention to Fortaleza's region. It used monthly reanalyses data from the model ERA-Interim for five variables: sea surface temperature, precipitation, evaporation, wind and total heat flux. Data period ranges from 1979 to 2013 – 35 years. It utilized the Dipole Index from Servain dataset. It calculated the monthly mean anomaly of each variable for each year and correlated them to the positive Dipole events (above +0,5 Dipole Index) and negative Dipole events (below -0,5 Dipole Index), during rainy season (March – April) and dry season (October – November). It considered Fortaleza's grid for the correlation data. The author quantified the effect of Dipole events by relating the monthly mean anomaly to the climatological monthly mean. The study shows that the Dipole pattern has high positive (negative) correlation over the Northern (Southern) Tropical Atlantic region to sea surface temperature anomaly, precipitation anomaly and meridional component anomaly; high negative correlation to the zonal component over the Southern Tropical Atlantic region. It was also possible to see a heat gain (loss) during first (second) semester over Fortaleza's region during positive Dipole events. On negative events, the opposite happens with higher percentages.

**Keywords:** Dipole. Tropical Atlantic. Ocean circulation.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivos gerais .....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	14
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
5	CONCLUSÃO .....	43
	REFERÊNCIAS .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

O planeta Terra recebe radiação eletromagnética do Sol, mas apenas parte desta energia chega à atmosfera terrestre e à superfície da Terra (oceano e mar), sendo boa parte refletida de volta para o espaço (MOLION, 2008). A parcela de energia absorvida pela atmosfera terrestre e superfície (oceano e mar) correspondem a 15% e 40%, respectivamente (PICKARD, 1974).

A taxa de energia incidente não é equitativa ao longo do globo. Dependendo do ângulo do sol sobre o horizonte e do albedo (nebulosidade e cobertura da superfície), diferentes quantidades de radiação solar são absorvidas e perdidas em diferentes latitudes. Considerando as latitudes e a inclinação da Terra em relação ao seu eixo de rotação ao longo do ano, há um ganho líquido de calor nas baixas latitude - entre equador e 30° N-S - e perda líquida de calor nas altas latitudes - 30° N-S aos polos (GARRISON, 2010). Considerando o princípio de conservação da energia térmica, é necessário haver um balanço térmico por advecção das regiões com superávit de energia para as regiões com déficit de energia (PICKARD, 1974). Essa troca ocorre pela atmosfera e pelo oceano, que transportam esta energia pelo ar e pela água. Os processos de interação oceano-atmosfera são responsáveis pelos eventos de troca de calor, água e momento entre os oceanos e atmosfera (BJERKNES, 1969; WALKER, 1924 *apud* SILVA E SILVA, 2012).

Fenômenos de variabilidade desses eventos foram vastamente estudados ao longo dos anos, como é o caso do El Niño Oscilação Sul (ACEITUNO, 1988, 1989; TRENBERTH, 1997), na região do Pacífico, e o Dipolo do Atlântico Tropical (HASTENRATH E HELLEN, 1977; HASTENRATH, 1978; MOURA E SHUKLA 1981; SERVAIN, 1991; NOBRE E SHUKLA, 1996). Este último tem grande importância para o anomalia de chuvas do Nordeste brasileiro (NEB), sendo motivo de estudo desse trabalho.

O Dipolo do Atlântico Tropical é caracterizado pelo aparecimento de um padrão de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) de sinais opostos, sendo um polo sobre a bacia Norte do Atlântico Tropical e um polo de sinal oposto sobre a bacia Sul do Atlântico Tropical. Anomalias positivas na bacia Norte e negativas no Sul caracteriza um padrão dipolo positivo (DP). Anomalias positivas na bacia Sul e negativas no Norte, caracterizam um padrão dipolo negativo (DN) (MOURA E SHUKLA 1981).

Esta anomalia térmica nos oceanos apresenta efeitos também anômalos na atmosfera. O oceano aquece (esfria) o ar da superfície, gerando centros de baixa (alta) pressão, que alimentam a circulação dos ventos. A ação conjunta desse gradiente térmico com os padrões anômalos de vento afeta a intensidade do deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (NOBRE E SHUKLA, 1996). A ZCIT é uma zona de nebulosidade de disposição longitudinal que oscila entre 10° N e 5° S, associada a grande evaporação das águas abaixo dela pela atividade convectiva dos ventos alísios de sudeste e nordeste, trazendo elevada precipitação sobre a região em que se encontra (UVO, 1989). Sendo assim, em anos de dipolo positivo (DP), intensificação dos alísios de SE, ZCIT se encontra mais ao norte do que sua posição média. Em anos de dipolo negativo (DN), alísios de NE mais intensos, ZCIT deslocada mais ao sul (SOUZA E NOBRE, 1998).

Estudos mostram que a quadra chuvosa do NEB se concentra de fevereiro a maio, que é quando a ZCIT se encontra sobre esta região, trazendo as maiores médias pluviométricas no ano (HASTENRATH E HELLEN, 1977; HASTENRATH, 1978; LUCENA *et al.*, 2011). Alves *et al.* (2009) afirma que o impacto do Dipolo do Atlântico sobre o NEB é mais robusto e sistemático do que o ENOS. Afirma também que a ocorrência de um evento de DN correlacionou positivamente com o aumento do valor agregado da produção agrícola. Portanto, o Dipolo do Atlântico Tropical é de grande valor para a quadra chuvosa da região do NEB.

Sabe-se que o Dipolo do Atlântico tem efeito significativo sobre as forçantes oceânicas e atmosféricas, sendo substancial para a variação climática na região do NEB, bem como de todo o Atlântico. Contudo, não se sabe o quanto ele influencia essas variáveis. Neste trabalho, objetiva-se quantificar o efeito do Dipolo do Atlântico Tropical sobre os forçantes da circulação oceânica (fluxo de calor, fluxo de água – evaporação e precipitação, e vento) com interesse para área da cidade de Fortaleza.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

- Descrever a influência do Dipolo nas forçantes da circulação oceânica;

### **2.2 Objetivos específicos**

- Quantificar a anomalia de fluxo de água, calor e vento durante eventos de Dipolo positivo e Dipolo negativo;
- Correlacionar o índice do Dipolo com as anomalias climatológicas de fluxo de água, calor e momento;

### 3 MATERIAS E MÉTODOS

Utilizou-se dados mensais de reanálise do modelo ERA-Interim para cinco variáveis; TSM, precipitação, evaporação, vento e fluxo de calor total. Os dados utilizados são do período de 1979 a 2013, totalizando uma série temporal de 35 anos.

O ERA-Interim é um modelo atmosférico global de reanálise do *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF). Ele usa dados de variáveis atmosféricas e oceânicas observados por boias e satélites de 1 de janeiro de 1979 até o presente. A assimilação desses dados do sistema inclui análises tetradimensionais (latitude, longitude, altura e tempo) em janelas de 12h, portando duas vezes ao dia. Sua resolução espacial compreende a aproximadamente 80 km em 60 níveis verticais que vão desde a superfície até a altura de 0.1 hPa. Esses dados são combinados em modelos de previsão para estimar como o estado global da atmosfera está evoluindo (DEE *et al.*, 2011).

Um índice do dipolo do Atlântico foi gerado para o mesmo período. Para tal, utilizou-se a base de dados Servain (1991). Servain (1991) coletou dados mensais de TSM e a velocidade e a direção do vento a partir de fontes como: navios de comércio e oceanográficos, e boias meteorológicas. Estes dados foram tratados segundo metodologia desenvolvida no *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD) e hoje produzidos e disponibilizados de forma operacional pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do Estado do Ceará (FUNCEME).

O índice do Dipolo é calculado da seguinte forma: primeiramente os dados mensais são agrupados numa grade intermediária de 5° longitude / 2° latitude, de 60° W a 20° E, de 20° S a 10° N. Na segunda fase, o mapa de anomalias mensais é desenhado, desconsiderando os valores julgados desarmônicos, isto é, valores não coerentes geralmente causados por falta de observações em algumas regiões ou má apresentação da média mensal. Compara-se sempre os dados modificados com a climatologia, para evitar qualquer equívoco. Na terceira fase, os dados são transformados da grade corrigida para uma nova grade de 2° / 2° (entre 60°W e 15°E e entre 20°S e 28°N).

Depois de tratados, o cálculo é realizado da seguinte maneira: calcula-se as médias nas duas bacias norte e sul do Atlântico Tropical para obter as séries mensais de TSM nessas duas bacias. A linha de separação das duas bacias é definida em 5°N, que corresponde ao equador meteorológico. Então calculam-se a climatologia

mensal e o desvio padrão da TSM em cada bacia, e, logo, as anomalias mensais normalizadas pelo desvio padrão nas duas bacias. Segue que o índice é definido pela diferença entre as anomalias normalizadas de TSM da bacia norte (28°N - 5°N) e as anomalias normalizadas de TSM da bacia sul (20°S - 5°N) (SERVAIN, 1991).

Neste trabalho, foram considerados anos de DP aqueles anos com índices maiores que 0,5 e anos de DN aqueles com índice menores que -0,5 (SERVAIN, comunicação pessoal).

Para cada variável em análise foram criadas anomalias médias mensais climatológicas para eventos de DP e DN. Para tanto, utilizou-se a média de cada mês (de janeiro a dezembro) para cada ano (de 1979 a 2013) – “MCM” e subtrai-se a média climatológica de um mesmo mês de todos os anos (e.g. todos os meses de janeiro de 1979 a 2013) – “MTM”. Ou seja:

$$\text{ANOMALIA} = \text{MCM} - \text{MTM}$$

Uma vez achadas as anomalias, foi feita um composto das anomalias de cada variável para os meses março-abril (NÚCLEO CHUVOSO) e para os meses outubro-novembro (NÚCLEO SECO) durante eventos de Dipolo positivo e negativo.

Foram selecionados os dados para o ponto de grade do ERA Interim mais próximo do Porto do Mucuripe, Fortaleza, CE. Para cada forçante, foram produzidas figuras (quadra chuvosa, Porto do Mucuripe) e mapas (todos meses, Atlântico Tropical) contendo a correlação do índice de Dipolo com as respectivas anomalias. Foi utilizado intervalo de confiança de 95% para significância estatística. Foram produzidas, também, figuras que mostram as médias climatológicas de todos os meses e também as médias climatológicas de meses de DP e DN.

Para quantificar o efeito dos eventos de dipolo, calculou-se percentualmente o valor das anomalias climatológicas de DP e DP tendo como referência a média mensal climatológica.

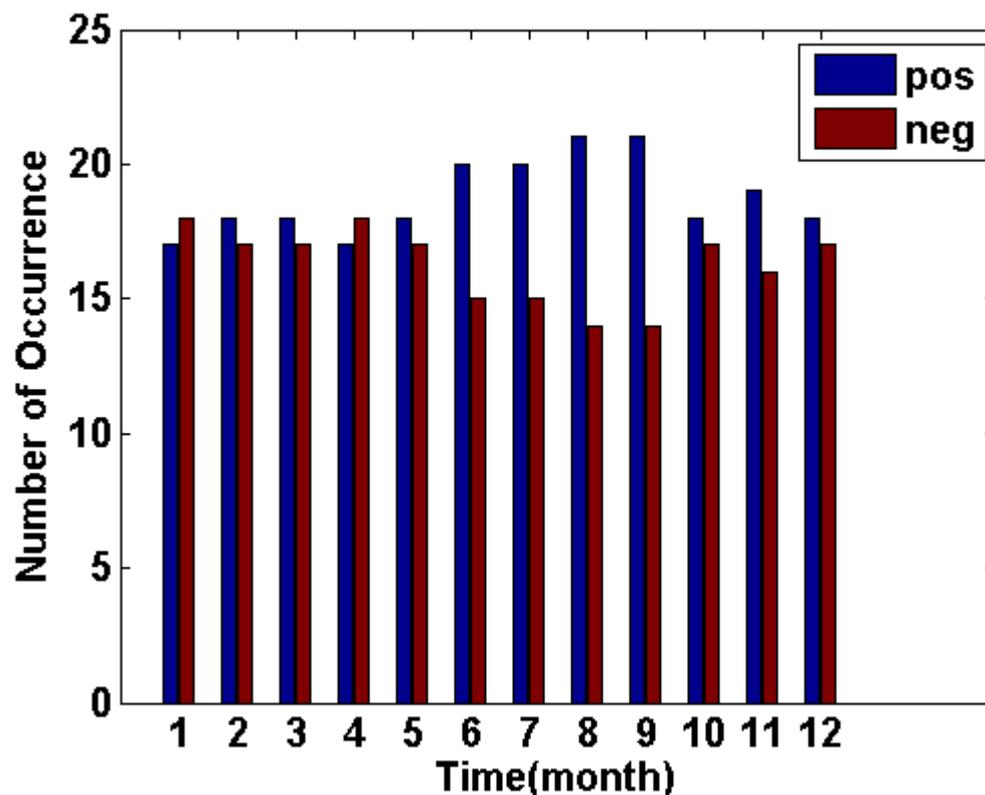
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Eventos do Dipolo

Para os índices mensais do dipolo, foram gerados gráficos de número de ocorrência (figura 1), desvio padrão (figura 2) e frequência da ocorrência de cada intensidade (figura 3).

Para o período do estudo (1979 a 2013 – 420 meses), houve mais meses com índice de DP (figura 1), sendo 225 no total. O período entre os meses junho e setembro apresentaram os maiores números de eventos positivos, porém cabe ressaltar que durante a quadra chuvosa do NE brasileiro existe um número próximo de eventos positivos e negativos. Foram 195 meses de DN.

Figura 1 - Número de Dipolos para cada mês do ano para o período de 1979 a 2013. As barras azuis representam o número de eventos de Dipolos positivos e as barras vermelhas o de Dipolo negativo.

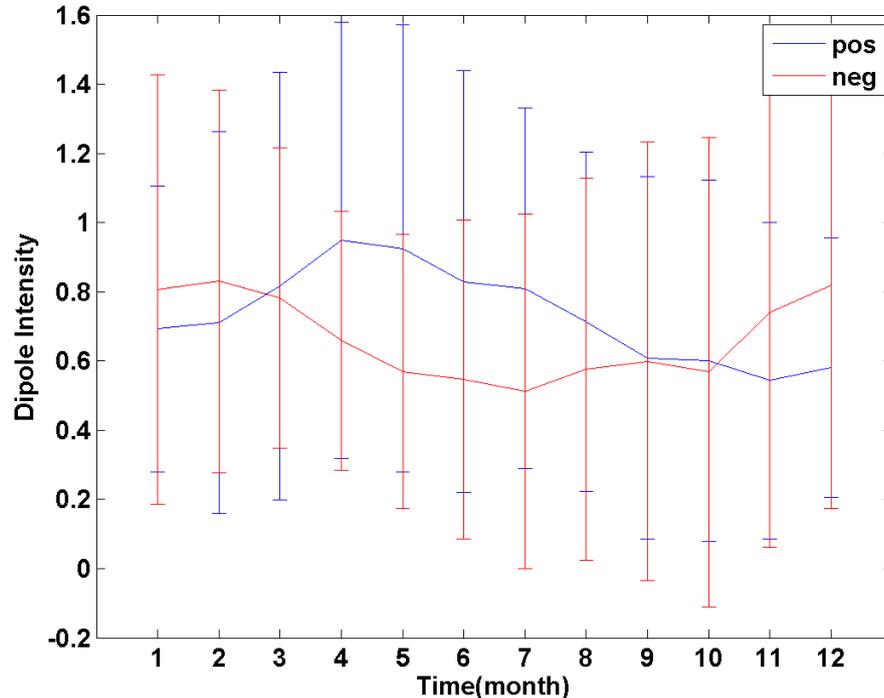


Fonte: o Autor.

Através das médias mensais das intensidades (figura 2), observa-se maior intensidade e maior variabilidade do DP entre abril e agosto, e entre novembro e

fevereiro as maiores intensidades e desvios de dipolo negativo.

Figura 2 - As médias mensais climatológicas e desvio padrão das intensidades dos eventos de Dipolo positivo (azul) e negativo (vermelho) e para cada mês de do ano para o período de 1979 a 2013. Os valores negativos foram normalizados.

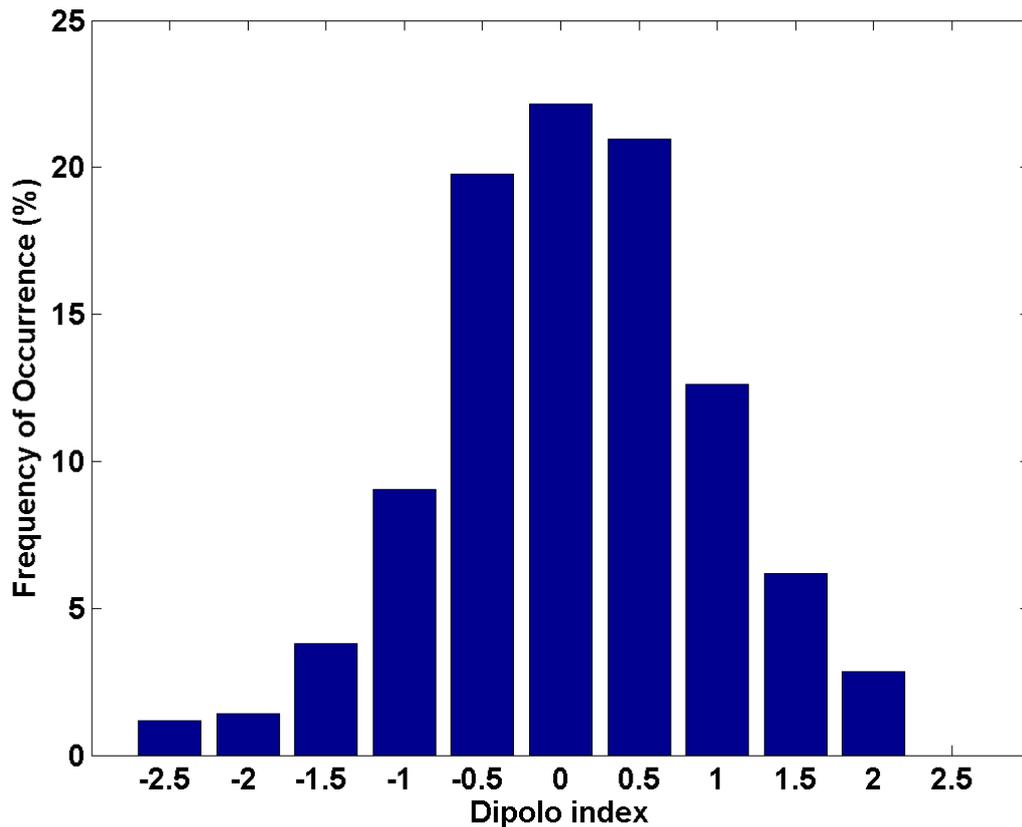


Fonte: o Autor.

Para os 35 anos analisados neste trabalho, houve uma predominância (~38%) de eventos do dipolo que ocorreram entre os índices -0,5 a 0,5, sendo a maior parte deles (~23%) de índice nulo (figura 3). Alves *et al.* (2009) argumenta que, devido à discreta variabilidade do Atlântico, são considerados eventos significativos de Dipolo aqueles com índice maior que +0,2 (positivo) ou menor que -0,2 (negativo). O limiar 0,2 é evento neutro.

O índice máximo atingido em eventos positivos foi de 2,0, enquanto -2,5 nos eventos negativos. Há uma maior ocorrência de eventos de DP maiores que 0,5, do que eventos negativos.

Figura 3 - Frequência de acontecimentos dos Índices de Dipolo para o período de 1979 a 2013.



Fonte: o Autor.

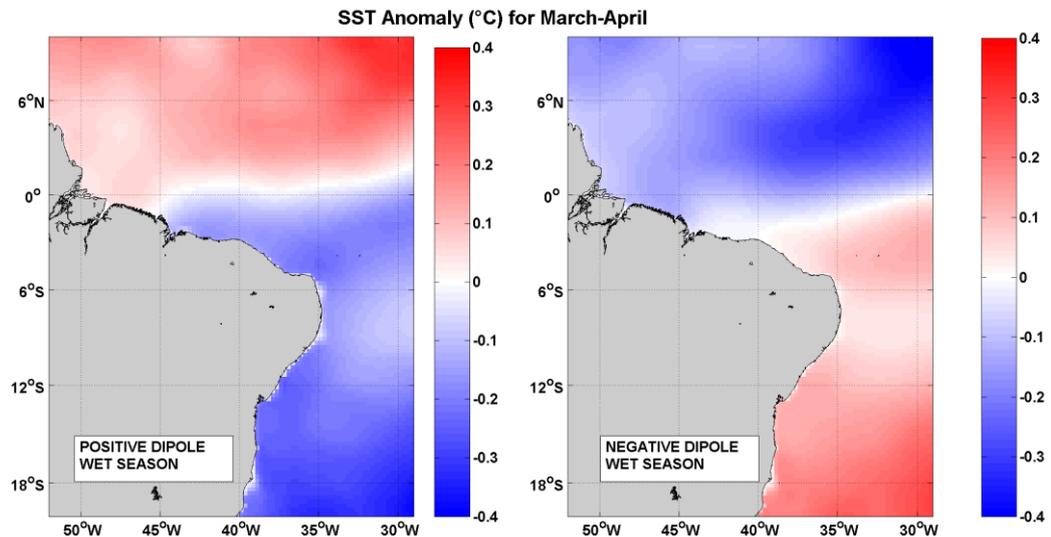
Através dos resultados acima, podemos concluir que o número de eventos DP não é muito maior do que os eventos de DN e que a uma distribuição próxima na frequência de ocorrência das diferentes intensidades. Este resultado é importante pois permite a construção de médias climatológicas das anomalias não tendenciosas.

#### 4.2 Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

Para a estação chuvosa (figura 4), a anomalia média climatológica de TSM variou entre 0.4 (°C) em relação média tanto para eventos de DP ou DN. Como esperado existe uma inversão no sinal das anomalias entre os hemisférios. Em anos de DP (figura 4 - direita) a porção do Atlântico Tropical norte mostrou-se com as anomalias positivas e a porção sul com as anomalias negativas de TSM. O inverso ocorreu para os anos de DN (figura 4 - esquerda). A região de inversão de valores tomou uma disposição longitudinal ao longo da latitude de 0°. Os resultados destas figuras conferem confiabilidade à metodologia empregada, ao passo que mostra claramente a configuração da anomalia de TSM do Dipolo no Atlântico Tropical.

Hastenrath e Hellen (1977), em seu quadro dos 10 eventos mais extremos (seco/chuvoso) do período 1912-1972, também mostraram uma grande área de anomalia positiva de TSM na bacia norte do Atlântico Tropical e negativa na bacia sul para os meses março-abril.

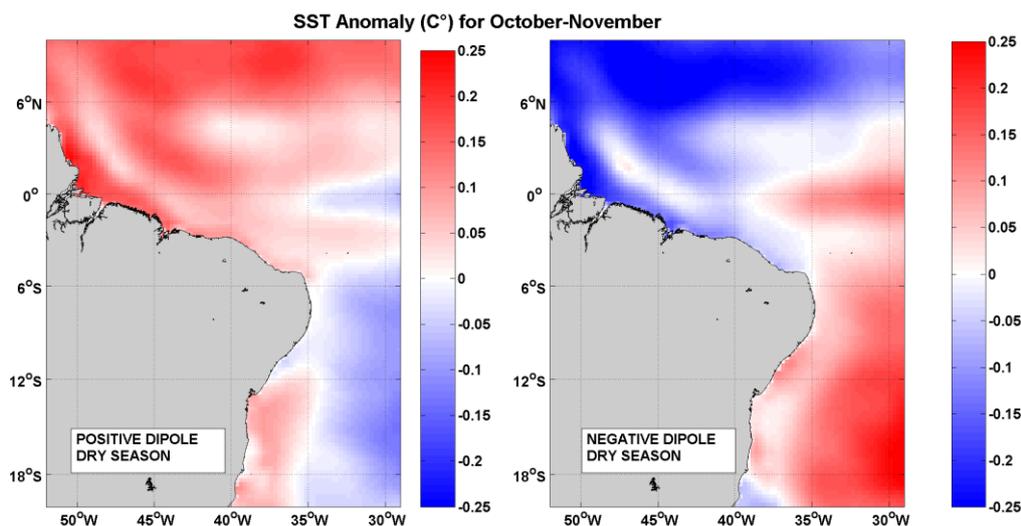
Figura 4 - Anomalia de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para o meses Março-Abril (estação chuvosa) de 1979 a 2013, durante a fase positiva (à esquerda) e negativa (à direita) do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical.



Fonte: o Autor.

Para a estação seca (figura 5), a anomalia média climatológica foi menor e variou entre  $-0.25$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) e  $0.25$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). Em anos de Dipolo positivo (figura 5 - direita) a porção do Atlântico Tropical norte mostrou-se com as anomalias positivas e a porção sul com as anomalias negativas de TSM. O inverso ocorreu para os anos de Dipolo negativo (figura 5 - esquerda). Percebe-se ainda valores próximos a zero na região de influência da Corrente Norte do Brasil (CNB), possivelmente devido aos processos advectivos que diminuem a variabilidade na região.

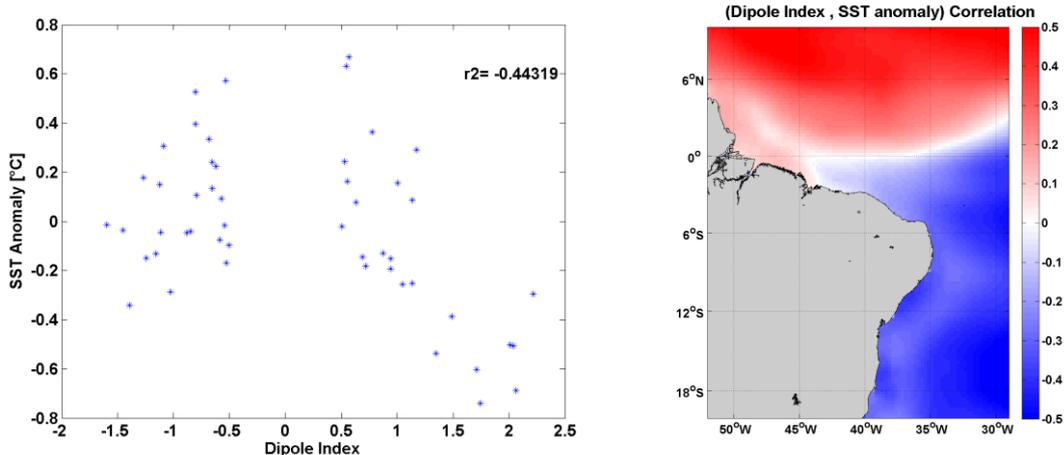
Figura 5 - Anomalia de TSM (°C) para o meses Outubro-Novembro (estação seca) de 1979 a 2013, durante a fase positiva (à esquerda) e negativa (à direita) do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical.



Fonte: o Autor.

A correlação entre a anomalia de TSM e o índice do Dipolo para a área de interesse deste trabalho (figura 6 - direita) mostrou-se significativa e negativa, com  $r^2 = -0,44$  para o ponto mais próximo a Fortaleza. Há, portanto, uma relação inversa entre os conteúdos analisados, isto é, quando há dipolos positivos mais intensos, conseqüentemente se tem anomalias de TSM mais negativas, e vice-versa. Como o sinal do valor de  $r^2$  é oposto no hemisfério norte, esta relação é inversa para o hemisfério norte. A correlação para toda a região (figura 6 - esquerda) evidencia a disposição do Padrão de Dipolo do Atlântico Tropical, corroborando estudos anteriores (HASTENRATH E HELLER, 1977; HASTENRATH, 1978; MOURA E SHUKLA 1981; SERVAIN, 1991; NOBRE E SHUKLA, 1996). Cabe ressaltar que a região sobre a CNB possui valores próximos a zero.

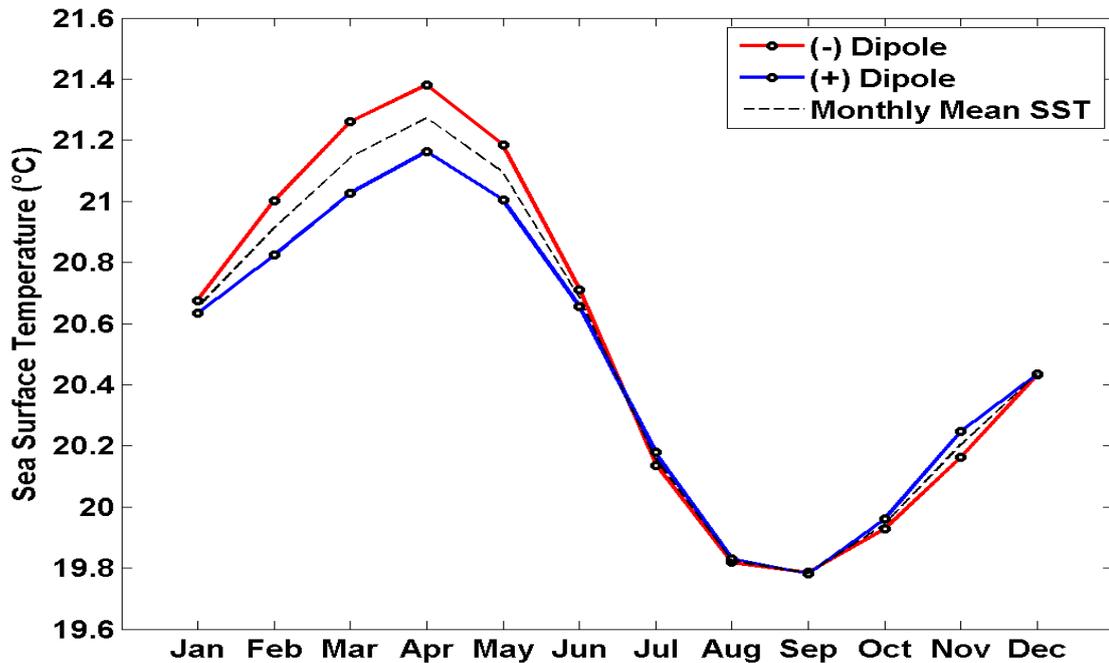
Figura 6 - À esquerda, gráfico de correlação entre a anomalia de TSM (°C) e o Índice do Dipolo para o Porto do Mucuripe durante quadra chuvosa. À direita, o mapa do  $r^2$  para toda a região para todos os meses. Foram usados apenas valores de dipolo maiores que 0.5 e menores do que -0.5 para o cálculo das correlações.



Fonte: o Autor.

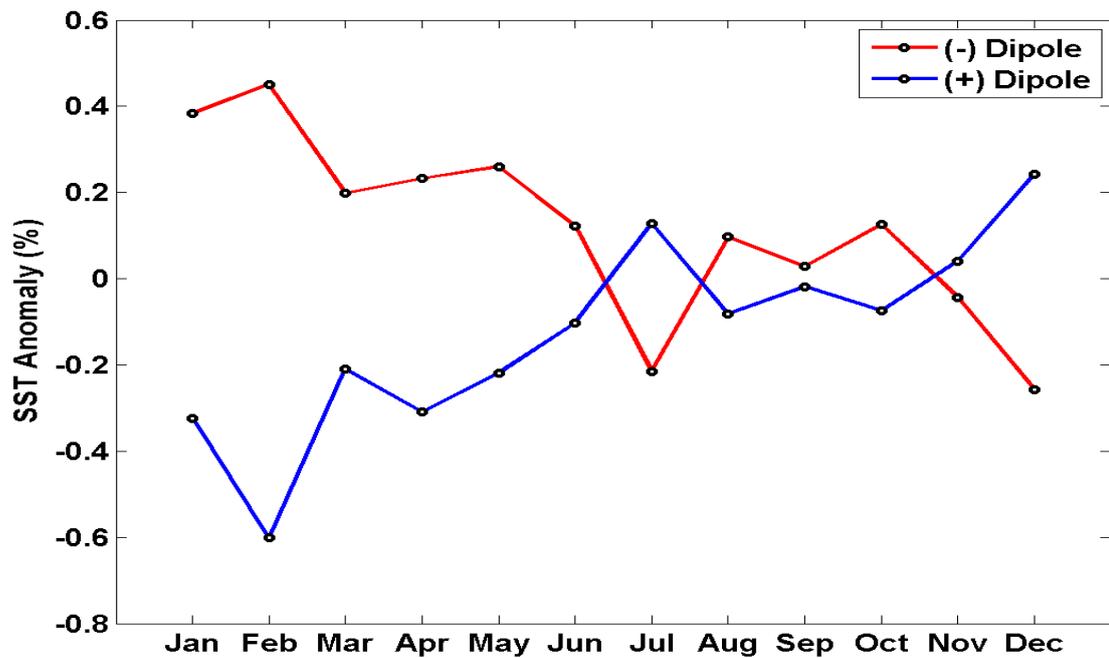
Na figura 7 é apresentado uma série temporal das médias gerais climatológicas de TSM, durante eventos de DP e de DN, onde nota-se que as maiores anomalias ocorrem no primeiro semestre, durante o segundo semestre quase não é notada diferença entre os anos de DP e DN e a climatologia. Percentualmente, (figura 8) estas diferenças são muito pequenas (menores do que 1%), porém as anomalias de TSM encontradas para os DP e DN chegam a ser até 50% da amplitude anual de variabilidade de TSM da região (TEIXEIRA E MACHADO, 2013). Como pequenas anomalias de TSM são suficientes para causar anomalias de evaporação e perturbar o fluxo de humidade consideravelmente (MOURA E SHUKLA, 1981).

Figura 7 - Série temporal das médias climatológicas de TSM para o período de 1979 a 2013 para o Porto do Mucuripe. A linha de cor vermelha representa os valores mensais climatológicos durante a fase positiva do Dipolo. A linha de cor azul representa os valores mensais climatológicos durante a fase negativa do Dipolo. A linha tracejada representa a média mensal climatológica do período.



Fonte: o Autor.

Figura 8 - Variação percentual das anomalias de TSM em relação à média climatológica durante o período de fase positiva do Dipolo (azul) e de fase negativa do Dipolo (vermelho) para o Porto do Mucuripe.

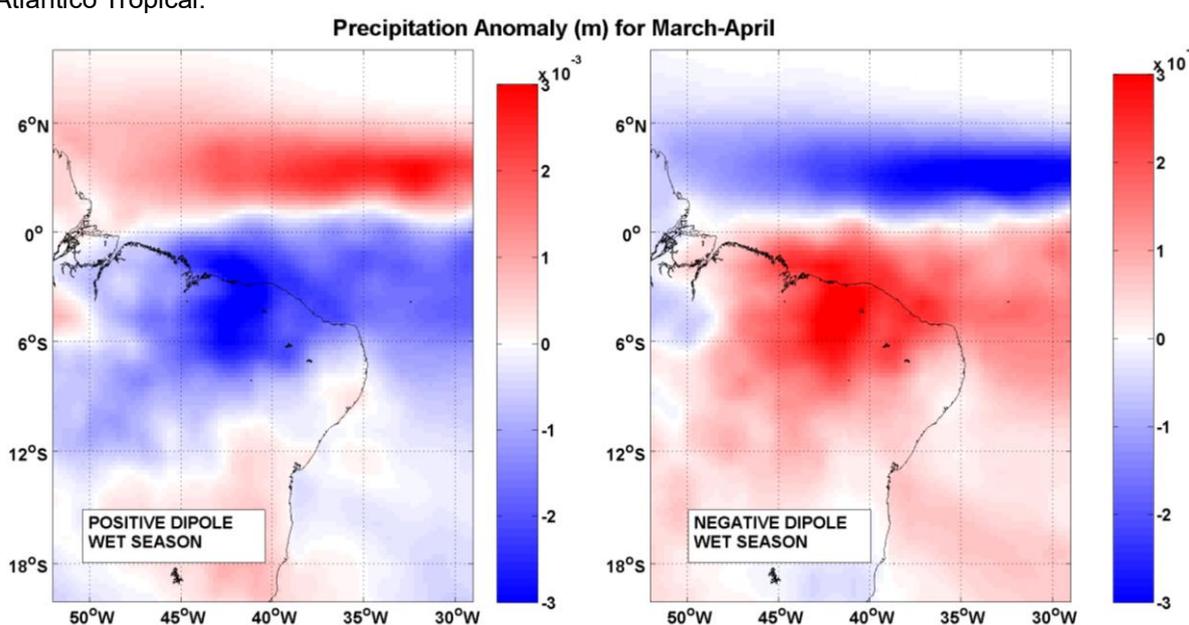


Fonte: o Autor.

### 4.3 Precipitação (PPT)

Para a estação chuvosa (figura 9), a anomalia média climatológica de precipitação diária variou entre 3 mm a mais ou menos que a média. Em anos de Dipolo positivo (figura 9 - esquerda) constatou-se uma banda de precipitação acima da média sobre a porção norte do Atlântico Tropical, já sobre a porção sul e a faixa de terra, houve precipitação abaixo da média. Ocorreu o inverso para os anos de Dipolo negativo (figura 9 - direita).

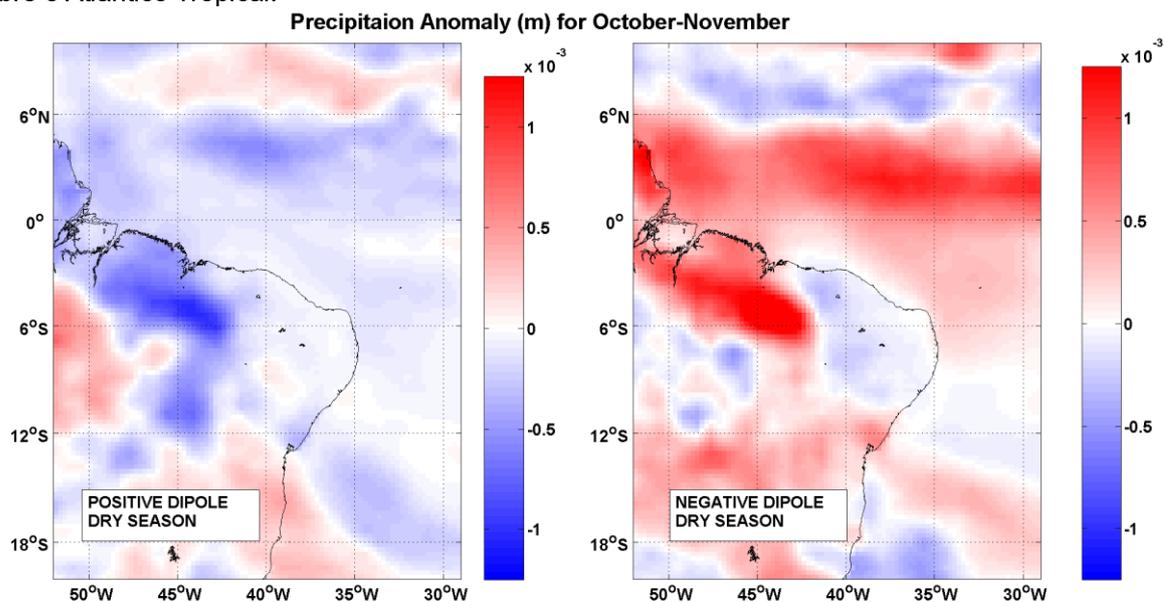
Figura 9 - Anomalia de Precipitação diária (m) para o meses Março-Abril (estação chuvosa) de 1979 a 2013, durante os anos de fase positiva (à esquerda) e negativa (à direita) do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical.



Fonte: o Autor.

Para a estação seca (figura 10), a anomalia média climatológica da precipitação diária variou entre 1 mm a mais ou a menos que a média, 2 mm a menos do que a estação chuvosa. Em anos de Dipolo positivo (figura 10 - esquerda) houve predomínio de anomalia negativa de precipitação sobre a região em análise, com algumas regiões de precipitação acima da média. O inverso ocorreu para os anos de Dipolo negativo (figura 10 - direita), com predomínio de precipitação acima da média. Não houve uma configuração bem delimitada de inversão de valores.

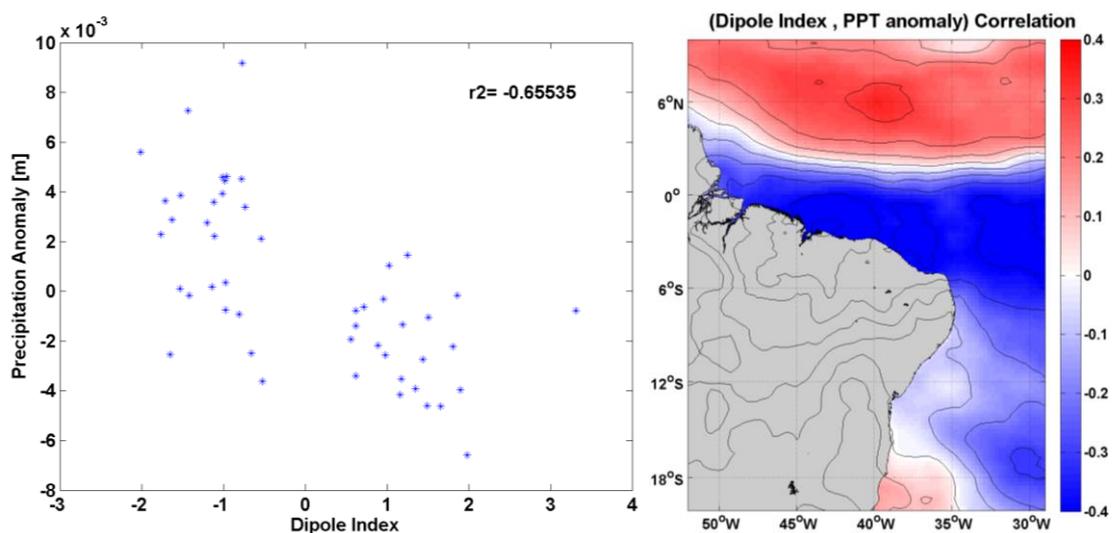
Figura 10 - Anomalia de Precipitação diária (m) para o meses Outubro-Novembro (estação seca) de 1979 a 2013, durante os anos de fase positiva (à esquerda) e negativa (à direita) do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical.



Fonte: o Autor.

A correlação entre a anomalia de PPT e o índice do Dipolo para a região de Fortaleza (figura 11 - direita) mostrou-se significativa e negativa, com  $r^2 = -0,66$ . Há, portanto, uma relação inversa entre os conteúdos analisados, isto é, quando há dipolos positivos mais intensos, conseqüentemente se tem anomalias mais negativas, e vice-versa. A correlação para toda a região (figura 11 - esquerda) revela que a intensidade da precipitação sobre o hemisfério sul é mais favorecida (anomalias mais positivas) durante anos de Dipolo negativo, quando a ZCIT se encontra em sua posição mais ao sul do equador meteorológico (5°N) (NOBRE E SHUKLA, 1996; MOURA E VITORINO, 2012). Percebe-se que as maiores correlações ocorrem na faixa entre 6° N e 6° S.

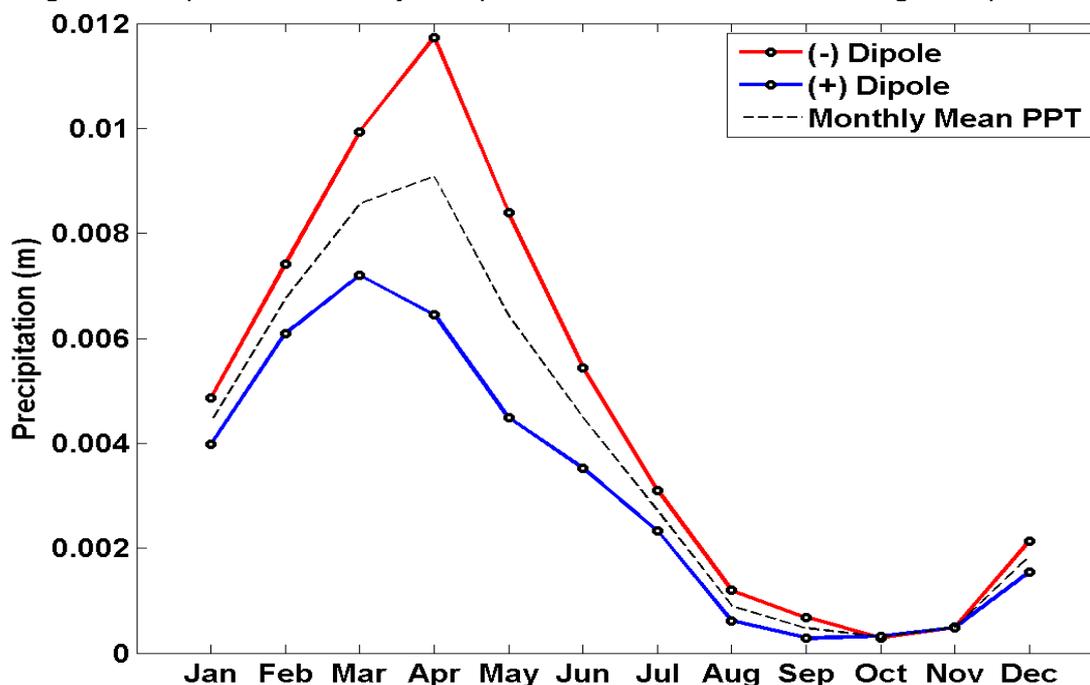
Figura 11 - À esquerda, gráfico de correlação entre a anomalia da precipitação (m) e o Índice do Dipolo para o Porto do Mucuripe durante quadra chuvosa. À direita, o mapa do  $r^2$  para toda a região para todos os meses. Foram usados apenas valores de dipolo maiores que 0,5 e menores do que -0,5.



Fonte: o Autor.

Através da média mensal de 35 anos (figura 12), nota-se que os anos de DP (linha azul) apresentaram médias climatológicas menores do que a média mensal (linha tracejada), enquanto que os anos de DN (linha vermelha) apresentaram médias climatológicas maiores que a média mensal. As maiores diferenças ocorrem durante a quadra chuvosa. De julho a novembro quase não existem diferenças entre a climatologia e os eventos de DP e DN. Nota-se ainda que durante os eventos de dipolo positivo, o valor máximo de precipitação que normalmente ocorre em abril em anos normais, ocorre em março.

Figura 12 - Série temporal das médias climatológicas de Precipitação para o período de 1979 a 2013 para o Porto do Mucuri. A linha de cor vermelha representa os valores mensais climatológicos durante a fase positiva do Dipolo. A linha de cor azul representa os valores mensais climatológicos durante a fase negativa do Dipolo. A linha tracejada representa a média mensal climatológica do período.



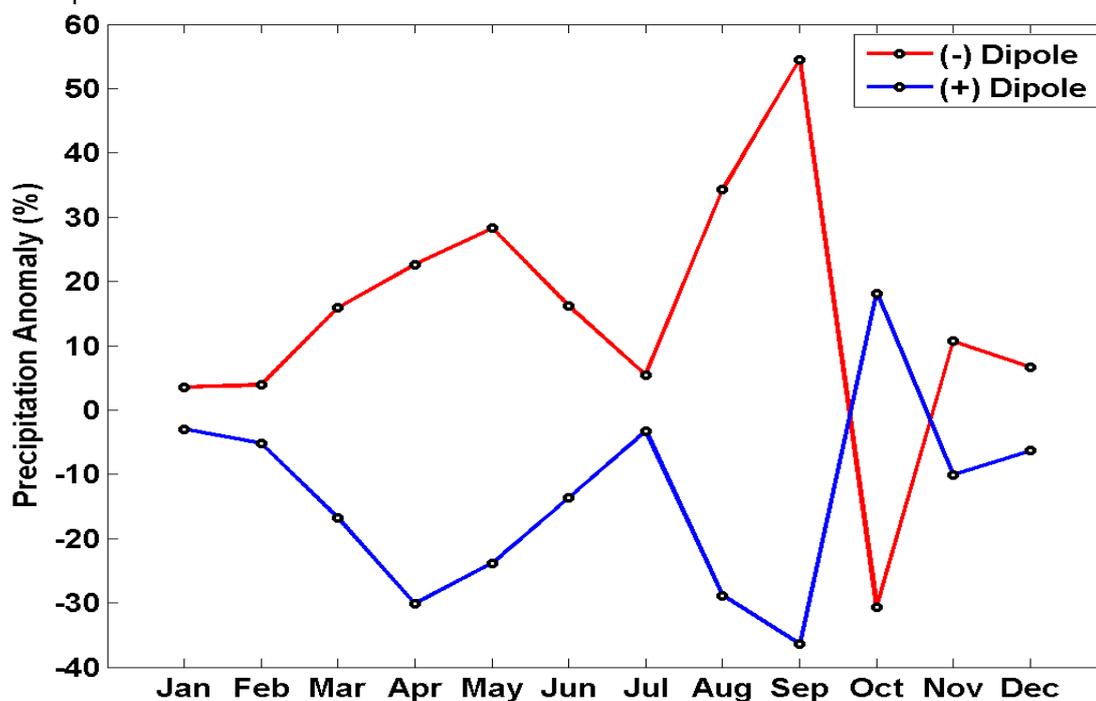
Fonte: o Autor.

Percentualmente (figura 13) os anos de dipolo negativo (linha vermelha) apresentaram sua maior anomalia em setembro, quando chove ~ 55% a mais que a média. Isto não quer dizer que as maiores chuvas ocorrem neste período, pois esta porcentagem está relacionada à média daquele mês, que é menor que 1mm/ dia. Porém a importância ecológica desta diferença é muito grande, haja vista a condição de pouca chuva típica deste mês.

Durante a quadra chuvosa, concentrada no período fevereiro-maio (ALVES *et al*, 2009), choveu aproximadamente 23% a mais que a média em anos de dipolo negativo e 30% a menos em anos de dipolo positivo.

No mês de outubro, choveu ~ 20% a mais que a média em anos de dipolo positivo (linha azul). Nota-se que outubro é o único momento quando se chove mais em anos de DP do que DN, porém a razão desta inversão não é clara. Sabe-se que esse é um período de pouca chuva (média menor que 1 mm diária), e que qualquer variação é importante para o mês.

Figura 13 - Variação percentual das anomalias de Precipitação em relação à média climatológica durante o período de fase positiva do Dipolo (azul) e de fase negativa do Dipolo (vermelho) para o Porto do Mucuripe



Fonte: o Autor.

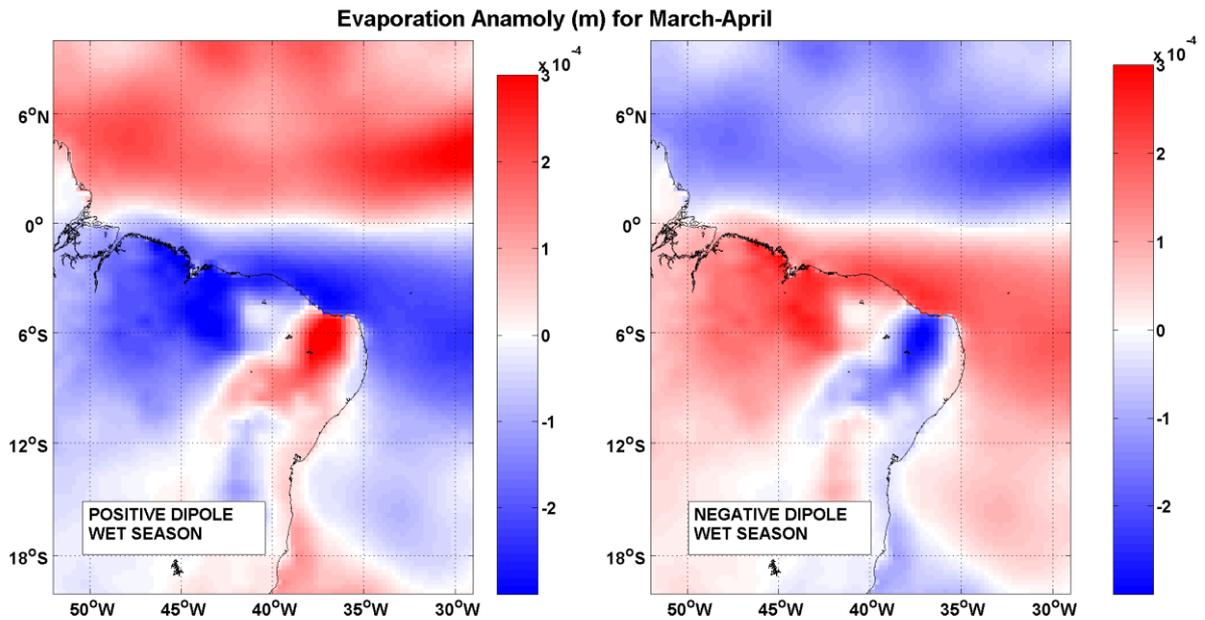
#### 4.4 Evaporação

O ERA-Interim retorna os dados de evaporação em valores negativo. Na meteorologia, a convenção para todos os fluxos verticais é: para cima, o valor é negativo; para baixo, positivo. Assim, anomalias positivas significam menos evaporação e negativa, mais evaporação que a média.

Para a estação chuvosa (figura 14), a anomalia média climatológica variou entre 0.3 mm/dia a mais ou a menos que a média. Em anos de Dipolo positivo (figura 14 - esquerda) houve uma evaporação abaixo da média sobre a porção norte do Atlântico Tropical, e evaporação acima da média na porção sul do Atlântico. A ZCIT se encontra deslocada mais ao norte, gerando nebulosidade sobre esta região, evitando que a radiação solar (ondas curtas) aqueça o oceano. Já sobre a porção sul, a intensificação dos alísios de SE facilita o processo de troca de água do oceano para a atmosfera.

Ocorreu o inverso para os anos de Dipolo negativo (figura 14 - direita). Mais uma vez ficou evidenciada a faixa de valores médios separando as porções do Atlântico Tropical, seguindo disposição longitudinal ao longo da latitude de 0°.

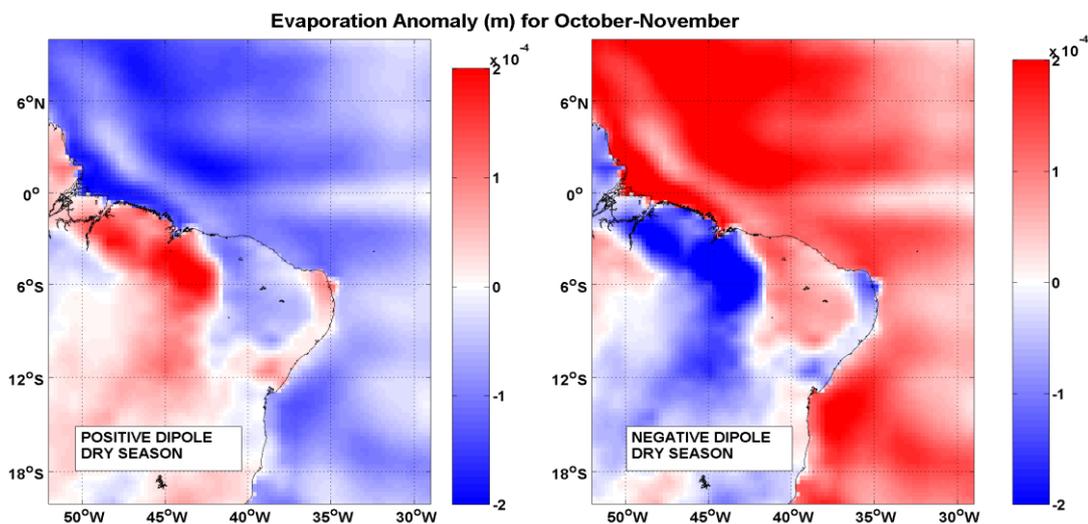
Figura 14 - Anomalia de Evaporação (m) para o meses Março-Abril (estação chuvosa) de 1979 a 2013, durante os anos de fase positiva (à esquerda) e negativa (à direita) do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical. Anomalias positivas (negativa) significam menos (mais) evaporação.



Fonte: o Autor.

Para a estação seca (figura 15), a anomalia média climatológica variou entre 0.2 mm/dia a redor da média. Em anos de Dipolo positivo (figura 15 - esquerda) toda a porção do Atlântico Tropical evapora mais que a média. O inverso ocorreu para os anos de Dipolo negativo (figura 15 - esquerda), quando houve evaporação abaixo da média.

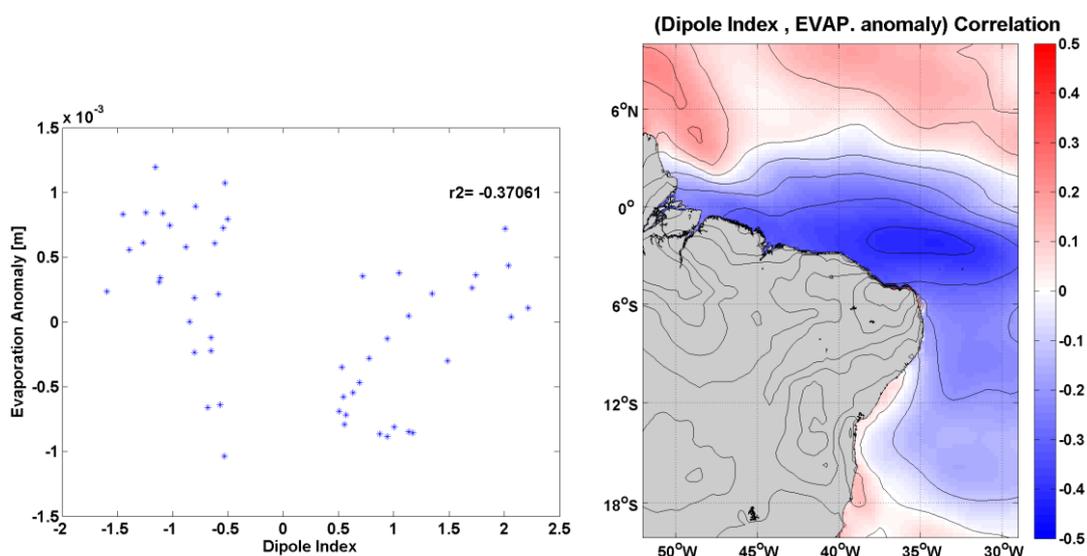
Figura 15 - Anomalia de Evaporação (m) para o meses Outubro-Novembro (estação seca) de 1979 a 2013, durante os anos de fase positiva (à esquerda) e negativa (à direita) do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical



Fonte: o Autor.

A correlação entre a anomalia de evaporação e a intensidade do Dipolo para o ponto do Porto do Mucuripe - CE (figura 16 - direita) apresentou  $r^2 = -0,37$ . Há, portanto, uma relação inversa, isto é, quando há dipolos positivos mais intensos, conseqüentemente se tem anomalias mais negativas (mais evaporação), e vice-versa. A correlação para toda a região (figura 16 - esquerda) revela que a porção equatorial do Atlântico é a que apresenta melhor correlação, com anomalias que variam inversamente com os índices. Regiões em azul representam maior evaporação em anos de dipolo positivo e menor evaporação em anos de dipolo negativo. O contrário ocorre com as regiões em vermelho.

Figura 16 - À esquerda, gráfico de correlação entre a anomalia de evaporação (m) e o Índice do Dipolo para o Porto do Mucuripe durante quadra chuvosa. À direita, o mapa do  $r^2$  para toda a região para todos os meses. Foram usados apenas valores de dipolo maiores que 0.5 e menores do que -0.5.



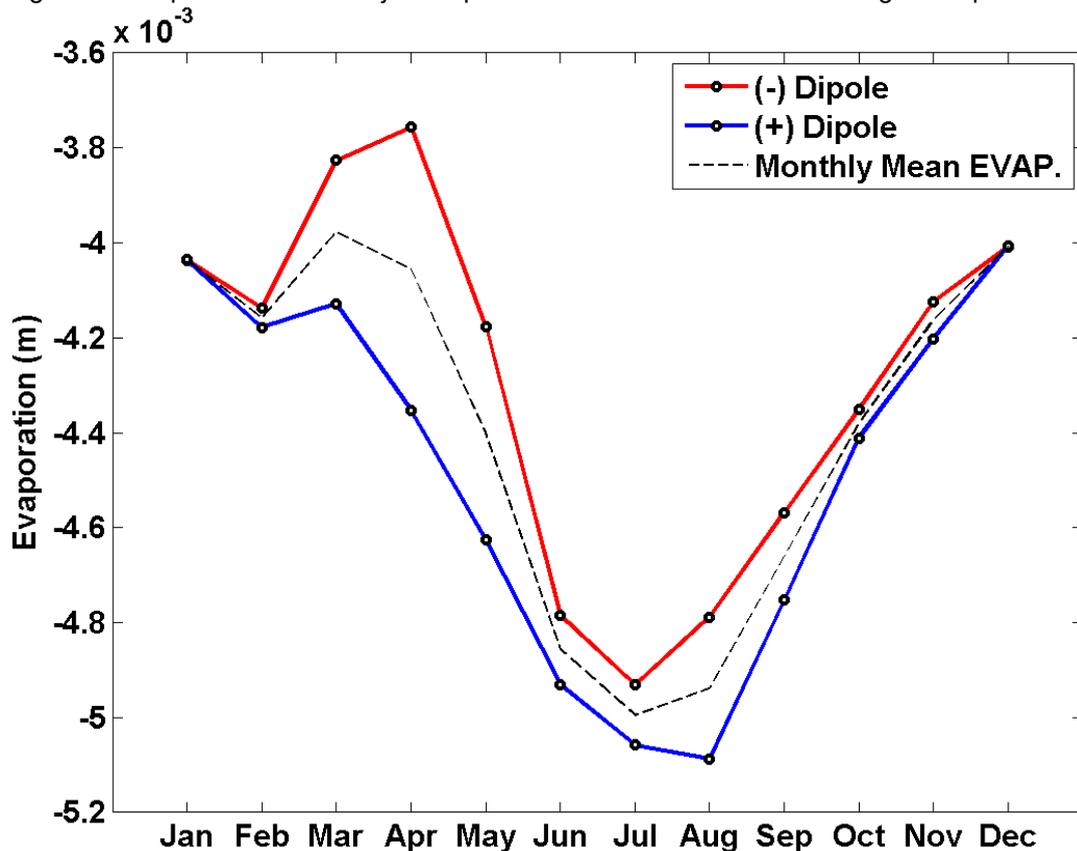
Fonte: o Autor.

Durand *et al.* (2005), utilizando a base de dados Da Silva (da Silva *et al.*, 1994) e imagens de satélite (*International Satellite Cloud Climatology Project – ISSCP*), correlacionou o índice de cobertura de nuvens convectivas com anomalia de fluxo de calor latente para a região do NEB, durante a quadra chuvosa, num período de dez anos – 1983 a 1994. Os autores observaram uma forte correlação positiva na região norte do Atlântico tropical, enquanto que a região sul (próxima ao NEB) apresentou forte correlação negativa. Estes resultados corroboram com os resultados do presente trabalho; maior (menor) evaporação no Atlântico Tropical Norte em anos de DP (DN) (figura 14) e alta correlação negativa - maior (menor) evaporação em DP (DN) – para

região do Porto do Mucuri (figura 16).

Através da série temporal da climatologia média de evaporação e das anomalias para diferentes fases do dipolo (figura 17), percebe-se que para a região de Fortaleza ocorre maior (menor) evaporação durante todos os meses do ano durante eventos de DP (DN). As maiores anomalias ocorrem de março até agosto, quando decrescem até atingir um mínimo nos meses de dezembro e janeiro.

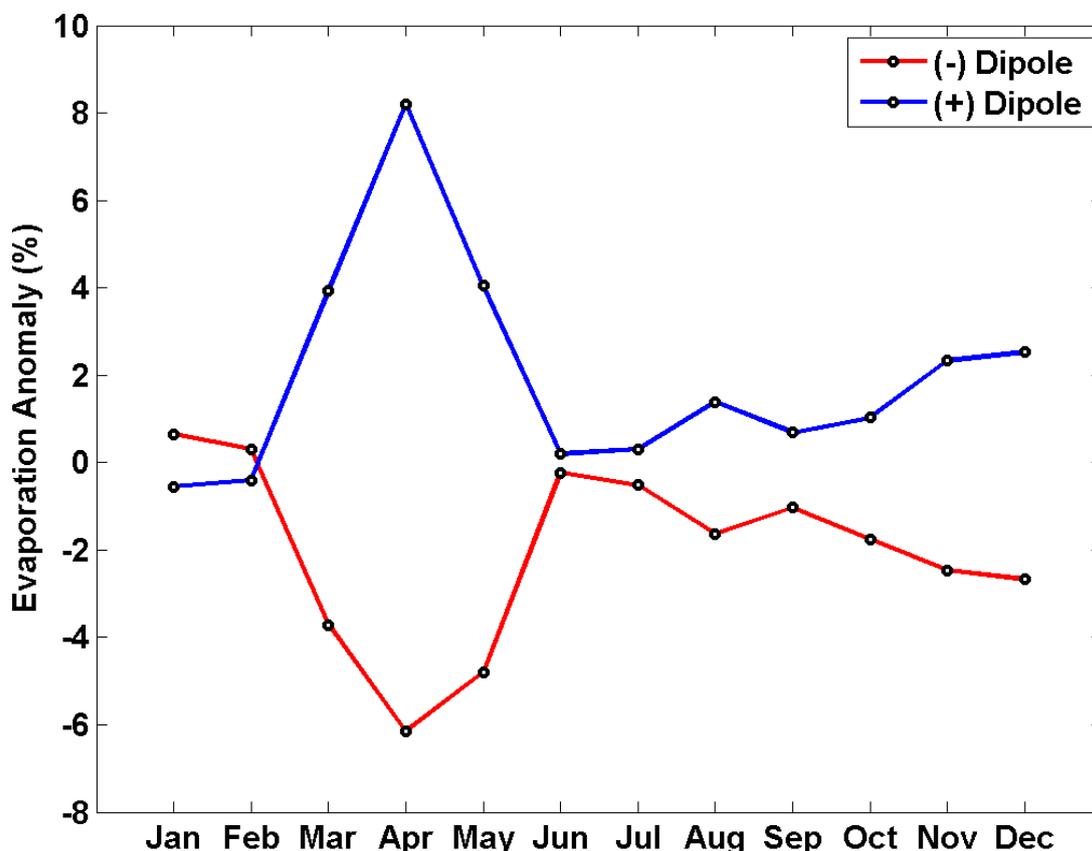
Figura 17 - Série temporal das médias climatológicas da evaporação para o período de 1979 a 2013 para o Porto do Mucuri. A linha de cor vermelha representa os valores mensais climatológicos durante a fase positiva do Dipolo. A linha de cor azul representa os valores mensais climatológicos durante a fase negativa do Dipolo. A linha tracejada representa a média mensal climatológica do período.



Fonte: o Autor.

Os valores percentuais de anomalia para o Porto do Mucuri – CE (figura 18), tem um pico negativo de 6% no mês de abril e um pico positivo de 8% no mesmo mês.

Figura 18 - Variação percentual das anomalias de Precipitação em relação à média climatológica durante o período de fase positiva do Dipolo (azul) e de fase negativa do Dipolo (vermelho) para o Porto do Mucuripe.



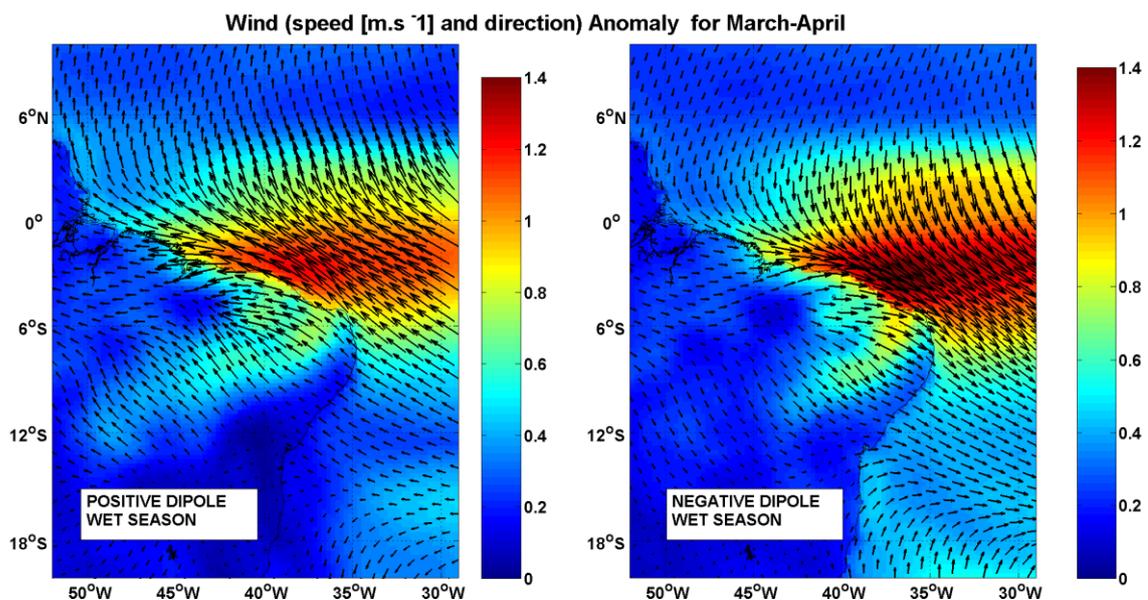
Fonte: o Autor.

#### 4.5 Vento

Para a estação chuvosa (figura 20), o vento apresentou anomalia de direção e velocidade em áreas muito semelhantes nos anos de dipolo positivo e negativo. Em anos de dipolo positivo (figura 19 – direita), a média das componentes zonal e meridional apresentaram-se maior do que a média climatológica (figura 23 e 25), mostrando uma intensificação dos ventos alísios de sudeste e diminuição dos alísios de nordeste, haja vista a ZCIT estar deslocada para o norte. Já em anos de dipolo negativo (figura 20 – esquerda), os valores ficaram abaixo da média, pois houve uma atenuação dos ventos alísios de sudeste devido o deslocamento anômalo da ZCIT para o sul. As anomalias para leste (figura 19 – esquerda) e oeste (figura 19 – direita) estão relacionadas com o enfraquecimento (fortalecimento) da componente zonal durante este período (figura 21 – direita). Durand *et al.* (2005), através do fluxo

zonal de humidade (vento zonal x humidade específica), apresentou a mesma anomalia a leste para a quadra chuvosa do NEB em anos considerados chuvosos (anos com anomalia positiva de cobertura de nuvens convectivas sobre a região) a partir de dados do NCEP-NCAR. Os autores discutem que esse enfraquecimento é responsável por reduzir abaixo da média o fluxo de calor latente na região, o que pode também ser visto neste trabalho, pela evaporação abaixo da média em anos de DN (figura 16 - direita) e no Porto do Mucuripe (figura 17, 18).

Figura 19 - Anomalia de velocidade (m/s) e direção do Vento para os meses Março-Abril (estação chuvosa) de 1979 a 2013, durante os anos de fase positiva (à esquerda) e negativa (à direita) do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical.



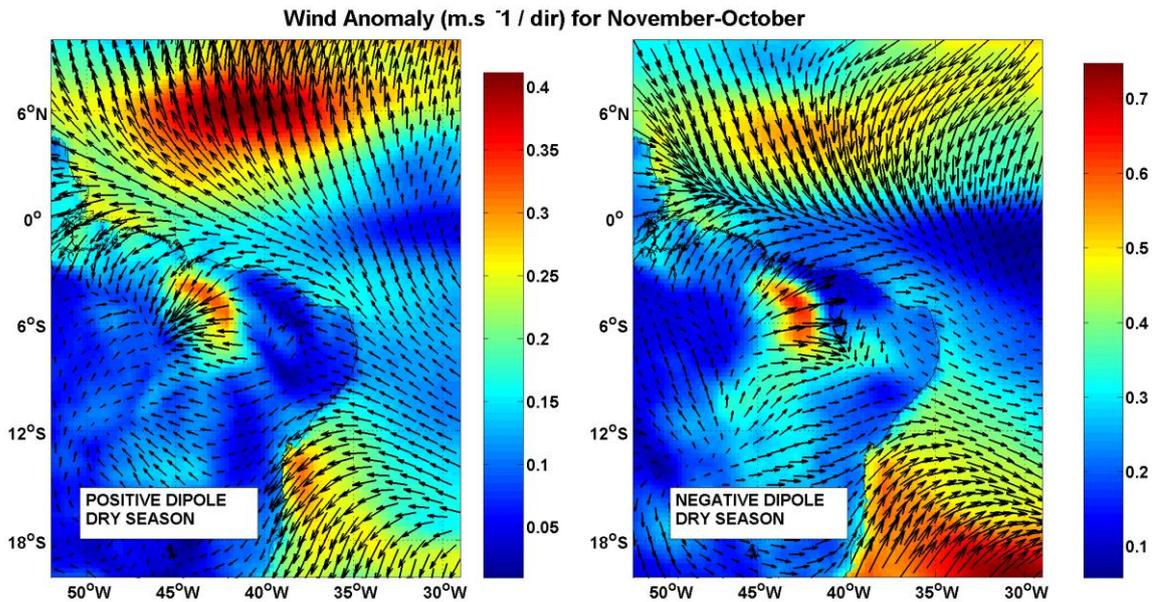
Fonte: o Autor.

Durante a estação seca (figura 20), as anomalias são mais distintas, mas obedecem ao padrão encontrado nos meses chuvosos; intensificação (diminuição) dos alísios de sudeste (nordeste) durante o DP e atenuação (intensificação) durante o DN.

Nota-se que, agora, as maiores anomalias ocorrem ao norte do equador, devido à posição média da ZCIT nesta época do ano.

Anomalias intensas ocorrem ainda ao longo da costa leste brasileira, ao sul de 10° S, mostrando uma intensificação dos ventos de nordeste durante eventos de DP e diminuição de sua intensidade durante eventos de DN. Estas mesmas anomalias ocorrem também durante quadra chuvosa, porém em menor intensidade.

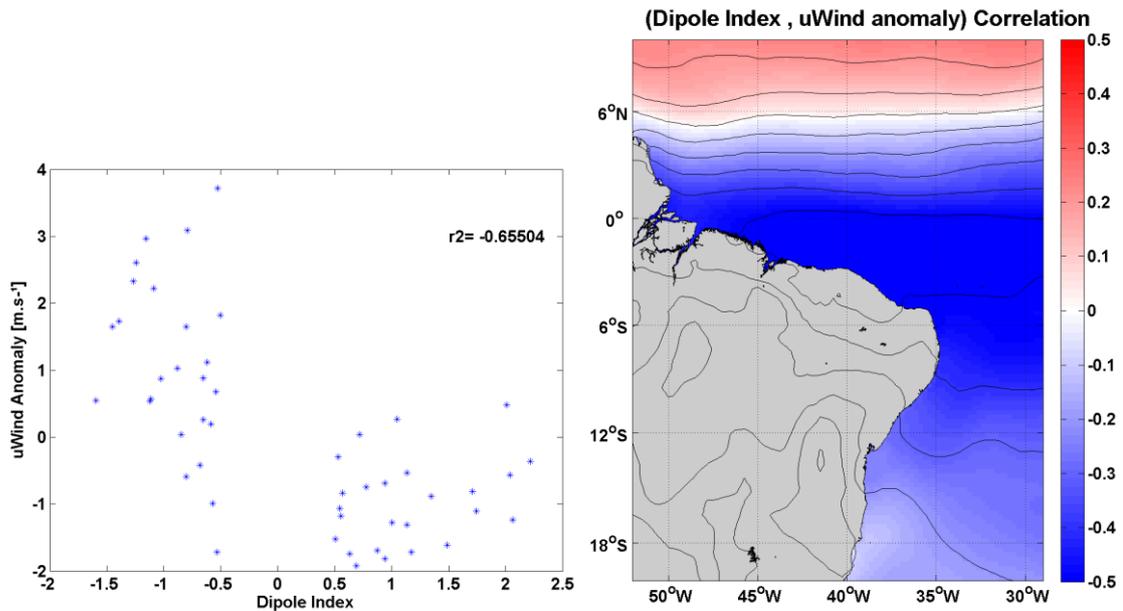
Figura 20 - Anomalia de velocidade (m/s) e direção do Vento para o meses Outubro-Novembro (estação seca) de 1979 a 2013, durante os anos de fase positiva (à esquerda) e negativa (à direita) do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical.



Fonte: o Autor.

A correlação entre as anomalias da componente zonal do vento e o índice do dipolo (figura 21) apresentam valores significativos na maior parte da região, com valores de  $r^2$  chegando a -0,66 próximo ao equador. Valores negativos de correlação ocorrem na maior parte do domínio, sendo que os valores positivos ocorrem apenas acima de 6 ° N. Valores negativos de correlação significam que a componente zonal do vento estará mais fraca conforme o valor do índice dipolo aumenta, ou seja, a componente de leste do vento estará mais intensa.

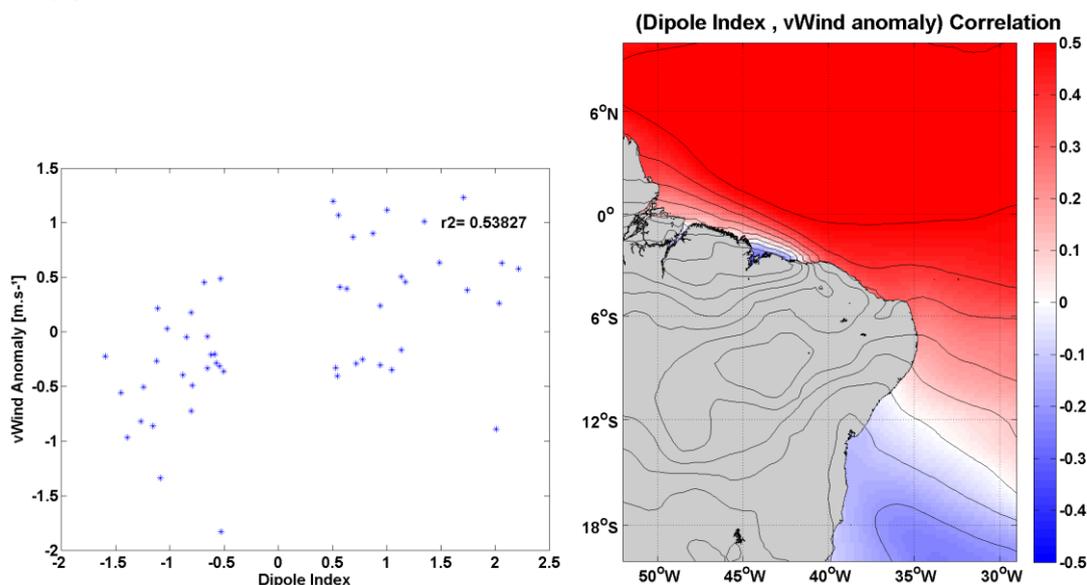
Figura 21 - À esquerda, gráfico de correlação entre a anomalia de velocidade (m/s) de Vento Zonal e o Índice do Dipolo para o Porto do Mucuripe durante quadra chuvosa. À direita, o mapa do  $r^2$  para toda a região para todos os meses. Foram usados apenas valores de dipolo maiores que 0.5 e menores do que -0.5.



Fonte: o Autor.

Para a componente meridional do vento, a correlação (figura 22) é significativa e positiva na maior parte da região, alcançando valores superiores a 0,5. Valores negativos de correlação são encontrados apenas ao sul de 12° S, porém os valores de  $r^2$  são baixos (menores que 0.2). Cabe lembrar que valores positivos de correlação significam que a componente meridional do vento estará mais forte conforme o valor do índice dipolo aumenta.

Figura 22 - À esquerda, gráfico de correlação entre a anomalia de velocidade (m/s) de Vento Meridional e o Índice do Dipolo para o Porto do Mucuripe durante quadra chuvosa. À direita, o mapa do  $r^2$  para toda a região para todos os meses. Foram usados apenas valores de dipolo maiores que 0.5 e menores do que -0.5.

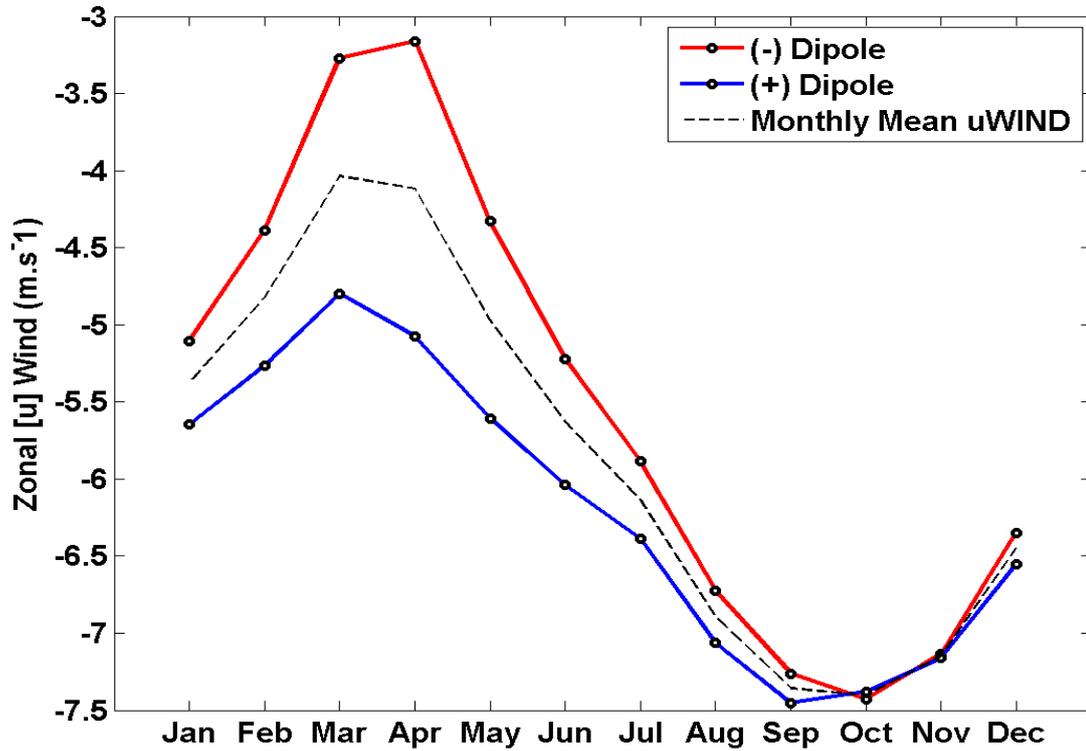


Fonte: o Autor.

A média mensal climatológica (figura 23) da intensidade da componente zonal do vento e as médias durante DP e DN, mostram que na região de Fortaleza, as maiores anomalias ocorrem no primeiro semestre do ano. Durante os meses de outubro a dezembro, quase não existem diferenças entre a média climatológica e os eventos de dipolo. A componente zonal do vento se mostrou sempre menos intensa que a climatologia para anos de DN (linha vermelha) e mais intensa durante DP (linha azul). A intensificação da componente meridional em anos de DN é responsável pela anomalia positiva de evaporação no Atlântico Tropical norte (Figura 14 – esquerda), bem como pelo deslocamento de humidade para região do Porto; processo semelhante foi encontrado por Durand *et al.* (2005).

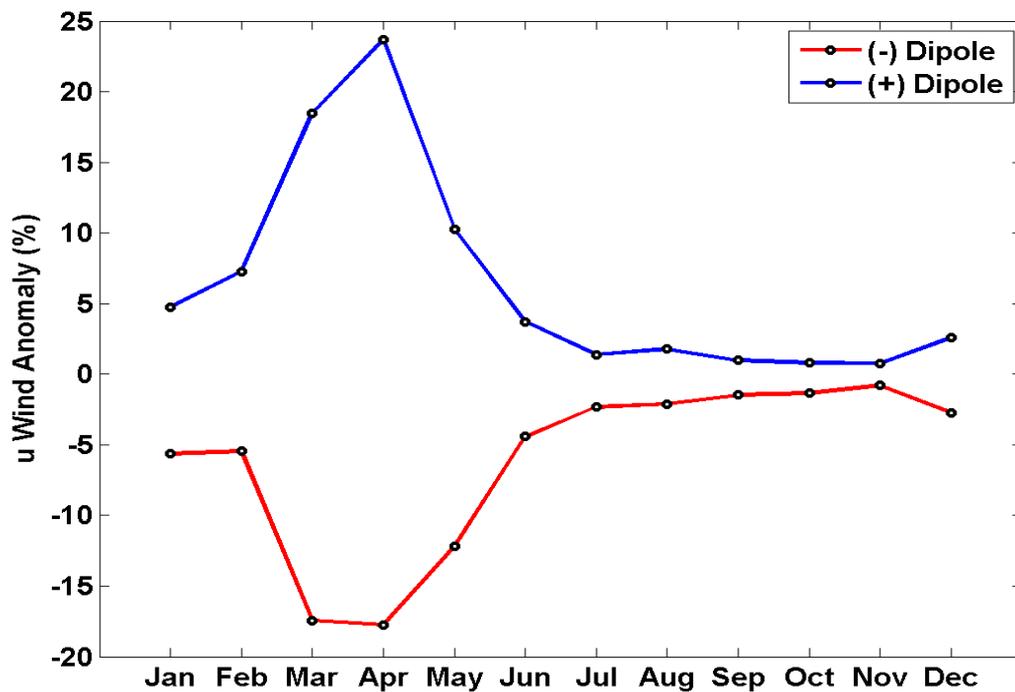
Percentualmente (figura 24), a componente zonal do vento é até 25% mais intensa no mês de abril em anos de DP e aproximadamente 20% menos intensa em DN. Lembrar-se-á de que esse período é o de menor intensidade dos ventos, portanto com anomalias mais significativas.

Figura 23 - Série temporal das médias climatológicas do Vento Zonal para o período de 1979 a 2013 para o Porto do Mucuri. A linha de cor vermelha representa os valores mensais climatológicos durante a fase positiva do Dipolo. A linha de cor azul representa os valores mensais climatológicos durante a fase negativa do Dipolo. A linha tracejada representa a média mensal climatológica do período.



Fonte: o Autor.

Figura 24 -Variação percentual das anomalias do Vento Zonal em relação à média climatológica durante período de fase positiva do Dipolo (azul) e de fase negativa do Dipolo (vermelho).

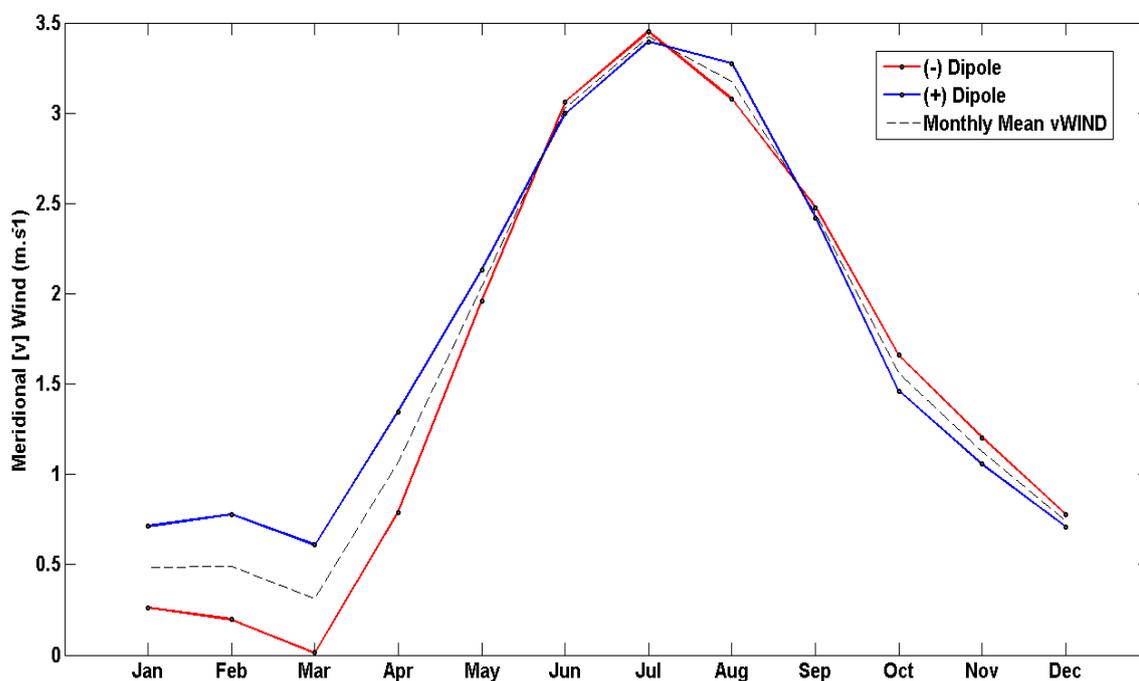


Fonte: o Autor.

Para o ponto próximo a Fortaleza, as médias do vento meridional são maiores em anos de dipolo positivo do que negativo (figura 25) Entre janeiro e março, haja vista a posição mais ao norte da ZCIT. As maiores diferenças ocorrem novamente no primeiro semestre do ano, sendo que no segundo semestre as médias são próximas.

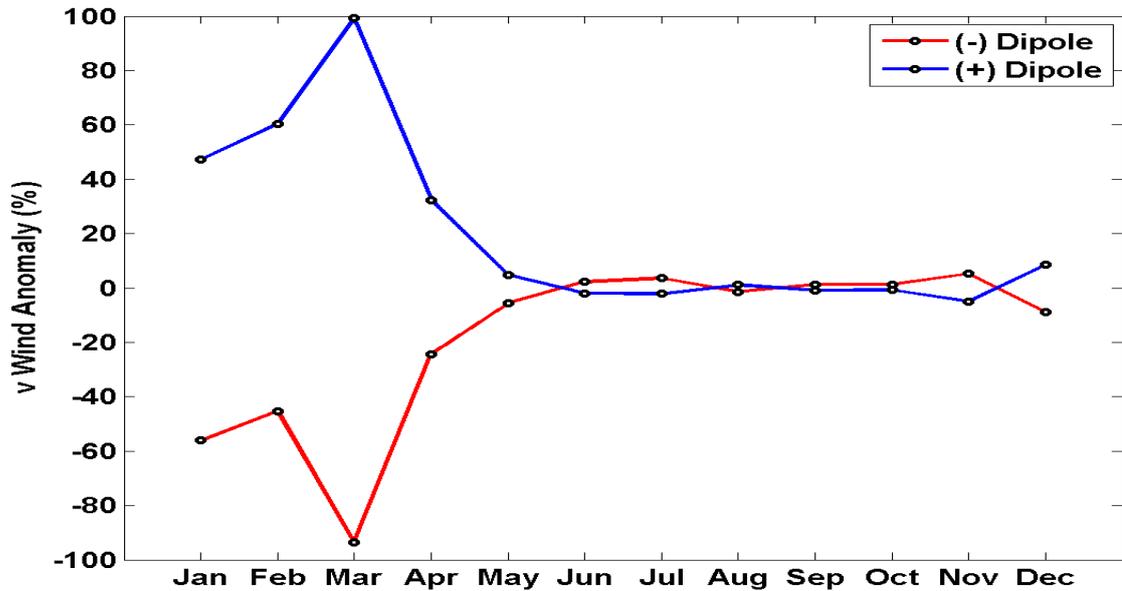
A diferença percentual na intensidade da componente meridional do vento (figura 26) se mostrou 100% maior (menor) no mês de março em anos de DP (DN), mostrando que os eventos de dipolo afetam drasticamente a velocidade do vento na região.

Figura 25 - Série temporal das médias climatológicas do Vento Meridional para o período de 1979 a 2013 para o Porto do Mucuripe. A linha de cor vermelha representa os valores mensais climatológicos durante a fase positiva do Dipolo. A linha de cor azul representa os valores mensais climatológicos durante a fase negativa do Dipolo. A linha tracejada representa a média mensal climatológica do período



Fonte: o Autor.

Figura 26 - Variação percentual das anomalias do Vento Meridional em relação à média climatológica durante o período de fase positiva do Dipolo (azul) e de fase negativa do Dipolo (vermelho)



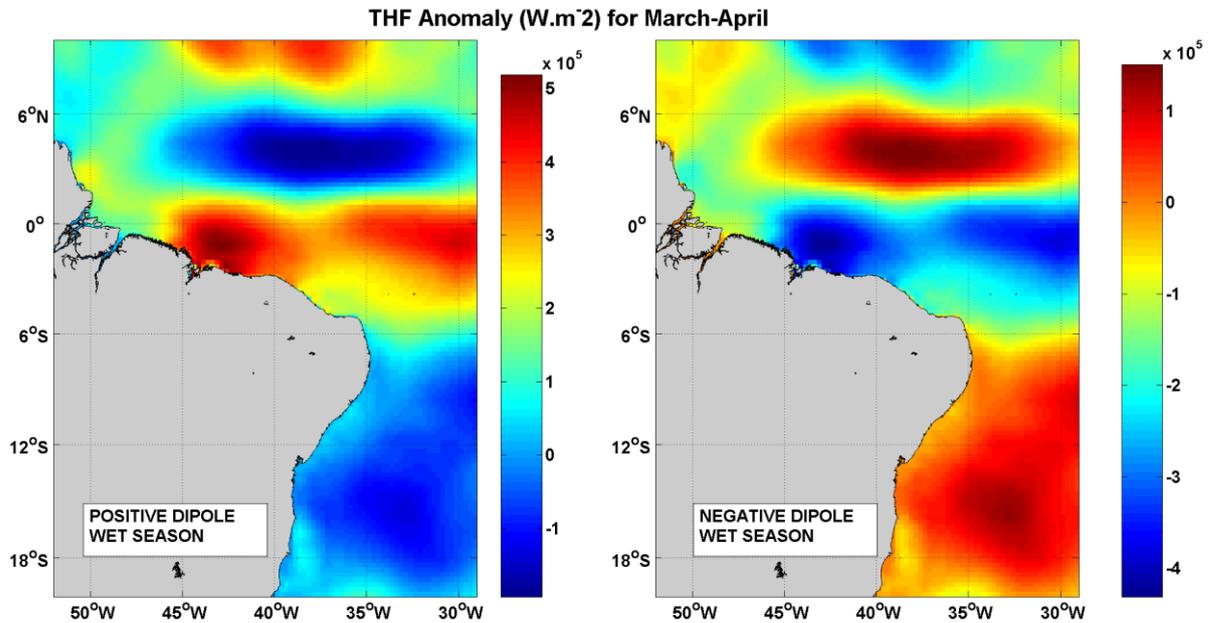
Fonte: o Autor.

#### 4.6 Fluxo de Calor Total

As anomalias do fluxo de calor total são apresentadas nas figuras 27 e 28 para estação chuvosa e seca, respectivamente. Vale ressaltar que quando o fluxo total de calor é positivo, a região está recebendo mais calor.

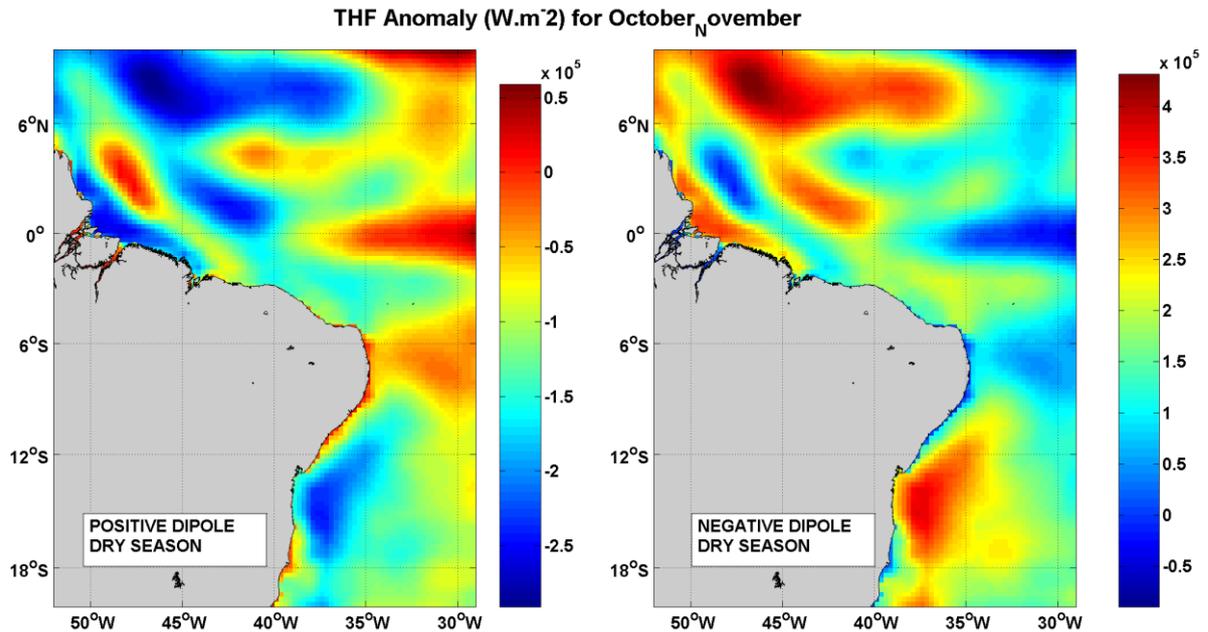
Em anos de DP, durante a quadra chuvosa (fig. 27 - direita), há uma anomalia positiva de fluxo de calor na região equatorial até  $6^{\circ}$  S, pois a ZCIT está deslocada mais ao Norte e, devido à menor nebulosidade, há maior incidência de raios solares em superfície na região. Entre  $6^{\circ}$  N e o equador, onde a ZCIT está localizada, a anomalia de fluxo de calor é negativa. Durante eventos de DN ocorre o contrário em toda região. Já as anomalias do período seco são relativamente menores (figura 28) e não existe um padrão bem definido.

Figura 27 - Anomalia do Fluxo de Calor Total ( $W/m^2$ ) para os meses Março-Abril (estação chuvosa) de 1979 a 2013, durante os anos de fase positiva (à esquerda) e negativa (à direita) do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical.



Fonte: o Autor.

Figura 28 - Anomalia do Fluxo de Calor Total ( $W/m^2$ ) para os meses Outubro-Novembro (estação seca) de 1979 a 2013, durante os anos de fase positiva (à esquerda) e negativa (à direita) do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical.



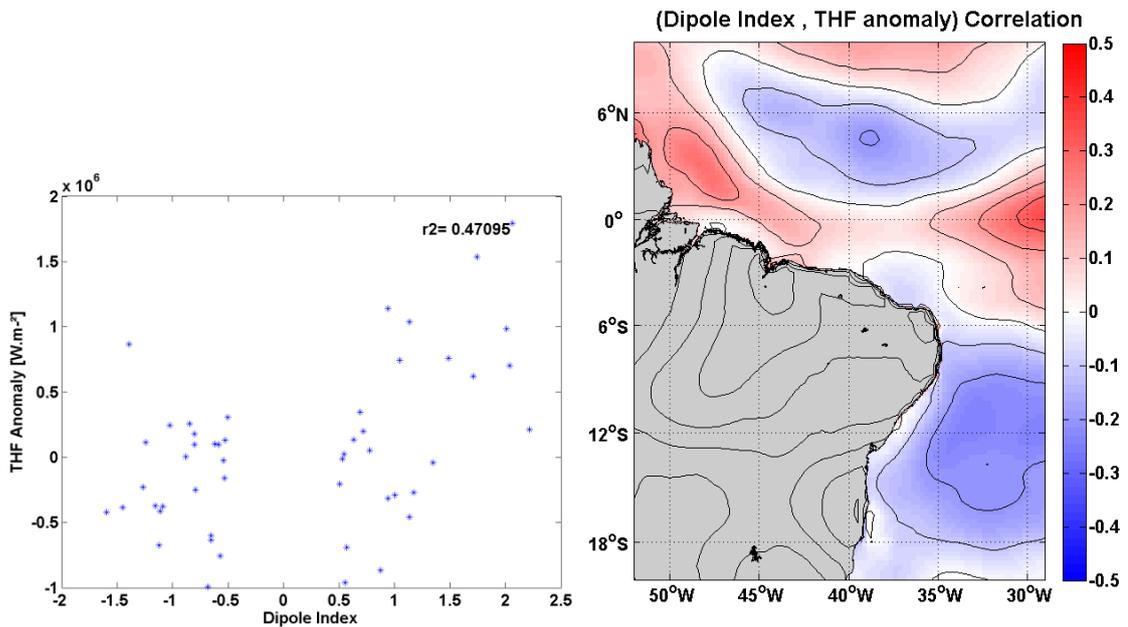
Fonte: o Autor.

Para a quadra chuvosa no porto do Mucuripe, há alta correlação das anomalias negativas de THF com eventos de DN (figura 29 – direita). Isso ocorre devido à presença da ZCIT nesse período sobre a região.

A contrário dos resultados anteriores, a correlação entre as anomalias de THF e o índice dipolo para todos os meses (figura 29 - esquerda) é pequena (valores

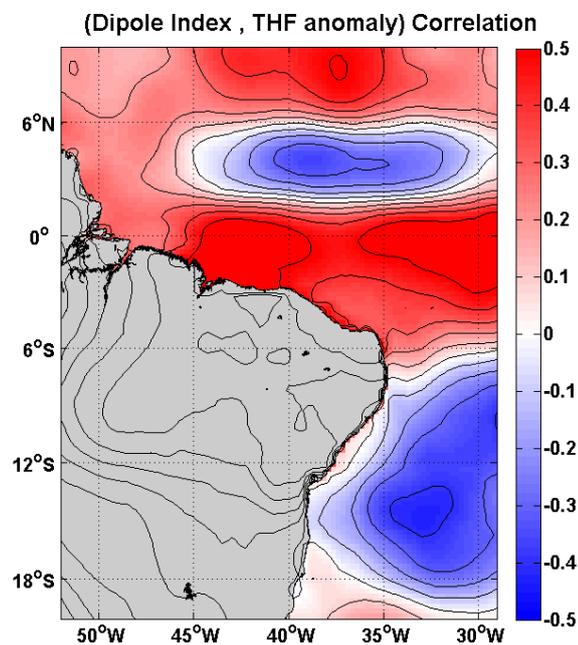
de  $r^2$  menores do que 0.3), apesar de seu correto significado físico. Já a mesma correlação feita para a quadra chuvosa, apresenta valores maiores que todo período de análise (figura 30). O mesmo não ocorre para a quadra seca (figura não apresentada).

Figura 29 - À esquerda, gráfico de correlação entre a anomalia de Fluxo de Calor Total ( $W/m^2$ ) e o Índice do Dipolo para o Porto do Mucuripe durante quadra chuvosa. À direita, o mapa do  $r^2$  para toda a região para todos os meses. Foram usados apenas valores de dipolo maiores que 0.5 e menores do que -0.5.



Fonte: o Autor.

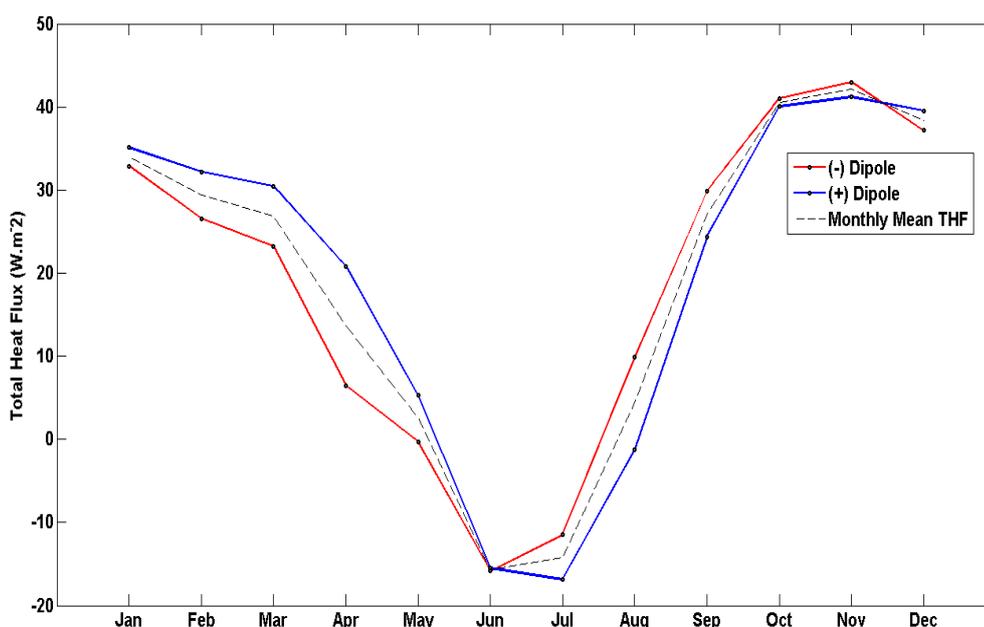
Figura 30 - Mapa do  $r^2$  para toda a região para quadra chuvosa. Foram usados apenas valores de dipolo maiores que 0.5 e menores do que -0.5.



Fonte: o Autor.

Através da série temporal das climatologias mensais para Fortaleza, o fluxo de calor total é maior em anos de dipolo positivo devido à baixa nebulosidade (figura 31). Em junho e julho chega a atingir  $-18 \text{ W/m}^2$ . Este valor negativo deve-se, possivelmente, ao feedback negativo da ZCIT. Para os meses da quadra chuvosa e seca, seus valores foram,  $35$  e  $40 \text{ W/m}^2$  respectivamente.

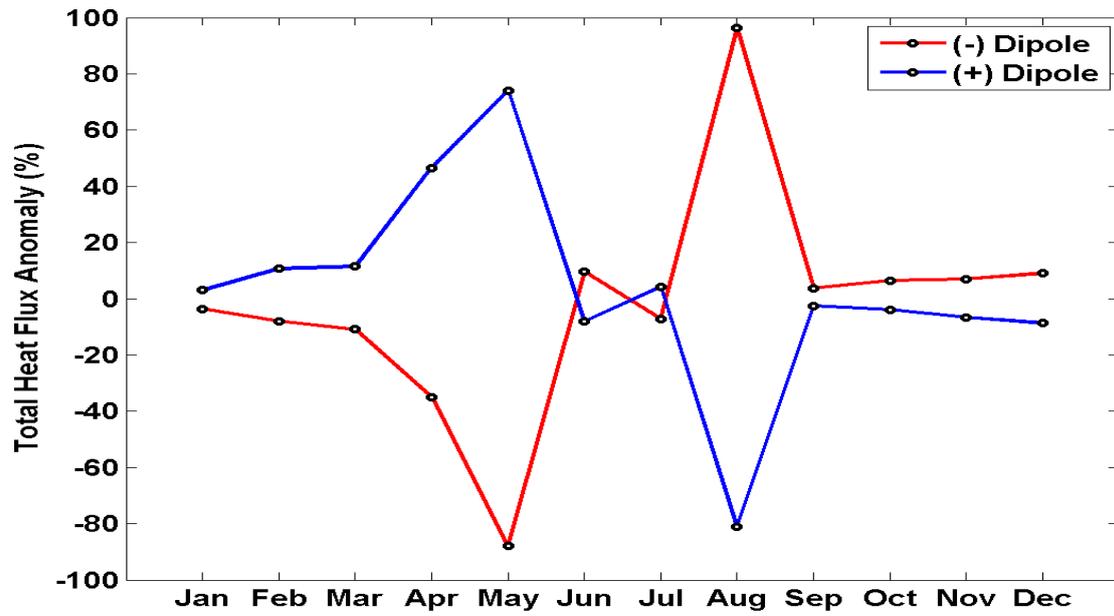
Figura 31 - Série temporal das médias climatológicas do Fluxo de Calor Total para o período de 1979 a 2013 para o Porto do Mucuri. A linha de cor vermelha representa os valores mensais climatológicos durante a fase positiva do Dipolo. A linha de cor azul representa os valores mensais climatológicos durante a fase negativa do Dipolo. A linha tracejada representa a média mensal climatológica do período.



Fonte: o Autor.

No Porto do Mucuri (figura 32), o oceano perde  $\sim 80\%$  de calor a mais que a média para atmosfera no primeiro semestre em anos de DP. No segundo semestre ele ganha outros  $80\%$  de volta. O oposto acontece em anos de DN, porém com porcentagens maiores.

Figura 32 - Variação percentual das anomalias do Fluxo de Calor Total em relação à média climatológica durante o período de fase positiva do Dipolo (azul) e de fase negativa do Dipolo (vermelho).



Fonte: o Autor.

## 5. CONCLUSÃO

Os eventos de dipolo positivo são mais frequentes e mais intensos que os eventos negativos.

O dipolo apresentou alta correlação positiva (negativa) com a anomalia de TSM na região do Atlântico Tropical norte (sul). As maiores (menores) anomalias ocorrem em fevereiro de anos de DN (DP).

O dipolo apresentou alta correlação com a anomalia de PPT durante a quadra chuvosa, sendo ela positiva (negativa) para o Atlântico Tropical norte (sul). Maiores (menores) anomalias ocorrem de anos de DN (DP).

O dipolo apresentou alta correlação negativa com a anomalia de EVAP na região equatorial, o que significa maior (menor) evaporação em anos de DP (DN). Os picos de anomalia ocorreram em abril.

O dipolo apresentou alta correlação negativa com a anomalia da componente zonal por toda a porção do Atlântico Tropical sul, isto é, uma intensificação (atenuação) da sua velocidade em anos de DP (DN), com pico em abril.

O dipolo apresentou alta correlação positiva com a anomalia da componente meridional por toda a porção do Atlântico Tropical norte, isto é, intensificação (atenuação) da velocidade em anos de DP (DN).

O dipolo apresentou baixa (alta) correlação com a anomalia de THF para todos os meses (quadra chuvosa). Esta correlação foi alta e positiva para o ponto do Porto do Mucuri. Em anos de DP, o oceano ganha (perde) mais calor que a média no primeiro (segundo) semestre. O oposto acontece em anos de DN, porém com porcentagens maiores.

## REFERÊNCIAS

ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. **Monthly Weather Review**, v. 116, n. 3, p. 505-524, 1988.

ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part II. Upper-air circulation. **Journal of Climate**, v. 2, n. 4, p. 341-355, 1989.

ALVES, J. M. B.; DINIZ, M. C. S. UM ESTUDO PRELIMINAR DE POSSÍVEIS EFEITOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO NORDESTE DO BRASIL. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 2, p. 11-18, 2009.

BJERKNES, J. Atmospheric teleconnections from the equatorial pacific 1. **Monthly Weather Review**, v. 97, n. 3, p. 163-172, 1969.

DEE, D. P. et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, n. 656, p. 553-597, 2011.

DURAND, B. et al. Tropical Atlantic Moisture Flux, Convection over Northeastern Brazil, and Pertinence of the PIRATA Network\*. **Journal of climate**, v. 18, n. 12, p. 2093-2101, 2005.

GARRISON, T. **Fundamentos de oceanografia**. Cengage Learning, 2010.

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

HASTENRATH, S. On modes of tropical circulation and climate anomalies. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 35, n. 12, p. 2222-2231, 1978.

LUCENA, D. B.; SERVAIN, J.; GOMES FILHO, M. F. Rainfall response in Northeast Brazil from ocean climate variability during the second half of the twentieth century. **Journal of Climate**, v. 24, n. 23, p. 6174-6184, 2011.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p. 4, 2008.

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

MOURA, M. do N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. 2012.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10,

p. 2464-2479, 1996.

PICKARD, G. L. Oceanografia física descritiva. **FEMAR–Fundação de Estudos do Mar, 75p**, 1974.

SERVAIN, J. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 96, n. C8, p. 15137-15146, 1991.

SILVA, M. E. S.; SILVA, C. B. Variabilidade Climática–processos físicos e dinâmicos nos oceanos e atmosfera. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 372-406, 2012.

SOUZA, E. B. de; NOBRE, P. Uma revisão sobre o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 1, p. 31-44, 1998.

TEIXEIRA, C. E. P.; MACHADO, G. T. On the temporal variability of the Sea Surface Temperature on the Tropical Southwest Atlantic Continental Shelf. **Journal of Coastal Research**, v. 2, n. 65, p. 2071, 2013.

TRENBERTH, K. E. The definition of el nino. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997.

UVO, C. R. B.; NOBRE, C. A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. **Parte I: a posição da ZCIT no Atlântico equatorial. Climanálise**, v. 4, n. 07, p. 34-40, 1989.